نشریه علمی
بوم شناسی کشاورزی (فصلنامه)

Journal of Agroecology
(Quarterly)

Ferdowsi University of Mashhad

جلد ۱۱ شماره ۱ بهار ۱۳۹۸

Vol. 11 No. 1 Spring 2019

ISSN: 2008-7713

(شماره پیاپی ۳۹)

شاپا: ۲۰۰۸-۷۷۱۳

Contents

Effects of Plant Density and Leaf Spraying on Growth, Yield and Yield Components of Flixweed (*Descurainia sophia* L.) as a Medicinal Plant 14
A. Mollafilabi and M.R. Gazikinejad

Effects of Leaf Spraying with Different Concentrations of Aa_{40} and Humus-S Biofertilizers on Flower Yield and Corm Yield of Saffron (*Crocus sativus* L.) 30
R. Sadrabadi Haghighi, H. Sheykh Jonbdovaz and A. Mollafilabi

Economic Evaluation of Crop Rotations in Conservation Agriculture System in Temperate-cold Climatic Zone of Mashhad 50
Sh. Zare and A.A. Moayyedi

Evaluation of energy indices and its impact on global warming potential for potato production: a case study, Golestan province 67
M.T.Feiz Bakhsh, M.A. Dori and N. Rezvan Talab

Evaluation of quantitative and qualitative yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) in intercropping affected by biological and chemical fertilizers in supplemental irrigation condition 84
E. Rezaei-Chiyaneh, Y. Rasouli, J. Jalilian and M. Ghodsi

Evaluation of nitrogen uptake and use efficiency in wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) under Kermanshah weather conditions 101
F. Mondani, A. Bozorgi Hossein Abad, M. Saeedi, A. Bagheri and H. Heidari

Estimation of Carbon Sequestration in Iran Agroecosystems using Empirical Models 121
E. Boroumand Rezazadeh, A. Koocheki, P. Rezvani Moghaddam, M. Nassiri Mahallati and A. Lakzian

Investigation of Growth Indices, Grain yield and Yield Components of Canary seed (*Phalaris canariensis*) in Response to the Different Levels of Irrigation, Organic and Chemical Fertilizers 134
V. Varnaseri Ghandali, P. Rezvani Moghaddam and S. Khorramdel

Contribution of Genetic and Agronomic Measures to Yield Gain of Wheat in Iran 152
A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati, A. Amin Ghafori and M. Mahlouji Rad

Evaluation of Long Term changes of Crop Species Diversity in Agro-ecosystems of North, Central (Razavi) and South Khorasan provinces (Iran) 169
M. Nassiri Mahallati, A. Koocheki, A. Ghalehgolabbehbahani, A. Davari, S.S. Moinoddini

Effect of cereals intercropping systems and application of nitrogen fertilizer on nitrogen and micronutrients content of weeds shoot and grain yield 183
F. Faramarzi, M.S. Taghizadeh, A. Behpoori and S. Afzali Harsini

Influence of Drought Stress and Humic Acid on Growth, Yield and Sugar Production of Sugar Beet 197
A. Esmaili and M.R. Tadayon

The Effects of *Piriformospora indica* Inoculation on the Seed Yield, Light Absorption and Radiation Use Efficiency of Soybean (*Glycine max*) Under Water Stress Conditions 214
G. Ahmadvand and S. Hajinia

Determination and zoning of suitable planting date of rainfed wheat in Golestan province based on different levels of occurrence probability of autumn rainfall 229
K. Kaboosi and O. Majidi

Effect of Barley (*Hordeum vulgare* L.) and Persian Clover (*Trifolium respinatum* L.) Intercropping on Forage Quantity 242
R. Nazarian, A.R. Koocheki, M. Nasiri Mahallati and P. Rezvani Moghaddam

Continue Content in cover

عنوان مقالات

اثر تراکم بوته و محلول‌پاشی برگی بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی خاکشیر شیرین (*Descurainia sophia* L.) ۱
عبداله ملافیلابی و محمد رضا گزیکی نژاد

اثر محلول‌پاشی با غلظت‌های متفاوت کودهای زیستی Aa_{40} و Humus-S بر عملکرد گل و بنه زعفران (*Crocus sativus* L.) در مزرعه چهار ساله ۱۷
رضا صدرآبادی حقیقی، حبیب شیخ جنبدواز و عبداله ملافیلابی

ارزیابی اقتصادی تناوب‌های زراعی در کشاورزی حفاظتی منطقه معتدل- سرد مشهد ۳۳
شجاعت زارع و علی اکبر مؤیدی

ارزیابی شاخص‌های انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی در تولید سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در استان گلستان ۵۳
محمد تقی فیض بخش، محمد علی دری و نصیبه رضوان طلب

ارزیابی عملکرد کمی و کیفی نخود (*Cicer arietinum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) در کشت مخلوط تحت تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی در شرایط آبیاری تکمیلی ۶۹
اسماعیل رضائی چیانه، یحیی رسولی، جلال جلیلیان و مسعود قدسی

ارزیابی کارایی جذب و مصرف نیتروژن در ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت شرایط آب و هوایی کرمانشاه ۸۷
فرزاد مندنی، علی بزرگی حسین آباد، محسن سعیدی، علیرضا باقری و حسن حیدری

برآورد میزان ترسیب کربن در بوم‌نظام‌های زراعی ایران با استفاده از مدل‌های تجربی ۱۰۳
الهه برومند رضازاده، علیرضا کوچکی، پرویز رضوانی مقدم، مهدی نصیری محلاتی و امیر لکزیان

بررسی عملکرد و اجزاء عملکرد دانه گیاه علف قناری (*Phal ari s canari ensi s* L.) در پاسخ به سطوح مختلف آبیاری، کودهای آلی و شیمیایی ۱۲۳
ویدا ورناصری قندعلی، پرویز رضوانی مقدم و سرور خرم دل

برآورد سهم نسبی عوامل بهزادی و به‌زراعی در افزایش عملکرد در نظام‌های تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) کشور ۱۳۷
علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی، افسانه امین غفوری و منصوره محلوجی راد

ارزیابی تغییرات طولانی مدت تنوع گونه‌های زراعی در بوم‌نظام‌های زراعی استان‌های خراسان شمالی، جنوبی و رضوی ۱۵۵
مهدی نصیری محلاتی، علیرضا کوچکی، آرش قلعه گلاب بهبهانی، آگرین داوری و سیدشهاب الدین معین‌الدینی

تأثیر کشت مخلوط غلات و کاربرد کود نیتروژن بر محتوای نیتروژن و عناصر کم مصرف اندام هوایی علف‌های هرز و عملکرد دانه ۱۷۱
فرزانه فرامرزی، محمد صادق تقی زاده، علی بهپوری و سحر افضلی هرسینی

تأثیر تنش خشکی و اسید هیومیک بر رشد، عملکرد و شکر تولیدی چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) ۱۸۵
امراله اسماعیلی و محمودرضا تدین

تأثیر تلقیح با قارچ *Piriformospora indica* بر عملکرد دانه، جذب و کارآیی مصرف نور سویا (*Glycine max* (L.) Merr.) تحت شرایط تنش کم‌آبی ۱۹۹
گودرز احمدوند و سمیه حاجی‌نیا

برآورد و پهنه‌بندی تاریخ مناسب کشت گندم دیم(*Triticum aestivum* L) بر اساس سطوح مختلف احتمال وقوع بارش پاییزه در استان گلستان ۲۱۷
کامی کابوسی و عثمان مجیدی

تأثیر کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) و شبدر ایرانی (*Trifolium resupinatum* L.) بر ویژگی‌های کمی علوفه ۲۳۱
رامین نظریان، علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی و پرویز رضوانی مقدم

ادامه فهرست داخل جلد

نشریه علمی - پژوهشی بوم شناسی کشاورزی (فصلنامه) جلد ۱۱ شماره ۱ بهار ۱۳۹۸ Vol. 11 No. 1 Spring 2019 Journal of Agroecology (Quarterly)

نشریه بوم شناسی کشاورزی (فصلنامه)
دانشگاه فردوسی مشهد

با شماره پروانه ۸۹/۲۲۵۱۵ مورخه ۸۹/۹/۲۸ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی
درجه علمی پژوهشی شماره ۸۹/۳/۱۱/۵۲۴۷۹ مورخه ۸۹/۹/۸ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

جلد۱۱ شماره ۱ بهار ۱۳۹۸

صاحب امتیاز و ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول: دکتر علیرضا کوچکی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

سردبیر: دکتر پرویز رضوانی مقدم، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

اعضای هیئت تحریریه (به‌ترتیب حروف الفبا)

دکتر گودرز احمدوند، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان
دکتر محمد پسرکلی، استاد پژوهشی، دانشکده علوم گیاهی، دانشگاه آریزونا
دکتر محمدرضا چائی چی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران
دکتر سرور خرم دل، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر عادل دباغ محمدی‌نسب، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
دکتر پرویز رضوانی‌مقدم، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر احمد زارع فیض‌آبادی، استاد مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان رضوی
دکتر حمید شاهنده، پژوهشگر علوم خاک، گروه علوم خاک و گیاهان زراعی، دانشگاه تگزاس A & M
دکتر سعید زهتاب سلماسی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
دکتر رضا قربانی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر علیرضا کوچکی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر محمد گلوی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
دکتر مهدی نصیری‌محلاتی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر داخلی: دکتر سرور خرم‌دل، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

چاپ: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

نشانی: مشهد، میدان آزادی، پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، دبیرخانه نشریات علمی، دفتر نشریه بوم شناسی کشاورزی، صندوق پستی: ۱۱۶۳-۹۱۷۷۵

تلفن: ۳۸۸۰۴۶۵۴-۰۵۱ **نمابر:** ۳۸۷۸۷۴۳۰-۰۵۱

پست الکترونیکی: agroecology@um.ac.ir

مقالات این شماره در سایت مجله به آدرس زیر بصورت مقاله کامل نمایه شده است.

http://agry.um.ac.ir/index.php/agroecology

این نشریه در پایگاه‌های زیر نمایه می‌شود:

پایگاه استنادی جهان اسلام (ISC) پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID) بانک اطلاعات نشریات کشور (MAGIRAN)

بسم الله الرحمن الرحیم

مندرجات

اثر تراکم بوته و محلول‌پاشی برگی بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی خاکشیر شیرین (*Descurainia sophia* L.) ۱
عبداله ملافیلابی و محمد رضا گزیکی نژاد

اثر محلول‌پاشی با غلظت‌های متفاوت کودهای زیستی Aa40 و Humus-S بر عملکرد گل و بنه زعفران (*Crocus sativus* L.) در مزرعه چهار ساله ۱۷
رضا صدرآبادی حقیقی، حبیب شیخ جنبدواز و عبداله ملافیلابی

ارزیابی اقتصادی تناوب‌های زراعی در کشاورزی حفاظتی منطقه معتدل- سرد مشهد ۳۳
شجاعت زارع و علی اکبر مؤیدی

ارزیابی شاخص‌های انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی در تولید سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در استان گلستان ۵۳
محمد تقی فیض بخش، محمد علی دری و نصیبه رضوان طلب

ارزیابی عملکرد کمی و کیفی نخود (*Cicer arietinum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) در کشت مخلوط تحت تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی در شرایط آبیاری تکمیلی ۶۹
اسماعیل رضائی چیانه، یحیی رسولی، جلال جلیلیان و مسعود قدسی

ارزیابی کارایی جذب و مصرف نیتروژن در ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت شرایط آب و هوایی کرمانشاه ۸۷
فرزاد مندنی، علی بزرگی حسین آباد، محسن سعیدی، علیرضا باقری و حسن حیدری

برآورد میزان ترسیب کربن در بوم‌نظام‌های زراعی ایران با استفاده از مدل‌های تجربی ۱۰۳
الهه برومند رضازاده، علیرضا کوچکی، پرویز رضوانی مقدم، مهدی نصیری محلاتی و امیر لکزیان

بررسی عملکرد و اجزاء عملکرد دانه گیاه علف قناری (*Phalaris canariensis* L.) در پاسخ به سطوح مختلف آبیاری، کودهای آلی و شیمیایی ۱۲۳
ویدا ورناصری قندعلی، پرویز رضوانی مقدم و سرور خرم دل

برآورد سهم نسبی عوامل بهنژادی و به‌زراعی در افزایش عملکرد در نظام‌های تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) کشور ۱۳۷
علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی، افسانه امین غفوری و منصوره محلوجی راد

ارزیابی تغییرات طولانی مدت تنوع گونه‌های زراعی در بوم‌نظام‌های زراعی استان‌های خراسان شمالی، جنوبی و رضوی ۱۵۵
مهدی نصیری محلاتی، علیرضا کوچکی، آرش قلعه گلاب بهبهانی، آگرین داوری و سیدشهاب الدین معین‌الدینی

تأثیر کشت مخلوط غلات و کاربرد کود نیتروژن بر محتوای نیتروژن و عناصر کم مصرف اندام هوایی علف‌های هرز وعملکرد دانه ۱۷۱
فرزانه فرامرزی، محمد صادق تقی زاده، علی بهپوری و سحر افضلی هرسینی

تأثیر تنش خشکی و اسید هیومیک بر رشد، عملکرد و شکر تولیدی چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) ۱۸۵
امراله اسماعیلی و محمودرضا تدین

تأثیر تلقیح با قارچ *Piriformospora indica* بر عملکرد دانه، جذب و کارآیی مصرف نور سویا (*Glycine max* (L.) Merr.) تحت شرایط تنش کم‌آبی ۱۹۹
گودرز احمدوند و سمیه حاجی‌نیا

برآورد و پهنه‌بندی تاریخ مناسب کشت گندم دیم(*Triticum aestivum* L) بر اساس سطوح مختلف احتمال وقوع بارش پاییزه در استان گلستان ۲۱۷
کامی کابوسی و عثمان مجیدی

تأثیر کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) و شبدر ایرانی (*Trifolium resupinatum* L.) بر ویژگی‌های کمی علوفه ۲۳۱
رامین نظریان، علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی و پرویز رضوانی مقدم

ارزیابی برخی شاخص‌های اگروفیزیولوژیک و عملکرد کمی و کیفی در کشت مخلوط کلزا (*Brassica napus* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.) ۲۴۵
جواد حمزه‌ئی و رحمن داودیان

تأثیر تاریخ کاشت و تنش خشکی آخر فصل بر صفات اکوفیزیولوژیک ارقام جدید کلزا (*Brassica napus* L.) ۲۶۱
پریسا ناظری، امیرحسین شیرانی راد، سید علیرضا ولد آبادی، مجتبی میراخوری و اسماعیل حدیدی ماسوله

مستندسازی فرآیند تولید و تحلیل عوامل محدود کننده عملکرد ارقام اصلاح شده برنج (*Oryza sativa* L.) به روش CPA در منطقه نکا ۲۷۷
احمد گرجی‌زاد، افشین سلطانی، سلمان دستان و حسن عجم نوروزی

اثر مدیریت تغذیه‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت (*Zea mays* L.) تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی ۲۹۵
عصمت محمدی، حمیدرضا اصغری،احمد غلامی و سرور خرم دل

اثر تنظیم‌کننده‌های زیستی بر صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و ترکیبات اسانس (*Ammi visnaga* (L.) ۳۰۹
دیاکو رسولی، رقیه محمدپور وشوایی و براتعلی فاخری

تعیین مدل مناسب در تجزیه و تحلیل خلأ عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) در استان گیلان با روش آنالیز خط مرزی ۳۲۱
نیلوفرآقایی‌پور، همت اله پیردشتی، محسن زواره، حسین اسدی و محمدعلی بهمنیار

۲۱ بررسی خصوصیات بوم‌شناختی، ریختی و میزان اسانس پونه (*Mentha longifolia* L.) در برخی مناطق استان فارس و خراسان رضوی ۳۳۵
سیده زهره حسینی، حسن فیضی، صفیه وطن‌دوست جرتوده و مسعود علیپناه

ارزیابی تحمل به سرما در اکوتیپهای فتان بلند (*Festuca arundinacea* L.) در شرایط مزرعه و کنترل‌شده ۳۴۹
عبداله سلطان احمدی، احمد نظامی، محمد کافی و حمیدرضا خزاعی

اسامی ارزیابان جلد ۱۱ شماره ۱ (بهار ۱۳۹۸) نشریه بوم شناسی کشاورزی (به ترتیب الفبا)

دکتر محمدرضا اردکانی	دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج
دکتر بهروز اسماعیل پور	دانشگاه محقق اردبیلی
دکتر محمد بنایان اول	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر محمدعلی بهدانی	دانشگاه بیرجند
دکتر حمیدرضا توکلی کاخکی	مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
دکتر مژگان ثابت تیموری	جهاد دانشگاهی مشهد
دکتر لیلا جعفری	دانشگاه هرمزگان
دکتر سید مهدی جوادزاده	دانشگاه ایرانشهر
دکتر کمال حاج محمدنیا قالیباف	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر سرور خرم دل	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر مهدی راستگو	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر اسماعیل رضائی چیانه	دانشگاه ارومیه
دکتر محمود رمرودی	دانشگاه زابل
دکتر فایز رئیسی	دانشگاه شهرکرد
دکتر محمد زارع فیض آبادی	مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
دکتر فاطمه سفیدکن	موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور
دکتر سارا سنجانی	موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج
دکتر سید محمد سیدی	دانش آموخته دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر رضا صدرآبادی حقیقی	دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد
دکتر فرزین عبدالهی	دانشگاه هرمزگان
دکتر الهام عزیزی	دانشگاه پیام نور
دکتر حسن فرحبخش	دانشگاه شهید باهنر کرمان
دکتر فرنوش فلاح پور	دانش آموخته دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر حمیدرضا فلاحی	دانشگاه بیرجند
دکتر منوچهر قلی پور	دانشگاه شاهرود
دکتر اسماعیل قلی نژاد	دانشگاه اردبیل
دکتر مجید رضا کیانی	مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
دکتر مرتضی گلدانی	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر امیر لکزیان	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر روح اله مرادی	دانشگاه کرمان
دکتر حسن ملکی لجایر	دانشگاه محقق اردبیلی
دکتر فرزاد مندنی	دانشگاه رازی کرمانشاه
دکتر حامد منصوری	مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان
دکتر سیدمحسن نبوی کلات	دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد
دکتر مهدی نصیری محلاتی	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر جواد وفابخش	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

Introduction to the Persian Journal of Agroecology

It is very appropriate that a new Journal of Agroecology has appeared in a part of the world that history tells us is where some of the earliest organized crop farmers and animal managers in the world first began their work. The traditional farmers of the Persian region are famous for their ability to design and manage sustainable agroecosystems, making them some of the first agroecologists. Their extensive knowledge about water conservation, dryland farming, irrigation, crop and animal domestication, to name a just few of their abilities, have long served as models of wise natural resource management under limiting environmental conditions.

Traditional agroecosystems have developed in the region that are complex systems of interrelated activities focused on the work of each household unit, and their relationships with local communities. Crop farming, animal husbandry, and local handicrafts all combine to provide year-round participation of the entire family. A large variety of animal and plant products, available throughout the year, provide food security that withstands major environmental limitation (especially from drought) and socio-economic uncertainty (especially from market fluctuations). But perhaps most importantly, many farmers of the region live and work within the limitations of the ecological backdrop within which they are located, using local resources and inputs. The ecological and social sustainability of agriculture in such systems is strongly interdependent.

But modern agriculture in the region, as in most parts of the world today, is rapidly displacing this local, traditional knowledge. New sources of energy and technology, most often dependent on non-renewable and costly external inputs, have helped raise yields dramatically. A strong focus has been placed on production for distribution to distant markets that are not in touch with the local understanding of the limits to agroecosystem design and management.

Over the past few decades, the long-term costs and liabilities of the introduction of these modern farming techniques have been documented. Soil and water degradation, loss of agricultural biodiversity, contamination of air and water by pesticides and fertilizers, and increased pest and disease resistance to agrichemicals, are just a few of the environmental problems faced by agriculture today. And the loss of productive agricultural land to urban and industrial development, the displacement of farmers from the land to the cities, and the frequent hunger and poverty in rural regions have become all too common problems on the social side of agriculture.

This journal offers a forum for the re-building of a sustainable agriculture for the region. Using the ecological concepts and principles, local agroecologists can provided a firm foundation for designing and managing the sustainable agriculture of the future. On the one hand, agroecological studies of traditional agriculture can point out the strengths and values of local knowledge. On the other hand, an agroecological analysis of modern agriculture can point out both the strengths as well as the weaknesses of new technologies. A combination of local knowledge and new understanding, all tested by an analysis of sustainability, can once again provide the natural resource conserving, economically sound, and socially equitable agriculture needed for the future.

I congratulate Dr. Alireza Koocheki and Dr. Reza Ghorbani of the Faculty of Agriculture at Ferdowsi University in Mashhad, Iran, for this big step forward for agroecology and sustainable food systems. They are both pioneers in this field and a valuable example for students and farmers of the region.

Steve Gliessman
Ruth and Alfred Heller Professor of Agroecology
University of California, Santa Cruz
March 2010

سخن سردبیر

در حال حاضر بوم‌نظام‌های تولید غذا در جهان با اتکاء به دستاوردهای حاصل از تکنولوژی‌های جدید، توانسته است از دیدگاه کمی غذای مورد نیاز جمعیت کره زمین را تولید نماید، ولی از نظر کیفی هنوز بیش از یک میلیارد و دویست میلیون نفر در گرسنگی یا سوء تغذیه بسر می‌برند و این در حالی‌ست که بوم‌نظام‌های فعلی تولید غذا با مشکلات بسیاری از جمله فرسایش خاک، بحران آب، تخریب زمین‌های حاصلخیز، مقاومت علف‌های هرز و آفات به علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها، طغیان آفات و بیماری‌های ناشی از تداوم بوم‌نظام‌های تک کشتی، اثرات منفی حاصل از انتشار گازهای گلخانه‌ای بدلیل استفاده از تکنولوژی‌های مدرن وابسته به سوخت‌های فسیلی در تولید غذا با چالش‌های فراوانی روبرو است. بدون تردید ادامه چنین روندی پایدار نیست و در نتیجه تولید مواد غذایی به شکل فعلی آن نمی‌تواند ادامه داشته باشد.

به همین دلیل امروزه دیدگاه‌های جهانی نسبت به تولید غذا و فعالیت‌های کشاورزی به سرعت در حال تغییر است. موضوع تولیدات کشاورزی و غذا از نوع صرفاً فنی به موضوعی کاملاً پیچیده از ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی و سیاسی تبدیل شده است. علاوه بر آن، عقیده بر این است خدمات یک بوم‌نظام تنها آن چیزی نیست که بطور مستقیم تولید می‌کند، بلکه خدمات مجازی یا پنهان آن می‌تواند ارزشی به مراتب فراتر از تولید مستقیم آن داشته باشد. به همین دلیل اصطلاحاً کشاورزی را نیز باید از ابعاد چند کارکردی نگریست و در قالب محیط زیست آن را مدیریت کرد و منابع زیست محیطی آن را افزایش داد. برای رسیدن به این هدف به نظر می‌رسد طراحی مجددی را برای بوم‌نظام‌های کشاورزی ضروری باشد.

بوم‌شناسی کشاورزی علمی جامع و همه‌جانبه نگر بوده و کلیه جنبه‌های فرآیند تولید غذا از زنجیره تولید تا مصرف را مورد نظر دارد. بدون تردیده بهره‌گیری از مبانی بوم‌شناختی در تولید مواد غذایی نه تنها شناخت بیشتری را می‌طلبد، بلکه فرآیندی درازمدت و با ثبات بوده و برای ارزیابی آن باید مقیاس زمانی طولانی‌تری را مدنظر قرار داد. طراحی بوم‌نظام‌های کشاورزی بر چنین مبانی، مراحل مختلفی از جمله مرحله بالابردن کارآیی و بهروه‌وری نهاده‌ها، جایگزینی عملیات و نهاده‌های بوم سازگار و در نهایت، مرحله تجدید ساختار بوم‌نظام را دربردارد. به نظر می‌رسد که پیمودن چنین راهی جز با تغییر نگرش‌ها و بازتعریف مفاهیم رایج در فرآیندی تدریجی میسر نخواهد بود.

نشریه بوم شناسی کشاورزی هنوز در ابتدای راه موفقیت قرار دارد. هدف دست اندرکاران نشریه در سال جاری و سال‌های آینده بهبود کمی و کیفی مقالات منتشر شده و اقدام در جهت نمایه نمودن نشریه در فهرست مجلات ISI می‌باشد، لذا راهنمای نگارش مقالات مطابق با استانداردهای اعلام شده آن مؤسسه باشد.

بدیهی است که ادامه و پیشرفت کمی و کیفی یک مجله به ارتباط علمی با تمامی همکاران گرامی دانشگاهی، پژوهشگران محترم مراکز پژوهشی، دانشجویان عزیز و سایر علاقمندان علم بوم‌شناسی کشاورزی و استفاده از رهنمودها و تجارب ارزشمند آنها بستگی دارد. لذا از کلیه عزیزان دعوت می‌شود تا با ارسال نتایج ارزشمند تحقیقاتی خود و کمک در داوری مقالات ما را جهت پُر بارتر کردن مطالب مجله، یاری دهند. از خوانندگان محترم درخواست می‌گردد با ارسال انتقادات و پیشنهادات سازنده خود، ما را در جهت ارتقای هر چه بیشتر کیفیت نشریه بهره‌مند فرمایند.

با احترام، پرویز رضوانی مقدم

سردبیر نشریه بوم‌شناسی کشاورزی

به‌نام خدا

پذیرش مقاله برای چاپ در نشریه

مقدمه

گرچه دستاوردهای کشاورزی صنعتی در تولید مواد غذایی غیرقابل انکار است، ولی پیامدهای منفی ناشی از آن نیز از ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی قابل‌توجه است. فرسایش خاک و منابع ژنتیکی، آلودگی منابع آب و خاک، آلودگی مواد غذایی به بقایای مواد شیمیایی و افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرمایش زمین، تنها بخشی از مشکلات ناشی از فعالیت‌های بی‌رویه کشاورزی توسط انسان است. بهمین دلیل، امروزه در جستجو برای نوعی کشاورزی جایگزین، به کاربرد مبانی بوم‌شناسی در عملیات کشاورزی توجه خاصی معطوف شده است. چنین رهیافتی جز با نگرشی نظام‌مند به کشاورزی و در چارچوب آنچه که به‌اصطلاح اکوسیستم (بوم‌نظام) نامیده می‌شود، میسر نخواهد بود و بدین‌ترتیب طراحی بوم‌نظام‌هایی با اتکاء به اصول بوم‌شناختی را ضروری می‌سازد. آنچه در کشاورزی بوم‌سازگار مطرح است نگاهی جامع به مجموعه‌ای از کارکردها است که هدف از آن تنها کسب محصول صرفاً اقتصادی نیست و عملکرد مفهومی فراتر از مفهوم رایج آن، به‌عنوان تنها بخشی از کارکرد یک بوم‌نظام کشاورزی، را در بر می‌گیرد. در همین چارچوب در بوم‌نظام‌های کشاورزی در حقیقت کسب عملکرد بیشینه هدف نیست, بلکه عملکردی پایدار و چندمنظوره مورد نظر است که از جنبه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و فنی قابل حصول و قابل توجیه باشد.

گرچه چنین نگرشی از سابقه بسیار طولانی در تمدن تولید مواد غذایی ایران برخوردار است ولی در قالب نوین آن در کشور ما کمتر از دو دهه است که مطرح شده است. خوشبختانه هم‌اکنون زیرساخت‌های ضروری برای تحکیم بخشیدن به چنین نگرشی کاملاً فراهم است و در دانشکده‌های کشاورزی کشور نه‌تنها دوره‌های کارشناسی ارشد و دکترا در رشته کشاورزی بوم‌سازگار دایر شده است، بلکه حجم قابل ملاحظه‌ای از مقالات علمی که در حال حاضر در نشریات رایج علمی- پژوهشی کشاورزی منتشر می‌شود، بر همین مبنا است. به‌همین دلیل در مقطع زمانی کنونی برای سامان بخشیدن به این یافته‌های علمی در قالب یک مجموعه تخصصی، ضرورت انتشار مجله ای علمی تحت عنوان «بوم‌شناسی کشاورزی» بیش از هر زمان دیگر احساس می‌شود. چون نقطه ثقل چنین مجله ای «بوم شناسی» است، لذا اطلاعات علمی مرتبط با فعالیت‌های کشاورزی که بر این مبنا استوار باشد متناسب با این مجله می‌باشد.

با توجه به سابقه گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در رابطه با کشاورزی بوم‌سازگار، این مجله توسط این گروه و سالانه در چهار شماره در زمینه‌های زیر منتشر خواهد شد:

- فعالیت‌های پژوهشی کشاورزی با اتکاء به حفاظت از منابع طبیعی و محیط‌زیست و افزایش کارآیی و بهره‌وری منابع آب و خاک و نهاده‌های شیمیایی
- مدیریت زراعی در رابطه با کاربرد نهاده‌های بیولوژیک
- عملیات خاک ورزی حفاظتی و فعالیت‌های مرتبط با آن
- مدیریت زراعی با حد اقل اتکا به نهاده های خارج از مزرعه
- عملیات زراعی در رابطه با کشت‌های مخلوط و کشت گیاهان پوششی
- عملیات تلفیقی در مدیریت زراعی
- بهره برداری از منابع غیر رایج آب و خاک
- استفاده از گیاهان زراعی فراموش شده و جدید
- بهره‌گیری از روابط کمّی در عوامل تولید و مدل‌سازی رشد و نمو گیاهی
- روش‌های پایش عملکرد و مطالعات ارزیابی خلاء عملکرد
- کاربرد اصول فیزیولوژی در شناخت روابط اکولوژیک و افزایش کارآیی تولیدات زراعی
- ارزیابی چرخه‌های حیات در تولیدات زراعی
- پهنه‌بندی‌های اقلیمی و ناحیه‌بندی اگرواکولوژیکی
- استفاده از بقایای محصولات زراعی در تهیه سوخت‌های زیستی
- استفاده از انرژی‌های جایگزین در اکوسیستم‌های کشاورزی
- کاربرد کودهای بیولوژیکی، استفاده از میکوریزا و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن
- کاربرد کمپوست و فرآورده‌های مشابه
- اصلاح خاک از طریق فرآیندهای بیولوژیکی
- مدیریت اکولوژیک آفات، بیماری‌ها و علفهای هرز با استفاده از روابط بیولوژیکی و عملیات تلفیقی
- عملیات ترسیب کربن و کاهش گازهای گلخانه‌ای
- استفاده از گیاهان دارویی در تناوب و یا بصورت همراه با محصولات زراعی
- عملیات زراعی در جهت بهبود تنوع زیستی
- بوم‌شناسی کشاورزی و دانش بومی
- تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی تولید محصولات زراعی با اتکاء به دیدگاه‌های بوم‌شناختی و اقتصاد اکولوژیک

راهنمای نحوه نگارش و تهیه مقالات

- از آنجایی‌که هدف مجله "بوم‌شناسی کشاورزی" پیوستن به فهرست مجلات ISI می‌باشد, رعایت موارد زیر در نوشتن مقاله ضروری خواهد بود.
- متن مقاله روی کاغذ A4 با فاصله 1/5 بین خطوط و دو و نیم سانتی‌متر از حاشیه‌ها و با نرم‌افزار MS-Word با قلم زر اندازه 12 تایپ شود و شکل‌ها و جداول نیز به همین نرم افزار منتقل شوند. عناوین شکل‌ها و جداول به دو زبان فارسی و انگلیسی در نرم‌افزار MS-Word و مجزا از شکل با قلم بی زر (B Zar) و اندازه 10 با فاصله خط 1 نوشته شوند. کلیه شکل‌ها و جداول بدون کادر باشند.
- تعداد صفحات مقاله حداکثر20 صفحه تعیین گردیده است.
- کلیه واحدهای اندازه‌گیری بر اساس سیستم متریک باشند.
- کلیه سطرهای متن مقاله بصورت ادامه‌دار (Continuous) شماره‌گذاری (Line numbering) شوند.
- هر مقاله باید شامل بخشهای مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه گیری، سپاسگزاری، فهرست منابع و چکیده مبسوط کاملاً تفکیک و محتوای آنها متناسب با عنوان هر قسمت باشد.
- **عنوان مقاله** کوتاه و معرف کامل موضوع تحقیق بوده، حداکثر 20 کلمه و با قلم بی زر (B Zar) اندازه 14 نوشته شود.
- **صفحه مشخصات مقاله** شامل موارد: عنوان مقاله، مشخصات نویسنده یا نویسندگان شامل نام و نام‌خانوادگی، درجه علمی، آدرس پستی و الکترونیکی، تلفن تماس، نام نویسنده مسئول به زبان فارسی و سپس عنوان انگلیسی مقاله، نام و نام‌خانوادگی, درجه علمی و آدرس نویسندگان به زبان انگلیسی نوشته شوند (بدون شماره صفحه).
- **در صفحه نخست** عنوان مقاله به فارسی، چکیده مقاله و کلمات کلیدی (بدون ذکر نام نویسندگان) آورده شوند.
- **چکیده مبسوط باید بر مبنای دستورالعمل زیر تهیه شود:**
- این چکیده که جایگزین چکیده کوتاه است بایستی بین 700-600 واژه بوده و به تفکیک دارای اجزای زیر باشد:

1. Title
2. Author
3. Affiliation
4. Introduction
5. Materials and Methods
6. Results and Discussion
9. Conclusion
10. Acknowledgements
11. Keywords
12. References

- تعداد منابع که باید در بخش مقدمه به آنها ارجاع داده شود حداکثر سه منبع مهم که در متن مقاله نیز از آنها استفاده شده بایستی در نظر گرفته شود. همچنین بایستی بین قسمتهای چکیده مبسوط تناسب منطقی برقرار باشد، بدین معنی که 30% مربوط به مقدمه، 20% مواد و روش‌ها و 50% مربوط به نتایج و بحث باشد و در انتها هم یک نتیجه گیری کلی نوشته شود.

- **کلمات کلیدی** در انتهای چکیده و حداکثر شش کلمه آورده شوند. کلمات کلیدی در عنوان مقاله وجود نداشته باشند.
- **در متن مقاله** نحوه رجوع به منابع بصورت اسم نویسنده (نویسندگان) و تاریخ انتشار منبع باشد. در ارجاع به منابع باید تا حد ممکن از نام بردن افراد در شروع جمله خودداری و منابع در انتهای جمله و در پرانتز ارائه شوند مانند: (Mohamadi, 2007). برای جداسازی منابع در انتهای جمله از ";" استفاده می‌شود مثال: (Smith, 1999; Samuel et al., 2008; Smith & Samuel, 2009).
- چنانچه در شروع جمله به منبعی استناد شود به صورت نام (سال) نوشته شود و اسامی فارسی نیز باید به لاتین و سال شمسی به میلادی برگردان شوند. نحوه ارجاع به منابع دارای یک نگارنده، دو نگارنده و چند نگارنده که در ابتدای جمله قرار گیرند به ترتیب زیر انجام گیرد: Smith (1999)، Smith & Samuel (2009)و Samuel et al. (2008)
- **جداول و شکل ها:** در تنظیم جداول از خطوط افقی و عمودی استفاده نشود مگر در بالا و پایین سطر اول جدول و پایین آخرین سطر آن. هر ستون جدول باید دارای عنوان و واحد مربوط باشد. ترجمه انگلیسی عنوان و زیر عنوان‌ها ی جداول در زیر نوشته فارسی آنها درج شوند. محتوای جداول (اعداد) تنها به انگلیسی نوشته شوند. شکلها کاملا انگلیسی تنظیم گردند. بطور کلی اطلاعات شکل‌ها و جداول قابل استفاده برای خوانندگان انگلیسی زبان باشد.
- **صفحه آخر** شامل عنوان مقاله، چکیده انگلیسی و کلمات کلیدی همگی به زبان انگلیسی بوده و از ذکر اسامی و آدرس نویسندگان در این صفحه خودداری شود. چکیده انگلیسی برگردان کامل چکیده فارسی باشد.

فهرست منابع:

الف- کلیه منابع فارسی و انگلیسی به زبان انگلیسی و با قلم Times New Roman اندازه 12 در فهرست منابع نوشته شوند. در نوشتن لیست منابع در قسمت فرمت Hanging اندازه 0/5 انتخاب گردد.

ب- کلیه منابع فارسی به زبان انگلیسی برگردان شده و در آخر هر منبع، در صورت داشتن خلاصه انگلیسی (In Persian with English Summary) و در صورت نداشتن خلاصه انگلیسی داخل پرانتز (In Persian) نوشته شود.

ج- در نوشتن منابع، اسامی مجلات بصورت کامل نوشته شوند.

د- در صورتی‌که در نوشتن منابع مقاله از برنامه EndNote استفاده می‌شود، در قسمت Bibliography style نوع Agri Ecosys Enviro انتخاب گردد.

مثال‌هایی از نحوه نوشتن فهرست منابع در ذیل آمده است:

1- مجلات:

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, K., Mondani, F., Feizi, H., and Amirmoradi, S., 2014. Determination of optimal strip width in strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Northeast Iran. Journal of Cleaner Production 85: 1-8.

2- کتاب تالیف شده:

Pretty, J. 1995. Regenerating Agriculture: Policies and Practice for Sustainability and Self-Reliance. Earthscan Publications Limited, London.

3- مقاله یا یک فصل از کتاب تدوین شده (Edited book):

Ison, R. 2008. Systems thinking and practice for action research. In P. Reason and H. Bradbury (Eds.). Handbook of Action Research: Participative Inquiry and Practice. Sage Publications, London. p. 139–158.

4- مقاله در نشریه برخط (On-line):

Flora, C.B. 2004. Agricultural change and rural development. Rural Development News 27(3):1–3. Available at Web site http://www.ag.iastate.edu/centers/rdev/newsletter/Vol27No3-2004/agchange.htm (verified 5 September 2000).

5- مقاله یا نوشته از اینترنت مربوط به یک دانشگاه یا اداره دولتی همراه با نام نگارنده:

Watson, R.T., Zinyowera, M.C., and Moss, R.H. 2006. IPCC Special Report on The Regional Impacts of Climate Change. An Assessment of Vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change. Available at Web site http://www.grida.no/climate/ipcc/regional/index.htm (verified 5 September 2007).

6- مقاله یا نوشته از اینترنت مربوط به یک دانشگاه یا اداره دولتی بدون نام نگارنده:

Food and Agriculture Organization (FAO). 2006. The FAOSTAT Database. Available at Web site http://faostat.fao.org/default.aspx (verified 5 September 2007).

7- رساله‌های تحصیلی:

Khorramdel, S. 2011. Evaluation of the potential of carbon sequestration and Life Cycle Assessment (LCA) approach in different management systems for corn. PhD Dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

8- کنفرانس‌ها ی علمی:

Verschwele, A. 2007. Reducing weed infestation in winter wheat by sowing technique. In Seventh EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control, Salem, Germany, 11–14 March 2007, p. 91–96.

9- گزارش‌های علمی:

Pretty, J. and Hine, R. 2001. Reducing Food Poverty with Sustainable Agriculture: A Summary of New Evidence. Final report from the 'SAFE World' Research Project, University of Essex. Available at http://www2.essex.ac.uk/ces/ResearchProgrammes/SAFEWexecsummfinalreport.htm (accessed 22 February 2007).

NJF. 2005. NJF-Seminare 369. Organic farming for a new millennium – status and future challenges. Nordic Association of Agricultural Scientists, NJP Report Volume 1, No. 1. Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp. p. 252–256.

California Department of Food and Agriculture. 2004. State organic crop and acreage report. Available at Web site: www.cdfa.ca.gov/is/i&c/docs/2004stateData.pdf (verified October 2005).

10- نرم افزار های کامپیوتری:

SAS Institute. 1999. SAS/Stat User's Guide, Version 8.0. SAS Institute, Cary, NC.

Systat. 2004. Systat Version 11. Systat Software, London, UK.

از کلیه همکاران، پژوهشگران و دانشجویان تحصیلات تکمیلی که مایل به چاپ مقاله در این مجله می‌باشند، تقاضا می‌شود مقالات خود را با مشخصات فوق تهیه و از طریق سایت نشریه به صورت الکترونیکی برای دفتر نشریه ارسال فرمایند.

مشهد، میدان آزادی، پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، دبیرخانه مجلات علمی، دفترمجله بوم شناسی کشاورزی

صندوق پستی: 1163-91775

تلفن: 051-38804654 نمابر: 051 -38787430 E-mail: **Agroecology@um.ac.ir**

http://jm.um.ac.ir/index.php/agroecology

از آنجائیکه نشریه بوم شناسی کشاورزی مبتنی به نتایج پژوهش‌هایی است که مستقیماً با محیط طبیعی در ارتباط است، نتایج پژوهش‌های مربوط به محیطهای تحت کنترل مانند گلخانه و آزمایشگاه تناسب چندانی با این نشریه ندارند و لذا از پذیرش مقالاتی که حاصل چنین پژوهش‌هایی باشد معذوریم.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۵-۱

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 1-15

اثر تراکم بوته و محلول‌پاشی برگی بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی خاکشیر شیرین (*Descurainia sophia* L.)

عبداله ملافیلابی[1*] و محمد رضا گزیکی‌نژاد[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۰۷

ملافیلابی، ع.، و گزیکی نژاد، م.ر. ۱۳۹۸. اثر تراکم بوته و محلول‌پاشی برگی بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی خاکشیر شیرین (*Descurainia sophia* L.). بوم شناسی کشاورزی، ۱۱(۱): ۱۵-۱.

چکیده

این آزمایش با هدف بررسی اثر تراکم بوته و محلول‌پاشی برگی بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی خاکشیر شیرین (*Descurainia sophia* L.)، به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تربت جام اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل سه تراکم بوته (۱۰، ۲۰ و۴۰ بوته در مترمربع) و محلول‌پاشی با کود کامل (غلظت پنج در هزار) در سه مرحله سبزینه‌ای، قبل از مرحله گلدهی و شروع دانه‌بندی و شاهد بود. صفات مورد مطالعه شامل وزن تر و خشک اندام‌های هوایی، تعداد شاخه جانبی در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد بذر، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت بودند. نتایج نشان داد که اثر ساده تراکم بوته بر تعداد شاخه جانبی و شاخص برداشت خاکشیر شیرین معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود. اثر ساده محلول‌پاشی برگی بر تعداد شاخه جانبی و وزن هزار دانه معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود. همچنین اثر متقابل تراکم بوته و محلول‌پاشی برگی بر تعداد شاخه جانبی در بوته، وزن خشک اندام‌های هوایی، عملکرد بذر، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود. بالاترین عملکرد بذر، عملکرد بیولوژیک و وزن خشک اندام‌های هوایی از تراکم ۴۰ بوته در متر مربع+ محلول‌پاشی برگی در مرحله شروع دانه‌بندی به ترتیب با ۹۹، ۴۹۵ و ۳۹۶ گرم بر متر مربع حاصل شد. کمترین عملکرد بذر مربوط به تراکم ۱۰ بوته در متر مربع+شاهد با ۳۵ گرم بر متر مربع بود. کمترین مقادیر عملکرد بیولوژیک و وزن خشک اندام‌های هوایی برای تراکم ۲۰ بوته در متر مربع+ محلول‌پاشی در مرحله شروع دانه‌بندی به ترتیب با ۱۶۸ و ۱۲۶ گرم بر متر مربع مشاهده شد. بالاترین ضریب همبستگی مربوط به عملکرد بیولوژیک با وزن خشک اندام‌های هوایی ($r=$۰/۹۷**) بود. بر این اساس، به نظر می‌رسد انتخاب تراکم مناسب و محلول‌پاشی برگی راهکاری مدیریتی برای دستیابی پایدار به عملکرد بذر گیاه دارویی خاکشیر شیرین به عنوان گونه‌ای مقاوم برای توسعه کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون خراسان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کود کامل، مرحله شروع دانه‌بندی، وزن خشک اندام‌های هوایی، عملکرد بذر

مقدمه

روند رو به افزایش مصرف گیاهان دارویی بدون توسعه روش‌های مناسب کشت و مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح نتیجه‌ای بجز تخریب طبیعت را در پی نخواهد داشت. به منظور پاسخگویی به نیاز عموم مردم و صنایع وابسته به این محصولات، لازم است تولید و کشت گیاهان دارویی در سطوح زراعی صورت گیرد و جهت دستیابی به نتایج مطلوب‌تر از طبیعت به عنوان الگو و مدل جهت تولید انبوه این گونه‌های باارزش استفاده شود. بررسی‌ها نشان داده است گیاهانی که در شرایط خارج از محیط طبیعی کاشته می‌شوند، تا اندازه‌ای با گونه-های وحشی متفاوت می‌باشند، اما اگر در این کشت و تکثیر از بذرهای مرغوب استفاده شده و شرایط خاک و آب و هوایی منطقه

۱- استادیار گروه زیست فناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران
۲- کارشناس ارشد باغبانی
(*- نویسنده مسئول: (Email: a.filabi@rifst.ac.ir
DOI: 10.22067/jag.v11i1.75552

کشت مناسب باشد، این گیاهان از نظر خصوصیات به اندازه گیاهان وحشی مؤثر هستند (Najafpour Navaei et al., 2008). در کشت و تکثیر گیاهان دارویی عوامل مختلفی از جمله تراکم کاشت، تاریخ کاشت، رژیم آبیاری، خاک و غیره بر رشد و نمو و مواد مؤثره اثر دارند. بنابراین، در نظر گرفتن شرایط حاکم بر محیط کشت زراعی و الگوبرداری از محیط کشت طبیعی برای دستیابی به نتایج مفید در زمینه کشت و تکثیر این گیاهان بسیار حائز اهمیت است.

متکی بودن اقتصاد ایران بر درآمدهای نفتی و تأثیرپذیری درآمدها از مسائل سیاسی و اقتصادی، آسیب‌پذیری اقتصاد را موجب شده است. یکی از راهکارهای مقابله با این چالش، توسعه تولیداتی است که ضمن بهبود وضع اقتصاد داخلی سبب افزایش صادرات غیرنفتی می‌شود (Norouzi & Shahbazi, 2011). گیاه خاکشیر شیرین *Descurainia sophia* L. گونه‌ای دارویی از تیره شب‌بوئیان، به صورت علفی و بوته‌ای، یکساله یا دو ساله از خانواده شب‌بوئیان است (Baskin et al., 2004). در طب سنتی از دانه‌های خاکشیر به عنوان درمان اسهال، ادرارآور، تب‌بر، رفع التهاب کلیه، دفع کرم و درمان آب آوردن انساج به صورت جوشانده استفاده می‌شده است. از قدیم در ایران خاکشیر را با آب سرد مخلوط و به عنوان ملین و خنکی مصرف می‌نموده‌اند. با توجه به اهمیت گیاهان دارویی و لزوم کشت این گیاهان در سطح وسیع، لذا بررسی تأثیر عوامل محیطی و مدیریت منابع کودی بر کمیت و کیفیت آن حائز اهمیت است. لازم به ذکر است پژوهش‌های چندانی درباره جنبه‌های مختلف به زراعی گیاه دارویی خاکشیر به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون خراسان صورت نگرفته است.

سیستم‌های کشاورزی برای افزایش تولید و باروری مدیریت تغذیه‌ای و حاصلخیزی هستند. در این ارتباط، عناصری مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم به دلیل پرمصرف‌بودن و در نتیجه نقش بیشتر در محدودیت رشد گیاه، از جمله عناصر مهم به شمار می‌روند؛ به طوری‌که نیتروژن نقش مهمی در افزایش عملکرد محصولات داشته و در برخی موارد ممکن است به عنوان عمومی‌ترین عامل محدودکننده رشد مطرح شود. هدر رفت این عنصر از طریق فرآیندهای مختلف از طریق آبشویی، نیترات‌زدایی، فرسایش سطحی و تصعید باعث شده است تا کارایی مصرف آن برای تولید محصولات کشاورزی پایین باشد و بخش زیادی از نیتروژن مصرفی از دسترس گیاه خارج شود (Mae et al., 2008). افزایش کارایی مصرف نیتروژن می‌تواند علاوه بر کاهش هزینه‌های اقتصادی باعث ارتقای سلامت بوم‌نظام‌های زراعی شده و تبعات زیست‌محیطی ناشی از هدررفت نیتروژن را کاهش دهد (Huang et al., 2011). فسفر نیز برای ذخیره و انتقال انرژی، بهبود رشد و نمو بذر ضروری است (Roose, 2000; Jones, 2011). همچنین کیفیت و رسیدگی محصول به ویژه در محصولات دانه‌ای را افزایش می‌دهد. پتاسیم نیز سبب حفظ تعادل آب وبنابر این ایجاد ساقه قوی می‌شود (Jones, 2011)، اما با این‌وجود مطالعات بلند مدت نشان می‌دهند که استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی، عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد که این کاهش در نتیجه باعث اسیدی شدن خاک، کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی خاک و تخریب خصوصیات فیزیکی خاک می‌شود (Adedrian et al., 2004). برای کاهش این مخاطرات باید از منابع و نهاده‌هایی استفاده کرد که علاوه بر تامین نیازهای فعلی گیاه، پایداری سیستم‌های زراعی در دراز مدت را نیز به دنبال داشته باشد (Marroti et al., 1996).

در حقیقت محلول‌پاشی یک راه میان‌بر برای تغذیه گیاهی است (Adriana et al., 2002). محلول‌پاشی برگی در مورد عناصری که قابلیت تحرک کمی در خاک دارند (نظیر فسفر، پتاسیم و کلسیم) و عناصر کم تحرک در گیاه (همچون کلسیم، منیزیم، گوگرد، بر، آهن، منگنز و روی) کارایی بالایی دارد چراکه همواره کمبود این عناصر در گیاه مشاهده می‌شود (Heidari et al., 2008). علاوه بر بحث تغذیه، تراکم بوته نیز از جمله مسائل مهم و تأثیرگذار بر عملکرد محصولات مختلف همچون گونه‌های دارویی است. کارایی جذب انرژی تابشی، نیاز به سطح برگ کافی دارد که بطور یکنواخت توزیع شده باشد، بطوری‌که سطح زمین را کاملاً بپوشاند؛ این هدف جز با تغییر تراکم بوته و توزیع مناسب بوته‌ها بر روی سطح خاک میسر نمی‌باشد. لذا مطالعهٔ تراکم برای دستیابی به سطح مطلوبی از محصول لازم است (Rezvani Moghaddam et al., 2011).

بر این اساس، با توجه به اهمیت موارد ذکر شده در فوق، در این پژوهش تأثیر تراکم بوته و محلول‌پاشی برگی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه خاکشیر شیرین در شرایط آب و هوایی تربت جام مورد ارزیابی قرار گرفت. علاوه بر این، این تحقیق در راستای دستیابی عملکرد بالاتر بذر و توسعه و ترویج کشت گیاه دارویی خاکشیر شیرین در شرایط آب و هوایی استان خراسان رضوی به عنوان یکی از گیاهان دارویی مقاوم به کم‌آبی و خشکی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تربت جام واقع در طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۲۷ دقیقه، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۳ دقیقه و ارتفاع ۹۲۸ متر از سطح دریا به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ طراحی و اجرا شد. قبل از شروع آزمایش، به منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک چند نمونه برداشت شد که نتایج تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)

Table 1- Some physicochemical indices of soil (0-30 cm)

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.cm^{-1}$)	ماده آلی Organic (%) matter	نیتروژن کل N total (ppm)	فسفر قابل جذب Available P (ppm)	پتاسیم قابل جذب Available K (ppm)	بافت Texture
7.7	¼	0.73	7.4	9.7	109	لوم سیلتی Silty loam

فاکتورهای آزمایش شامل سه تراکم بوته (۱۰، ۲۰ و۴۰ بوته در مترمربع) و محلول‌پاشی با کود کامل در سه مرحله خاکشیر شیرین شامل سبزینه‌ای رشدی (۱۵ اسفند ماه)، قبل از گلدهی (۱۵ فروردین ماه) و شروع دانه‌بندی (۳۰ فروردین‌ماه) و شاهد (بدون محلول‌پاشی) بود. محلول‌پاشی با کود کامل با غلظت پنج در هزار در اول صبح انجام گرفت. لازم به ذکر است جهت شاهد از محلول‌پاشی با آب مقطر استفاده شد. مراحل آماده‌سازی زمین شامل شخم عمیق، کولتیواتور، دیسک و لولر در پاییز ۱۳۹۴ اجرا شده و پس از آن اقدام به کرت‌بندی به ابعاد ۲×۲ متر شد. فاصله بین کرت‌ها و تکرارها یک و نیم متر جهت تسهیل در نمونه‌برداری و اجزای عملیات زراعی در نظر گرفته شد. به منظور بالا بردن مقدار فسفر خاک با توجه به خصوصیات شیمیایی خاک (جدول ۱)، کود فسفات آمونیم به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از شروع آزمایش و همزمان با آماده‌سازی بستر کاشت به خاک اضافه شد. در این زمان همچنین پنج تن کود حیوانی در هکتاربه منظور بالا بردن درصد ماده آلی به زمین اضافه شد.

قبل از کشت در مزرعه، درصد جوانه‌زنی یا قوه نامیه بذر مورد استفاده (توده بومی منطقه) تعیین شد. برای این منظور، ۲۰۰ عدد بذر زیره سبز به صورت تصادفی انتخاب و پس از ضدعفونی با بنومیل دو در هزار در دو پتری دیش با کاغذ صافی مرطوب، به صورت مساوی و با توزیع یکنواخت (۱۰۰ تایی) چیده و در دستگاه ژرمیناتور قرار داده شد. اولین شمارش بذرهای جوانه زده پنج روز بعد از شروع آزمایش بود و آخرین شمارش ۱۷ روز پس از شروع این محاسبه انجام شد (ISTA, 2010). بر این اساس، درصد جوانه‌زنی ۸۸٪ تعیین گردید.

عملیات کاشت در تاریخ ۲۶ آبان ماه انجام گردید که برای این منظور پس از آماده‌سازی زمین بذور بر روی ردیف‌ها، به صورت خشکه‌کاری و مخلوط با ماسه بادی در لایه سطحی خاک به شیوه دستی کشت شدند. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و آبیاری دوم شش روز بعد از آبیاری اول انجام گردید. به منظور حصول تراکم مورد نظر پس از استقرار کامل گیاه در مرحله شش برگی عملیات تنک دستی انجام شد. وجین دستی علف‌های هرز در دو نوبت در اوایل اسفند ماه اواسط فروردین ماه انجام شد. در زمان آماده‌سازی زمین و در طول دوره رشد هیچ گونه علف‌کش، آفت‌کش و قارچ‌کش شیمیایی مورد استفاده قرار نگرفت.

به منظور بررسی عملکرد و اجزای عملکرد، در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گیاه، نمونه‌برداری با حذف اثر حاشیه از سطحی معادل یک مترمربع انجام شد. سپس صفاتی از قبیل وزن تر و خشک اندام-های هوایی، تعداد شاخه جانبی در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد بذر و عملکرد بیولوژیک اندازه‌گیری و تعیین شد. شاخص برداشت بذر از نسبت عملکرد بذر به عملکرد بیولوژیک محاسبه گردید. داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و با نرم‌افزار SAS 9.1 تجزیه و تحلیل شدند. نتایج همبستگی بین صفات با استفاده از آزمون پیرسون انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج آنالیز واریانس و مقایسه میانگین اثر تراکم بوته و محلول-پاشی بر رشد، عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص برداشت گیاه دارویی خاکشیر شیرین در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تراکم بوته و محلول‌پاشی برگی بر رشد، اجزای عملکرد، عملکرد و شاخص برداشت خاکشیر شیرین

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for the effects of plant density and foliar spraying on growth, yield components, yield and harvest index of flixweed

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی در بوته Lateral branches per plant	وزن ۱۰۰۰- دانه 1000–seed weight	وزن تر اندام‌های هوایی Fresh weight of shoot	وزن خشک اندام‌های هوایی Dry weight of shoot	عملکرد بذر Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت بذر Harvest index of seed
تکرار Block	2	91	2.861	0.007	0.461	0.136	0.242	0.236	0.005
تراکم بوته (D) Plant density (D)	2	51 ns	107.02 **	0.005 ns	0.31 ns	0.31 ns	0.21 ns	0.44 ns	0.009 *
محلول‌پاشی برگی (S) Foliar spraying (S)	3	86 ns	17.50 *	0.054 **	0.35 ns	0.19 ns	0.07 ns	0.25 ns	0.003 ns
D ×S	6	139 ns	6.3 *	0.015 ns	0.2 ns	0.295 *	0.011 *	0.20 *	0.001 *
خطا Error	22	9.2	2.09	0.099	0.465	0.324	0.269	0.367	0.048
ضریب تغییرات CV (%)		7.85	23.316	12.62	10.266	8.36	10.026	9.041	20.07

ns، * و **: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و دارای اختلاف معنی‌دار به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم بوته و محلول‌پاشی برگی بر رشد، اجزای عملکرد، عملکرد و شاخص برداشت خاکشیر شیرین

Table 2- Mean comparisons for the interaction effect of plant density and foliar spraying on growth, yield components, yield and harvest index of flixweed

تراکم بوته (بوته در متر مربع) Plant density (plants.m^{-2})	مرحله رشدی گیاه در زمان محلول‌پاشی برگی Plant stage at foliar spraying time	تعداد شاخه جانبی در بوته Lateral branches per plant	وزن خشک اندام‌های هوایی (گرم بر متر مربع) Dry weight of shoot (g.m^{-2})	عملکرد بذر (گرم بر متر مربع) Seed yield (g.m^{-2})	عملکرد بیولوژیک (گرم بر متر مربع) Biological yield (g.m^{-2})	شاخص برداشت بذر Harvest index of seed
10	شاهد (بدون محلول پاشی) Control (without spraying)	10 bcd*	146 e	35.1 b	181 c	0.23 ab
	سبز شدن Emergence	15.3 a	224 abc	56.2 ab	227 abc	0.22 b
	قبل از گلدهی Before flowering	11.3 bc	238 abc	42.7 b	285 abc	0.18 b
	شروع دانه‌بندی Early seed formation	12 ab	302 ab	53.8 ab	309 abc	0.21 b
20	شاهد (بدون محلول‌پاشی) Control (without spraying)	7 de	240 abc	54.2 ab	256 abc	0.24 ab
	سبز شدن Emergence	11.3 bc	184 bc	44.9 ab	236 bc	0.24 ab
	قبل از گلدهی Before flowering	8 cde	254 abc	59.2 ab	311 abc	0.33 a
	شروع دانه‌بندی Early seed formation	7.6 cde	127 c	39.9 b	168 c	0.31 a
40	شاهد (بدون محلول‌پاشی) Control (without spraying)	7 de	197 bc	48.6 ab	246 bc	0.25 ab
	سبز شدن Emergence	6.3 de	236 abc	54.1 ab	291 abc	0.22 ab
	قبل از گلدهی Before flowering	7 de	334 ab	85.7 ab	421 a	0.23 ab
	شروع دانه‌بندی Early seed formation	4.6 e	396 a	98.8 a	495 a	0.24 ab

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means with same letter(s) in each column have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

اثر متقابل تراکم بوته در زمان محلول‌پاشی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک، وزن خشک گیاه و تعداد شاخه جانبی گیاه خاکشیر شیرین داشت (جدول ۲). بیشترین عملکرد بیولوژیک و وزن خشک گیاه تراکم ۴۰ بوته در متر مربع+ محلول‌پاشی در مرحله شروع دانه-بندی به ترتیب با ۴۹۵ و ۳۹۶ گرم بر متر مربع مشاهده شد. کمترین مقادیر این صفات به ترتیب برای تیمارهای ۲۰ بوته در متر مربع+ محلول‌پاشی در مرحله شروع دانه‌بندی (۱۶۸ گرم بر متر مربع) و ۱۰ بوته در متر مربع+ بدون محلول‌پاشی (۱۴۶ گرم بر متر مربع) حاصل گردید. بالاترین و پایین‌ترین تعداد شاخه جانبی به ترتیب به تیمارهای اختصاص ۱۰ بوته در متر مربع+ محلول‌پاشی در مرحله سبز شدن (۱۵/۳ شاخه جانبی در بوته) و ۴۰ بوته در متر مربع+ محلول‌پاشی در مرحله شروع دانه‌بندی (۴/۶ شاخه جانبی در بوته) داشت (جدول ۳).

اثر متقابل تراکم بوته و محلول‌پاشی بر عملکرد بیولوژیک گیاه خاکشیر شیرین معنی‌دار بود (جدول ۲). به طوری‌که تیمار تراکم ۴۰ بوته و محلول‌پاشی ۳۰ فروردین دارای حداکثر عملکرد بیولوژیک (۴۹۵ گرم بر متر مربع) و تیمار تراکم۲۰ بوته و محلول‌پاشی ۳۰ فروردین دارای حداقل عملکرد بیولوژیک بود (جدول ۳). همچنین تراکم‌های مختلف و شاهد دارای حداقل سطح معنی‌داری از میزان عملکرد بیولوژیک بودند. بنظر می‌رسد در تراکم‌های بالاتر، تعداد بیشتر بوته در واحد سطح جبران کاهش وزن تک بوته را نموده و در تراکم‌های بیشتر به دلیل جذب مؤثر نور و فتوسنتز بیشتر، عملکرد بیولوژیک بالاتری تولید شده است. همچنین با افزایش تراکم بوته، رشد رویشی اندام‌های هوایی کاهش و به تدریج با کاهش تراکم، به دلیل در اختیار داشتن فضای بیشتر، رشد رویشی افزایش یافته است. بر این اساس، در فاصله ردیف‌های کمتر و تراکم‌های بیشتر، رشد رویشی تحت تأثیر کنترل رقابت بین بوته‌ها و امکانات محیطی بوده و به همین دلیل تقریباً در حد معینی متوقف شده است؛ در حالی‌که در فاصله ردیف‌های بیشتر، به علت رقابت ناچیز بین بوته‌ها، رشد رویشی همچنان ادامه داشته و موجب کاهش شاخص سطح اندام‌های رویشی و در نتیجه وزن خشک آنها شده است. در مدیریت پایدار بوم‌نظام‌های زراعی برای بهبود عملکرد و افزایش بهره‌وری آب، راهکارهای زراعی همچون تراکم بوته و مدیریت حاصلخیزی توصیه می‌شود که با طبیعت بیشترین سازگاری را داشته و با اصول بوم شناختی هماهنگ باشند. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود از تراکم بوته و محلول‌پاشی مناسب برای بهبود عملکرد این گیاه در راستای بهینه‌سازی پایدار مصرف منابع در بوم‌نظامهای زراعی بهره‌گیری شود.

علاوه بر این، افزایش رقابت بین بوته‌ای در نتیجه سایه‌اندازی بوته‌ها بر روی یکدیگر تحت تأثیر افزایش تراکم بوته موجب بالا رفتن تنفس نگهداری و انتقال کمتر مواد فتوسنتزی به مخازن زایشی شده و از سوی دیگر به دلیل تولید شاخه جانبی کمتر در بوته کاهش تولید ماده خشک را بدنبال دارد. از طرف دیگر، افزایش تراکم بوته در واحد سطح تا حد بهینه می‌تواند به مدیریت پایدار علف‌های هرز نیز کمک نماید، زیرا سایه‌انداز کوچک این گیاه زودتر تشکیل شده و با ایجاد سایه از رشد علف‌های هرز جلوگیری می‌گردد.

در پژوهشی مشابه، حسین‌پور و همکاران (Hosseinpour et al., 2012) با بررسی تأثیر کود نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد گیاه آنیسون (*Anisum pimpinella* L.) بیان داشتند که اثر متقابل کود نیتروژن در تراکم بالا باعث افزایش عملکرد زیست‌توده گردید. آنها اظهار داشتند که در تراکم‌های بالا رقابت درون‌گونه‌ای معمولاً به کاهش وزن تک بوته منجر می‌شود، اما در تراکم بالا تعداد زیاد بوته، این کاهش عملکرد زیست‌توده را در واحد سطح جبران کرده است. بر این اساس، به نظر می‌رسد که با افزایش تراکم بوته و محلول‌پاشی در زمان گلدهی و اواخر گلدهی عملکرد بیولوژیکی افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، به واسطه افزایش تراکم و محلول‌پاشی در اواخر فصل رشد، استقرار مطلوب‌تر پوشش گیاهی ایجاد شده و گیاه به سمت استفاده بهینه از عوامل محیطی مانند نور خورشید و بهبود جذب عناصر غذایی تحریک می‌شود، لذا عملکرد زیست‌توده گیاهی افزایش می‌یابد. همچنین کاهش تراکم از ۴۰ به ۱۰ بوته در مترمربع منجر به کاهش ۴۵ درصدی عملکرد بیولوژیک گردید که در این راستا در پژوهشی کاندیل و همکاران (Kandil et al., 1996) روی بررسی تاثیر رقم و تراکم بوته بر عملکرد گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) بیان داشتند که با افزایش تراکم بوته عملکرد بیولوژیکی نیز افزایش یافت. به نظر می‌رسد که افزایش تعداد بوته در واحد سطح از طریق افزایش وزن کل بوته و تعداد خورجین در واحد سطح موجب افزایش عملکرد بیولوژیکی شده است.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که عملکرد بذر تحت تأثیر اثرات متقابل تیمارهای مورد آزمایش قرار گرفت (جدول ۲). بالاترین عملکرد بذر (۹۹ گرم در متر مربع) در تیمار تراکم ۴۰ بوته در

مترمربع با محلول‌پاشی ۳۰ فروردین ماه و کمترین عملکرد بذر (۳۵ گرم در مترمربع) در شاهد با تراکم ۱۰ بوته در مترمربع به دست آمد (جدول ۳). به نظر می‌رسد در تراکم ۴۰ بوته و محلول‌پاشی ۳۰ فروردین تعداد خورجین بوته بیشتر و ریزش کمتر شده و مواد فتوسنتزی بیشتری تا پایان مراحل رشد و نمو در اختیار گیاه قرار گرفته است که از این حیث نتیجه بالاتری را نشان می‌دهد که با نتایج دانش شهرکی و همکاران (Danesh-Shahraki et al., 2008) مطابقت داشت. تحقیقات نشان داده است که عنصر آهن در ساختمان کلروفیل‌ها، سیتوکروم و آنزیم نیتروژناز، منگنز در فعال‌سازی آنزیم‌های مرتبط با فتوسنتز، انسجام غشای کلروپلاست و آزادسازی اکسیژن در فرآیند فتوسنتز (واکنش هیل) و تنظیم مراحل نموی گیاه، عنصر بّر در ساخت دیواره سلولی، سنتز اسید نوکلئیک، انسجام غشاها و تنظیم مراحل نموی گیاه و عنصر روی در فعالیت آنزیم‌های مرتبط با تشکیل کلروفیل و به تبع آن افزایش فتوسنتز شرکت داشته و موجب تسریع در تشکیل هورمون نمو مانند تریپتوفان به عنوان ماده اولیه اکسین‌ها می‌شود (Malakouti et al., 2008). بنابراین، مشخص است که کاربرد محلول‌پاشی با کود کامل می‌تواند اثرات مثبتی بر تشکیل برگ، شاخص سطح برگ و فتوسنتز داشته باشد و عملکرد را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. بر این اساس، از آنجا که عملیات مختلف کاشت، داشت (شامل تراکم بوته، آبیاری، کوددهی و مدیریت علف‌های هرز) و برداشت میزان رشد و تولید ترکیبات ثانویه گیاهان دارویی را به طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار می‌دهد (Ozgüven et al., 2008)، به نظر می‌رسد که توجه به راهکارهای مدیریت زراعی همچون تراکم بوته و مدیریت تغذیه می‌تواند از طریق بهبود رشد و استقرار گیاه اهمیت بسزایی در راستای افزایش پایدار تولید این گونه گیاهی به همراه داشته باشد. همچنین، از آنجا که این گیاه مقاومت نسبتاً بالایی به خشکی دارد، به نظر می‌رسد توسعه کشت و کار و وارد کردن این گیاه در الگوی کاشت منطقه خراسان رضوی می‌تواند نقش بسزایی در بهبود بهره‌وری، آمدزایی و معیشت‌زایی برای کشاورزان منطقه ایفا نماید. لذا توسعه کشت خاکشیر شیرین به عنوان گیاه مقاوم به خشکی و کم‌آبی در الگوی کشت منطقه خراسان جنوبی می‌تواند به عنوان راهکاری اکولوژیک و پایدار برای کاهش مصرف آب مدنظر قرار گیرد.

کاهش تراکم بوته از ۴۰ به ۲۰ و سپس ۱۰ بوته در مترمربع به ترتیب منجر به کاهش ۴۴ و ۵۳ درصدی در عملکرد بذر خاکشیر شیرین شد. تأثیر تراکم بوته بر عملکرد دانه گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) نیز نشان داد که در بین تراکم‌های ۷، ۱۶ و ۲۵ بوته بیشترین وزن دانه در تراکم ۲۵ بوته در مترمربع به دست آمد (Darzi & Akhani, 2016). به طور کلی، تعداد بذر در یک بوته تابعی از تراکم بوته در واحد سطح است (Norouzi & Shahbazi, 2011). به نظر می‌رسد چون خاکشیر شیرین گیاهی رشد نامحدود می‌باشد، در طی فصل رشد و با افزایش تراکم بوته بر تعداد خورجین و دانه، افزوده شده، در نتیجه در تراکم‌های بالاتری، عملکرد بذر بیشتری به دست آمد. کاهش عملکرد بذر در تراکم‌های بالا را می‌توان به وجود فضای کم برای رشد بوته‌ها نسبت داد، زیرا با افزایش تراکم بوته در واحد سطح تحت تأثیر افزایش رقابت درون گونه‌ای، سهم هر گیاه در استفاده از نور، فضا، عناصر غذایی و سایر منابع کاهش یافته و بنابراین، پتانسیل تولید عملکرد بذر نیز کاهش می‌یابد.

بررسی اثر متقابل تراکم بوته و محلول‌پاشی با کود کامل بر وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه خاکشیر شیرین نشان داد که وزن خشک اندام‌های هوایی تحت اثر متقابل این دو تیمار قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین وزن خشک اندام‌های هوایی در تیمار تراکم۴۰ بوته و محلول‌پاشی ۳۰ فروردین ماه (۳۶۹ گرم بر مترمربع) به دست آمد (جدول ۲). نتایج نشان می‌دهد که در تمامی تراکم‌ها، اثر متقابل تراکم بوته و محلول‌پاشی توانسته است نتیجه بهتری را در بهبود وزن خشک بوته نسبت به شاهد ایجاد کند (جدول ۳). طبق نتایج این پژوهش، چنین به نظر می‌رسد که در تراکم‌های بالاتر جذب ماده غذایی بیشتر است و با محلول‌پاشی، عناصر مورد نیاز این جذب، مهیا شده و باعث افزایش ماده خشک گردیده است. همچنین چون خاکشیر شیرین گیاهی رشد نامحدود است، بنابراین محلول‌پاشی در آخر فصل رشد باعث جذب بهتر عناصر غذایی و رفع کمبودهای احتمالی می‌شود. همچنین وزن تر اندام‌های هوایی گیاه از نظر آماری تحت تأثیر تیمارهای اعمال شده قرار نگرفت، اما با این‌وجود، بیشترین وزن تر اندام‌های هوایی گیاه خاکشیر شیرین در تراکم ۴۰ بوته با محلول‌پاشی ۳۰ فروردین ماه حاصل شد که البته اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها نداشت. وزن خشک اندام‌های هوایی، انعکاسی از فتوسنتز خالص گیاه است (Mostafavi, 2014) و ماده فتوسنتزی تولیدی می‌تواند به رشد گیاه اختصاص یافته و یا در اندام‌های ذخیره‌ای تجمع یابد و تعیین‌کننده عملکرد گیاهی باشد. وزن

خشک اندام‌های هوایی اگرچه متأثر از عوامل ژنتیکی می‌باشد، ولی به شدت وابسته به عوامل محیطی و مدیریتی است. با توجه به این که عامل مهم موثر بر رشد و تولید مواد فتوسنتز گیاهی میزان جذب نور توسط برگ‌ها و تبدیل آنها به مواد فتوسنتزی است، افزایش تعداد و سطح برگ و سطح سایر اندام‌های هوایی باعث افزایش جذب نور شده که در نهایت، به شرط محدودکننده نبودن سایر فاکتورهای محیطی و عدم بروز هر نوع تنش زنده و غیرزنده، می‌تواند منجر به افزایش تولید ماده خشک و در نتیجه عملکرد گردد. کاهش فتوسنتز مهمترین عامل کاهنده وزن خشک اندام‌های هوایی و زیرزمینی است (Efeoğlu et al., 2009). لباسچی و همکاران (Lebaschy & Sharifi, 2004) نیز گزارش کردند که پتانسیل فتوسنتزی و توان رشدی، همبستگی بالایی با سطح برگ داشته و میزان ماده خشک نتیجه کارایی جامعه گیاهی از نظر استفاده از تابش نور خورشیدی در طول فصل رشد است که در این ارتباط جامعه گیاهی نیاز به سطح برگ کافی دارد که با پوشش یکنواخت و کامل جذب حداکثری نوری را فراهم می‌آورد. یافته‌های دیگر محققان بر همبستگی بالای شاخص سطح برگ و عملکرد گیاهان تأکید دارد (Mostafavi, 2014; Ghobadi et al., 2011).

اثر متقابل تیمارهای تراکم بوته و محلول پاشی برگی تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه جانبی گیاه داشت (جدول ۲)؛ به طوری‌که در تراکم ۱۰ بوته در متر مربع و محلول‌پاشی ۱۵ اسفندماه بیشترین تعداد شاخه جانبی (۱۵ شاخه در بوته) ایجاد شد (جدول ۳). چنین به نظر می‌رسد که در تراکم ۱۰ بوته در متر مربع میزان نور بیشتری به بوته‌ها رسیده لذا جوانه‌های جانبی بیشتری فعال می‌شود، محلول‌پاشی همزمان باعث گردید که گیاه میزان مواد غذایی بیشتری کسب کرده، فتوسنتز گیاه افزایش یافته و در نتیجه بر تعداد شاخه‌های جانبی افزوده شود (Adedrian et al., 2004). افزایش تراکم گیاه از ۱۰ به ۴۰ بوته در متر مربع منجر به کاهش ۵۰ درصدی در تعداد شاخه‌های جانبی در گیاه شد (جدول ۲). به عبارت دیگر، با افزایش تراکم و دور شدن از تراکم مطلوب تعداد شاخه‌های فرعی گیاه، به دلیل کاهش فضای قابل دسترس و تشدید رقابت درون گونه‌ای کاهش می‌یابد. نتایج این آزمایش با یافته‌های برخی از محققین در خصوص تأثیر تراکم بر تعداد شاخه جانبی مطابقت دارد. در همین راستا، ایلکایی و امام (Eilkaee & Emam, 2003) با بررسی تاثیر تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم کلزای زمستانه اظهار داشتند که افزایش تراکم بوته گیاه کلزا از ۳۰ به ۷۰ بوته در متر مربع موجب کاهش تعداد شاخه جانبی در این گیاه گردید. همچنین دانش شهرکی و همکاران (Danesh-Shahraki et al., 2008) نیز با بررسی تأثیر تراکم بوته بر عملکرد گیاه کلزا گزارش کردند که با افزایش تراکم بوته از ۶۰ به ۱۰۰ بوته در متر مربع از تعداد شاخه جانبی و در نتیجه عملکرد کاسته شد. درزی و نادعلی (Darzi & Nadeali, 2015) نیز با بررسی تأثیر تراکم بوته بر تعداد شاخه جانبی گیاه آنیسون در منطقه فیروزکوه گزارش کردند که افزایش تراکم بوته از ۱۲ به ۲۵ بوته در متر مربع موجب کاهش شاخه جانبی و تعداد چتر در گیاه گردیده است. این کاهش را می‌توان به محدود شدن فضا برای تک‌بوته و رقابت بین بوته‌ها نسبت داد که منجر به رشد رویشی بیشتر و زایشی کمتر تک بوته می‌گردد. همچنین با افزایش تراکم بوته در متر مربع کاهش نفوذپذیری نور در بخش پایینی و سایه‌انداز گیاه اتفاق افتاده که در نتیجه باعث عدم تشکیل و فعالیت جوانه‌های جانبی و رشد شاخه جانبی می‌گردد (Rassam et al, 2007; Yates et al., 1987).

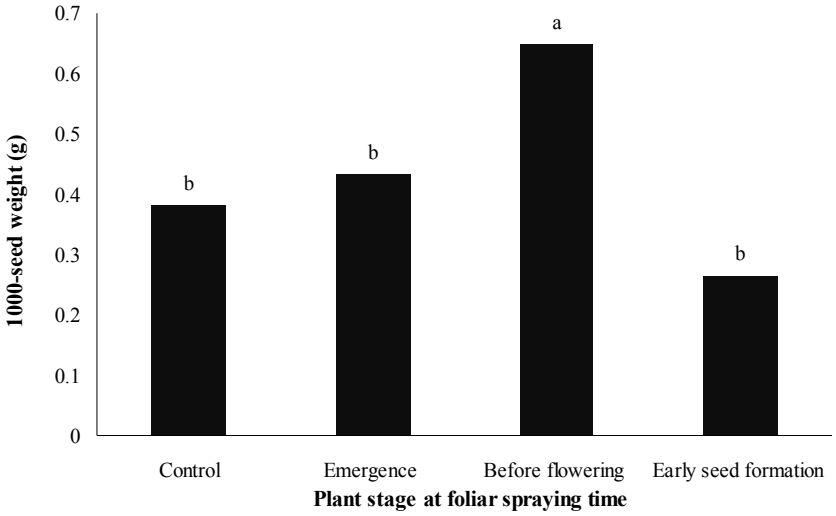
تاخیر در زمان محلول‌پاشی از ۱۵ اسفندماه تا ۳۰ فروردین ماه منجر به کاهش ۳۷ درصدی در میزان تولید شاخه‌های جانبی در گیاه خاکشیر شیرین شد (جدول ۳). محلول‌پاشی از طریق فراهمی عناصر غذایی به ویژه نیتروژن، موجب افزایش دریافت نور، فتوسنتز و بهبود تعداد شاخه جانبی شده است. در همین راستا، طوسی کهال و همکاران (Tosi Kehal et al., 2011) با بررسی تأثیر محلول‌پاشی برگی بر عملکرد گیاه کلزا بیان داشتند که محلول‌پاشی در مرحله ساقه رفتن قبل از گلدهی بیشترین شاخه جانبی را در گیاه ایجاد کرده است.

شاخص برداشت خاکشیر شیرین تحت تأثیر اثرات متقابل تراکم بوته و زمان محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین شاخص برداشت با ۳۳ درصد در تراکم ۲۰ بوته و محلول‌پاشی در ۱۵ فروردین ماه و کمترین شاخص برداشت با ۱۸ درصد در تراکم ۱۰ بوته با محلول‌پاشی در ۱۵ فروردین ماه به دست آمد (جدول ۳). به طورکلی، تراکم ۱۰ بوته در مترمربع در تمامی تاریخ‌های محلول‌پاشی دارای شاخص برداشت کمتری نسبت به تراکم‌های ۲۰ و ۴۰ بوته در مترمربع داشت کمتر بودن سایه‌اندازی بوته‌های مجاور و کاهش تنفس و در نتیجه انتقال فعال فتوسنتزی به دانه علت برتری شاخص برداشت در تراکم‌های متوسط می‌باشد. همچنین بنظر می‌رسد که در

فاصله ردیف بیشتر، به دلیل ایجاد اختلال در نسبت‌های رشد رویشی به زایشی قسمت عمده‌ای از کربوهیدرات‌های تولیدی صرف تولید اجزای رویشی می‌گردد؛ در حالی‌که در فاصله ردیف نزدیک‌تر به علت رقابت بیشتر بین بوته‌ها، رشد رویشی محدود شده که موجب می‌شود کربوهیدرات بیشتری به سمت مخازن زایشی هدایت شود. بر این اساس، به نظر می‌رسد که در تراکم‌های مناسب، سهم دانه از مواد فتوسنتزی بالاتر بوده است.

قاسمی و شریفی عاشور آبادی (Ghasemi & Sharifi Ashoorabadi, 2014) با بررسی تأثیر تراکم و کشت مخلوط گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) و منداب (*Eruca sativa* L.) بیان داشتند که در تراکم بالاتر، به دلیل افزایش تخصیص مواد فتوسنتزی به مخازن زایشی، شاخص برداشت بالاتری حاصل گردید. پژوهشی دیگر روی بررسی اثر تنش خشکی و تراکم بوته بر ویژگی‌های کمی وکیفی ارقام کلزا نشان داد که افزایش تراکم سبب افزایش عملکرد و کاهش شاخص برداشت به دلیل کاهش نفوذ تشعشع در جوامع گیاهی می‌شود (Arasteh & Farnia, 2013; Donald & Hamblin, 1976). نتایج این آزمایش نشان داد که اثر متقابل تراکم بوته و محلول پاشی برگی تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه نداشتند و این صفت صرفاً تحت اثر ساده زمان محلول‌پاشی قرار گرفت (جدول ۲).

حداکثر وزن هزار دانه در گیاه خاکشیر شیرین در محلول‌پاشی ۱۵ فروردین ماه (۰/۶۴ گرم) به دست آمد که محلول‌پاشی در تاریخ ۱۵ اسفند ماه و۳۰ فروردین ماه به ترتیب با ۶۸ و ۱۴۶ درصد کاهش همراه بود (شکل ۱).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر ساده محلول‌پاشی برگی در مراحل مختلف رشدی بر وزن هزار دانه خاکشیر شیرین

Fig. 1- Mean comparisons for the effects of foliar spraying at different growth stages on 1000–seed weight of flixweed

* میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means with same letter(s) have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

به طور کلی، وزن هزار دانه از اجزایی است که بیشتر تحت تاثیر عوامل ژنتیکی بوده و کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی و زراعی قرار می‌گیرد. اثر کود شیمیایی NPK و کود آلی بر عملکرد زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) نشان داد که کاربرد کود NPK در فروردین ماه عملکرد وزن هزار دانه را به میزان ۵۶ درصد افزایش داد (Karimi Afshar et al., 2016). همچنین در این راستا طوسی و اصفهانی (Tosi Kehal & Esfahani, 2011) با بررسی اثر غلظت و زمان محلول‌پاشی کود نیتروژن مکمل بر عملکرد دانه و کارایی مصرف نیتروژن در کلزا به صورت کشت دوم در شالیزار گزارش نمودند که محلول‌پاشی کود نیتروژن مکمل در مرحله ساقه رفتن و گلدهی کلزا باعث تامین نیاز کودی وکمک به افزایش محصول و افزایش وزن هزار دانه شد. چنین به نظر می‌رسد افزایش فراهمی عناصر غذایی به خصوص در مرحله پر شدن دانه باعث بهبود میزان مواد ذخیره‌ای در دانه و افزایش وزن دانه شده است.

جدول ٤- ضرایب همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی خاکشیر شیرین

Table 4- Correlation coefficients between yield and yield components of flixweed as a medicinal plant

	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد بیولوژیک Biological yield	وزن هزار دانه 1000–seed weight	عملکرد بذر Seed yield	وزن خشک اندام‌های هوایی Dry weight of shoot	وزن تر اندام‌های هوایی Fresh weight of shoot	تعداد شاخه جانبی در بوته Lateral branches per plant	ارتفاع بوته Plant height
ارتفاع بوته Plant height	-0.20 ns	0.16 ns	-0.01 ns	0.05 ns	0.19 ns	0.24 ns	0.05 ns	1.00
تعداد شاخه جانبی در بوته Lateral branches per plant	-0.44 ns	-0.36 ns	0.19 ns	-0.46 ns	-0.30 ns	-0.20 ns	1.00	
وزن تر اندام‌های هوایی Fresh weight of shoot	-0.36 ns	0.96 **	0.10 ns	0.91 **	0.93 **	1.00		
وزن خشک اندام‌های هوایی Dry weight of shoot	-0.37 ns	0.97 **	0.08 ns	0.90 **	1.00			
عملکرد بذر Seed yield	-0.08 ns	0.96 **	0.09 ns	1.00				
وزن هزار دانه 1000–seed weight	-0.40 ns	0.14 ns	1.00					
عملکرد بیولوژیک Biological yield	-0.32 ns	1.00						
شاخص برداشت Harvest index	1.00							

ns و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

Ns and **: are non-significant and significant at 1 probability level, respectively.

بر این اساس، به منظور دستیابی به عملکرد بالا در گیاهانی که بذر آنها هدف تولید می‌باشد، پیشنهاد می‌شود بهره‌گیری از راهکارهای مدیریت زراعی بر مبنای حاصلخیزی خاک را به طور ویژه‌ای مدنظر قرار داد.

ارتفاع گیاه خاکشیر شیرین تحت تأثیر هیچ یک از تیمارهای محلول‌پاشی برگی و تراکم بوته قرار نگرفت (جدول ۲)، یکی از عوامل موثر در ارتفاع بوته در گیاهان رقابت بر سر نور می‌باشد. با توجه به انتخاب تراکم‌های مختلف و محلول‌پاشی و اثر متقابل این دو تیمار و عدم تأثیر این دو عامل بر ارتفاع بوته، این احتمال وجود دارد که در مرحله رشد رویشی بوته‌های روی ردیف بر سر جذب مواد غذایی وآب با یکدیگر رقابت داشته‌اند و لذا با افزایش شاخه‌دهی میزان نور مورد نیاز خود را تامین می‌کنند، لذا همین عامل منجر به عدم اختلاف معنی‌دار ارتفاع بوته در محلول‌پاشی‌های مختلف گردیده است (Garder et al., 2010).

نتایج همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد خاکشیر شیرین بر اساس ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که عملکرد دانه دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و همبستگی منفی با تعداد شاخه جانبی در بوته بود. همچنین عملکرد بذر بیشترین همبستگی مثبت ($r=۰/۹۰^{**}$) و منفی ($r=-۰/۴۶^{ns}$) را به ترتیب با وزن خشک اندام‌های هوایی و تعداد شاخه جانبی در بوته داشت. بالاترین ضریب همبستگی مربوط به عملکرد بیولوژیک با وزن خشک اندام‌های هوایی ($r=۰/۹۷^{**}$) بود. سایر صفات از قبیل وزن هزار دانه، تعداد شاخه‌های جانبی و ارتفاع بوته تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بذر در خاکشیر شیرین نداشت (جدول ۴).

بنظر می‌رسد چنانچه در پایان مراحل رشد رویشی، گیاه به اندازه کافی بزرگ نشده باشد، میزان فتوسنتز و تولید اندام‌های زایشی تأثیرگذار بر عملکرد کاهش می‌یابد. همبستگی بالای بین عملکرد بذر با عملکرد بیولوژیک ($r=۰/۹۶^{**}$) نیز این موضوع را تایید می‌کند. لذا با توجه به این همبستگی بالا، تفاوت در تولید ماده خشک را نیز می‌توان عامل ایجاد اختلاف در عملکرد بذر دانست که این امر متأثر از تفاوت در میزان جذب تشعشع فعال فتوسنتزی و نیز کارایی استفاده از نور جذب شده توسط گیاه می‌باشد. بر این اساس، به نظر می‌رسد کلیه راهکارهای مدیریتی که به نوعی باعث بهبود رشد اندام‌های هوایی شود افزایش عملکرد دانه را در گیاه خاکشیر شیرین موجب می‌گردد. لذا پیشنهاد می‌شود با بهبود اجزای عملکرد، عملکرد بذر خاکشیر را بهبود داد. با توجه به اینکه بذر حاصل فعالیت فتوسنتزی اندام‌های رویشی همچون شاخه و برگ در طول فصل رشد می‌باشد، همبستگی بالا و مثبت بین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک دور از انتظار نمی‌باشد و می‌توان چنین نتیجه گرفت که برای دستیابی به عملکرد بالا به گیاهانی با رشد رویشی بالا نیاز است (Karimi Afshar et al., 2016)، البته نقش و تاثیر مدیریت تغذیه نیز نباید از نظر دور بماند.

نتیجه‌گیری

لزوم برنامه‌ریزی دقیق برای استفاده بهینه از منابع موجود برای دستیابی به تولید پایدار در تولید گیاهان دارویی در بوم‌نظام‌های زراعی امری ضروری است. گیاه خاکشیر، گیاهی مقاوم و سازگار به شرایط مختلف آب و هوایی می‌باشد که دوره رشدآن منطبق با بارندگی‌های زمستانه و بهاره می‌باشد و میزان مقاومت به شرایط نامساعد طبیعی، بیشتر از بسیاری از گیاهان دارویی ارزشمند است. با توجه به این مطالعه تراکم ۴۰ بوته در متر مربع و محلول‌پاشی برگی کود کامل با غلظت پنج درصد در زمان ۱۵ تا ۳۰ فروردین ماه منجر به افزایش عملکرد این محصول در منطقه جنوب و شرق خراسان می‌گردد. رویکرد جهانی در تولید گیاهان زراعی و دارویی به سوی استفاده از نظام‌های کشاورزی پایدار و به کارگیری روش‌های مدیریتی همچون کاربرد محلول‌پاشی برای ارتقای عملکرد کمی و کیفی گیاهان است که این امر بهبود کارایی مصرف نهاده‌ها و کاهش هزینه‌های تولید همراه با بهره‌وری پایدار از منابع آبی را به دنبال دارد. لذا با توجه به شرایط آب و هوایی و کمبود آب در منطقه خراسان جنوبی، توسعه کشت این گیاه می‌تواند مزایای اقتصادی بالایی برای بهبود وضعیت اقتصادی و معیشت کشاورزان منطقه به دنبال داشته باشد. البته احتمال دارد که مصرف سایر تیمارهای کودی و تراکم‌های بیشتر نیز موجب بهبود پتانسیل این گیاه دارویی گردد که این امر نیازمند مطالعات تکمیلی می‌باشد.

منابع

Adedrian, J., Taiwo, L.B., Akande, M.O., Sobulo, R.A., and Idowu, O.J. 2004. Application of organic and inorganic fertilizer for sustainable maize and cowpea yields in Nigeria. Journal of Plant Nutrition 27: 1163-1181.

Adriana, M., Chamorro, L., Tamagno, N., Bezus, R., and Santiago, J. 2002. Nitrogen accumulation partition and nitrogen use efficiency in canola under different nitrogen availabilities. Soil Science Plant Analysis 33: 493-504.

Arasteh, E., and Farnia, A. 2013. Investigation the effect of drought tension and plant density on quality and quantity characteristics of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars in Lorestan climate conditions. Crop Physiology 5(19): 99-111. (In Persian with English Summary)

Baskin, P., Milberg, L., Andersson, J., and Baskin, M. 2004. Germination ecology of seeds of the annual weeds *Capsella bursa-pastoris* and *Descurainia sophia* originating from high northern latitudes. Weed Research 44(1): 60-68.

Danesh-Shahraki, A., Kashani, A., Mesgarbashi, M., Nabipour, M., and Koohi-Dehkordi, M. 2008. The effect of plant densities and time of nitrogen application on some agronomic characteristic of rapeseed. Pajouhesh and Sazandegi 79: 10-17. (In Persian with English Summary)

Darzi, M., and Akhani, A. 2016. Effects of biofertilizer and plant density on yield and essential oil of *Coriandrum sativum* L. Journal of Medicinal and Aromatic Plants 31(6): 1086-1095. (In Persian with English Summary)

Darzi, M., and Nadeali, A. 2015. Study of the Effect of nitroxin nitrogen fertilizer and plant density on yield, yield components and essential oil of *Anisum pimpinella* L. in Firoozkooh region. Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants 3(1): 63-72. (In Persian with English Summary)

Donald, C.M., and Hamblin, J. 1976. The biological yield and harvest and cereal as aronomic and plant breeding criteria. Advances in Agronomy 28: 361-405.

Efeoğlu, B., Ekmekçi, Y., and Çiçek, N. 2009. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. South African Journal of Botany 75: 34–42.

Eilkaee, M.N., and Emam, Y. 2003. Effect of plant density on yield and yield components in two winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cultivars. Iranian Journal of Agricultural Sciences 3(34): 509-515. (In Persian with English Summary)

Gardner, F.P., Pearce, B., and Mitchell, R. 2010. Physiology of Crop Plants. Scientific Publishers. Crops 327 pp.

Ghasemi, S., Sharifi Ashoorabadi, E. 2014. Effects of density and intercropping of safflower (*Carthamus tinctorious* L.) and rocket sativa (*Eruca sativa* L.) on yield and land equivalent ratio. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 30(2): 342-352. (In Persian with English Summary)

Ghobadi, M., Jahanbin, S., Motalebi Fard, R., and Parvizi, K. 2011. The effect of biological phosphate fertilizers to yield and yield components of potato. Sustainable Agriculture and Production Science 21(2): 117-130. (In Persian with English Summary)

Heidari, F., Zehtab Salmasi, S., Javanshir, A., Aliari, H., and Dadpoor, M.R. 2008. The effects of application of microelements and plant density on yield and essential oil of peppermint (*Mentha piperita* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 24: 1-9. (In Persian with English Summary)

Hosseinpour, M., Habibi, H., and Fotokian, M. 2012. Effect of chemical and biological nitrogen on quality and quantity of anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 28(3): 551-566. (In Persian with English Summary)

Huang, M., Liang, T., Ou-Yang, Z., Wang, L., Zhang, C., and Zhou, C. 2011. Leaching losses of nitrate nitrogen and dissolved organic nitrogen from a yearly two crops system, wheat-maize, under monsoon situations. Nutrient Cycling in Agroecosystems 91: 77-89.

ISTA. 2010. International rules for seed testing. Glattbrugg, Switzerland. 290 p.

Jones, C., Olson- Rutz, K., and Pariera Dinkins, C. 2011. Nutrient uptake timing by crop: to assist with fertilizing decisions. Report of Project in Department of Land Resources and Environmental Sciences p. 1-8.

Kandil, A.A., El-Mahands, S.I., and Mahrous, N.M. 1996. Genotypic and phenotypic variety heritability and inter relationships of some characters in oil seed rape. Canadian Journal of Plant Science 65: 275-284.

Karimi Afshar, A., Baghizadeh, A., and Mohammadi-Nejad, G. 2016. Evaluation of relationships between morphological traits and grain yield in cumin (*Cuminum cyminum* L.) under normal and drought conditions. Journal of Crop Breeding 8(18): 159-165. (In Persian with English Summary)

Lebaschy, M.H., and Sharifi, E. 2004. Application of physiological growth indices for suitable harvesting of *Hypericum perforatum*. Pajouhesh v Sazandegi (65): 65-75. (In Persian with English Summary)

Mae, T., Inaba, A., Kaneta, Y., Masaki, S., Sasaki, M., Aizawa, M., Okawa, S., Hasegawa, S., and Makino, A. 2008. A large -grain rice cultivar, Akita 63, exhibits high yield with high physiological nitrogen use efficiency. Field Crops Research 34(4): 123-139.

Malakouti, M.J., Keshavarz, P., and Karimian, N. 2008. A comprehensive approach towards identification of nutrients deficiencies and optimal fertilization for sustainable agriculture. Tarbiat Modarres University Press, Tehran, Iran. 755 p. (In Persian)

Marroti, M., Piccaglia, R., and Giovanelli, E. 1996. Differences in essential composition of basil (*Ocimum basilicum* L.) Italian cultivars related to morphological characteristics. Journal of Agriculture and Food Chemistry 44: 3926-3929.

Mostafavi, M.J. 2014. The effect of chemical and biological fertilizers on quantitative and qualitative yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) in Mashhad climate condition. MS.c. Thesis. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

Najafpour Navaei, M., Golipour, M., and Parsa, E. 2008. The effects of densities and planting dates on seed yield of *Agrimonia eupatoria* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 24(2): 198-206. (In Persian with English Summary)

Norouzi, A., and Shahbazi, I. 2011. The role of extension education in development of organic agriculture in Iranian villages. Community Development (Rural and Urban Communities) 2(2): 1-22.

Ozgüven, M., Muzaffer, K., Şener, B., Orhan, I., Şeeroğlu, N., Kartal, M., and Kaya, Z. 2008. Effects of varying nitrogen doses on yield, yield Components and artemisinin content of *Artemissia annua* L. Industrial Crops and Products 27: 60-64.

Rassam, G.A., Naddaf, M., and Sephidkon, F. 2007. Effects of sowing time and plant density on yield and yield components of seed in Anise (*Pimpinella anisum)*. Pajouhesh v Sazandegi 75: 127-132. (In Persian with English Summary)

Rezvani Moghaddam, P., Mohammadabadi, A., and Moradi, R. 2011. The effect of application of chemical and organic fertilizers on yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.) in different plant densities. Journal of Agroecology 2(2): 256-265. (In Persian with English Summary)

Roose, T. 2000. Mathematical model of plant nutrient uptake. PhD. Thesis. University of Oxford, UK.

Tosi Kehal, P., Esfahani, M., Rabiei, M., and Rabiei, B. 2011. Effect of concentration and time of supplementary nitrogen fertilizer application on yield and NUE of rapeseed (*Brassica napus* L.) as a second crop in paddy field. Iranian Journal of Field Crop Science 42(2): 387-396. (In Persian with English Summary)

Yates, D.J., and Steven, M.D. 1987. Reflection and absorption of solar radiation by flowering canopies of oilseed rape (*Brassica napus* L.). The Journal of Agricultural Science 109: 495-502.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 1-15

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۵-۱

Effects of Plant Density and Leaf Spraying o Growth, Yield and Yield Components of Flixweed (*Descurainia sophia* L.) as a Medicinal Plant

A. Mollafilabi[1*], A., and M.R.[2] Gazikinejad,

Submitted: 24-07-2018
Accepted: 29-10-2018

Mollafilabi, A., and Gazikinejad, M.R. 2019. Effects of plant density and leaf spraying o growth, yield and yield components of flixweed (*Descurainia sophia* L.) as a medicinal plant. Journal of Agroecology. 11(1): 1-15.

Introduction

Biodiversity of medicinal and aromatic plants contributes significantly towards human livelihood and development and thus plays a predominant role in the wellbeing of the global population. According to WHO reports, around 80 % of the global population still relies on traditional medicines and natural substances. *Descurainia sophia* L. seed, also known as flixweed, a commonly used herbal medicine in Iranian folk medicine is one of those medicinal herbs with prevalent use. Agronomic practices are required to be standardized for realizing yield potential. Among the different agronomic practices, foliar spray of macronutrients is most important factor in determining the yield. Plant density is another important agronomic factor that manipulates micro- environment and affects growth, development and yield of plants. Within certain limits, increase of plant population density declines the growth and yield per plant but the reverse occurs for yield per unit area. The optimum plant density to attain highest yield may vary with the genotype and agronomic factor. Hence the purpose of this study was to determine the effects of plant density and leaf spraying on growth, yield and yield components of flixweed under Torbat-e Jam climatic conditions.

Materials and Methods

In order to study the effects of plant density and leaf spraying of growth, biological yield, seed yield, yield components and harvest index of flixweed, an experiment was conducted as factorial layout based on a randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Station, Azad University of Torbt-e Jam, Khorasan-e Razavi during growing season of 2016-2017. Treatments included four plant densities (10, 20 and 40 plants.m^{-2}) and leaf straying at three plant stages (such as emergence, before flowering and early seed formation stages) and control (without spraying). Leaf spraying was done using complete fertilizer (5:1000). Studied traits were plant height, number of branches per plant, 1000- seed weight, seed yield, biological yield, dry weight of shoot, fresh weight of shoot and harvest index. The treatments were run as an analysis of variance (ANOVA) to determine if significant differences existed among treatments means. Multiple comparison tests were conducted for significant effects using the Duncan's test.

Results and Discussion

The results showed that the simple effect of plant density was significant ($p\leq0.05$) on number of branches per plant and harvest index of flixweed. The simple effect of foliar spraying was significant ($p\leq0.05$) on number of branches per plant and 1000-seed weight of flixweed. The interaction effect between plant density and foliar spraying had significant effect on number of branches per plant, dry weight of shoot, seed yield, biological yield and harvest index of flixweed. The highest seed yield, biological yield and dry weight of shoot were recorded in 40 plants.m^{-2}+ foliar spraying at early seed formation with 99, 495 and 396 g.m^{-2}, respectively. The minimum seed yield was observed in 10 plants.m^{-2}+ without spraying with 35 g.m^{-2}. The lowest biological yield and dry weight were obtained in 20 plants.m^{-2}+ foliar spraying at early seed formation with 168 and 126 g.m^{-2}, respectively. The results for correlation coefficients between yield and yield components revealed that the highest coefficient was calculated for biological yield and dry weight of shoot (r=0.97**).

Conclusion

Agronomic management strategies had significantly effect on growth, yield, and yield components of flixweed. Generally, plant density and nutrient management are two effective techniques for agronomic

۱- Assistant Professor, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran
2- MSc in Horticulture
(*- Corresponding Author Email: a.filabi@rifst.ac.ir)
DOI: 10.22067/jag.v11i1.75552

management of medicinal plants such as flixweed that may decline the necessity for chemical and intensive approaches to the plant. The findings of the present study indicate that foliar spraying would be an advisable treatment that produces higher seed yield. In total, according to the results, the plant density of 40 plants.m^{-2}+ foliar spraying at early seed formation is recommended to realize maximum seed yield flixweed cultivation in Torbat-e Jam region, Iran.

Keywords: Complete fertilizer, Early seed formation, Dry weight of shoot, Seed yield

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۳۱-۱۷

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 17-31

اثر محلول‌پاشی با غلظت‌های متفاوت کودهای زیستی Aa40 و Humus-S بر عملکرد گل و بنه زعفران (*Crocus sativus* L.) در مزرعه چهار ساله

رضا صدرآبادی حقیقی[۱]، حبیب شیخ جنبدواز[۲] و عبداله ملافیلابی[۳*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۰۲

صدرآبادی حقیقی، ر.، شیخ جنبدواز، ح.، و ملافیلابی، ع. ۱۳۹۸. اثر محلول‌پاشی با غلظت‌های متفاوت کودهای زیستی Aa40 و Humus-S بر عملکرد گل و بنه زعفران (*Crocus sativus* L.) در مزرعه چهار ساله. بوم شناسی کشاورزی، ۱۱(۱): ۳۱-۱۷.

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کاربرد دو نوع کود زیستی Aa40 و Humus-S و غلظت‌های آن‌ها بر عملکرد و اجزای عملکرد گل و بنه زعفران (*Crocus sativus* L.)، آزمایشی به صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در منطقه کارده طی سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۶ انجام شد. عامل اول شامل دو نوع کود زیستی Humus-S و کود Aa40 و عامل دوم شامل غلظت‌های صفر، ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ در هزار این دو نوع کود به صورت محلول‌پاشی در دو مرحله بود. صفات مورد مطالعه شامل وزن تر گل، وزن تر و خشک کلاله، وزن تر و خشک گل بدون کلاله، وزن تر و خشک برگ، وزن بنه‌های دختری، تعداد گل، تعداد بنه‌های دختری در گروه‌های وزنی ۵-۰/۱، ۰/۱-۵/۱، ۱۵-۱۰/۱ و بیش از ۱۵ گرم بودند. نتایج نشان داد که غلظت کود تأثیر معنی‌داری بر اکثر مولفه‌های عملکردی بنه و گل زعفران داشت. همچنین نوع کود زیستی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد زعفران نداشت. اثر متقابل کود مصرفی و غلظت تنها بر وزن تر برگ تأثیر معنی‌داری داشت. بیشترین وزن خشک کلاله و وزن خشک بنه‌های دختری برای غلظت ۲/۵ در هزار با ۱۲۳۹/۹۸ و ۴۹۵۵ گرم بر متر مربع بدست آمد و کمترین مقادیر به شاهد به ترتیب با ۹۳۰/۵۶ و ۴۰۸۵ گرم بر متر مربع اختصاص داشت. بالاترین و پایین‌ترین تعداد بنه‌های دختری به ترتیب برای غلظت ۲ در هزار و شاهد با ۴۱۵ و ۳۸۰/۳۳ بنه در متر مربع مشاهده شد. با توجه به یافته‌های تحقیق می‌توان نتیجه گرفت با افزایش غلظت کودهای زیستی تا حد بهینه می‌توان عملکرد زعفران را بهبود داد. درضمن کاربرد کودهای زیستی جایگزین مناسبی بجای کودهای شیمیایی از لحاظ بهبود عملکرد و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی‌های زیست محیطی، مدیریت تغذیه، هوموس

مقدمه

زعفران به عنوان گران‌بهاترین ادویه داروئی جهان جایگاه ویژه‌ای در بین محصولات صنعتی و صادراتی ایران دارا بوده و نقش عمده‌ای در اقتصاد کشاورزی استان‌های خراسان جنوبی و رضوی دارد (Koocheki, 2004). تولید این گیاه بر اساس نیروی کار خانوادگی و در مزارع کوچک و با اتکاء به نهاده‌های صرفاً بومی و محلی و فناوری‌های کم‌نهاده است (Koocheki, 2013). در سال ۱۳۹۶ سطح زیر کشت زعفران در ایران بالغ بر ۱۲۰ هزار هکتار گزارش شده است که حدود ۹۶ درصد این سطح زیرکشت مربوط به دو استان خراسان رضوی و خراسان جنوبی است (Agricultural Jihad Organization of Khorasan-e Razavi, 2017). بدیهی است که با افزایش تولید و بالا بردن میزان بهره‌وری و همچنین توسعه صادرات زعفران، می‌توان درآمدهای ارزی قابل اطمینانی را برای

۱- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران.
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران.
۳- استادیار گروه زیست فناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: (Email: a.filabi@rifst.ac.ir
DOI: 10.22067/jag.v11i1.75839

کشور تأمین کرد (Sadeghi, 2012).

سطح زیر کشت زعفران در ۴۰ سال گذشته حدود ۲۷ برابر و تولید این محصول تنها ۵/۱۲ برابر افزایش یافته است. بدین‌ترتیب، تولید زعفران در ایران صرفاً متکی به گسترش سطح زیر کشت است. به هر حال، روند عملکرد زعفران نزولی بوده است، به طوری‌که عملکرد زعفران طی سال‌های ۱۳۵۱ تا ۱۳۸۶ به نصف کاهش یافته است (Sadeghi, 2012). در حالی‌که عملکرد محصولات زراعی طی این چند دهه به طور چشمگیری افزایش یافته است (Koocheki, 2013). عدم افزایش عملکرد زعفران در کشور را می‌توان به موارد زیر نسبت داد: ماهیت متفاوت تولید در زعفران در مقایسه با سایر محصولات، به طوری‌که این محصول عملاً از یک گیاه مینیاتوری بدست می‌آید. زعفران همانند صنایع دستی متکی به کار دستی بوده و به علت اشتغالزایی و وجود کارگر ارزان در دهه‌های گذشته ضرورت نیاز به توسعه فناوری برای آن احساس نشده است. چون این محصول عمدتاً در ایران تولید می‌شود و سطح زیر کشت و تولید آن در کشورهای دیگر اندک است، فناوری‌ها و تکنولوژی‌های وارداتی برای این محصول توسعه نیافته است.

بررسی‌ها نشان داده است که زعفران اصولاً مانند سایر محصولات زراعی نهاده‌پذیر نمی‌باشد؛ به طوری‌که این محصول حاشیه‌ای عمدتاً متکی به نهاده‌های بیولوژیکی است. علاوه بر این، کشت ممتد زعفران در طی چند دهه گذشته و عدم بکارگیری کودهای آلی به مقدار کافی (به‌خصوص کودهای دامی)، زمین‌های زعفران‌کاری را به اصطلاح «خسته کرده است». به هر حال دلایل عدم رشد عملکرد زعفران به هر عاملی نسبت داده شود، به نظر می‌رسد به طور کلی در طی این سال‌ها این نوع فناوری‌ها به اندازه کافی برای این محصول توسعه نیافته و مدیریت مناسبی برای این گیاه اعمال نشده است (Koocheki, 2009). برخلاف نیاز کودی کم، بررسی‌ها نشان داده است که بخش زیادی از تغییرات عملکرد گل به متغیرهای مربوط به خاک از جمله میزان ماده آلی، فسفر قابل استفاده، نیتروژن معدنی و پتاسیم تبادلی بستگی دارد. مولینا و همکاران (Molina et al., 2005) نتیجه گرفتند رشد زودتر برگ‌ها تحت تأثیر تغذیه بهتر امکان استفاده بهتر از شرایط محیطی و بهبود شرایط رشدی برای بنه و افزایش تولید مواد فتوسنتزی را به دنبال دارد که در نهایت موجب ایجاد بنه‌های بزرگ‌تر در پایان فصل رشد می‌شود. پاری و همکاران (Parray et al., 2013) نتیجه گرفتند که کاربرد کودهای زیستی از طریق بهبود رشد و درشت کردن بنه‌های زعفران سبب افزایش عملکرد شد.

عملکرد بالا همراه با بنه‌های درشت تحت تأثیر عناصر غذایی می‌باشد که یکی از بهترین و موثرترین راه استفاده از این عناصر ریز مغذی محلول‌پاشی می‌باشد. از طرفی، با مدیریت صحیح کاربرد عناصر غذایی می‌توان ضمن کاهش مصرف کودهای شیمیایی به صورت خاکی و حفظ محیط زیست، هزینه تولید را نیز به حداقل کاهش داد. تغذیه برگی عناصر غذایی یکی از روش‌های کمکی بهبود رشد محسوب می‌شود (Hagin & Tucker, 1982; Khorasani et al., 2015). نتایج اثر محلول‌پاشی عناصر غذایی بر تولید و عملکرد زعفران متفاوت و گاه متناقض است. به طور مثال، حسینی و همکاران (Hosseini et al., 2004) در بررسی اثر تغذیه برگی بر افزایش عملکرد زعفران نتیجه گرفتند که مصرف یک بار کود مایع مخلوط با غلظت هفت در هزار در اسفند ماه موجب افزایش ۳۳ درصدی عملکرد شد و تولید محصول مزارع سنتی را دو کیلوگرم در هکتار افزایش داد. اکبریان و همکاران (Akbarian et al., 2012) نیز با دو نوبت برگ-پاشی عناصر پتاسیم، روی و آهن، طول برگ و عملکرد گل نسبت به شاهد افزایش و با افزایش مقدار محلول به سه لیتر در هکتار عملکرد کلاله و ویژگی‌های کیفی زعفران بهبود یافت. بررسی‌ها نشان داده است که تأمین خاکی عناصر غذایی در زعفران از اواخر بهمن ماه همزمان با تسریع شکل‌گیری بنه‌های دختری، به علت تحلیل نسبی ریشه‌ها محدود می‌شود. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2011) گزارش نمودند که محلول‌پاشی با کود شیمیایی دلفارد باعث افزایش عملکرد و وزن بنه‌های دختری زعفران شد. رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2013) نیز گزارش کردند که محلول پاشی با کود دلفارد باعث افزایش تعداد و عملکرد بنه در واحد سطح، تعداد گل در واحد سطح، عملکرد تر و خشک گل، عملکرد کلاله و خامه گردید. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014) طی مطالعه‌ای دیگر اظهار داشتند که محلول‌پاشی با عناصر میکرو آهن و روی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد بنه‌های دختری زعفران شد. بر این اساس، به نظر می‌رسد محلول‌پاشی برگساره‌ای یا تغذیه برگی یکی از راهکارهای مدیریتی برطرف نمودن نیاز تغذیه‌ای این گیاه می‌باشد (Khorasani et al., 2015). در حالی‌که سایر محققان (Khorasani et al., 2013; Hassanzadeh Aval & Mahlouji Rad, 2013) نتیجه گرفتند که محلول‌پاشی

نمی‌تواند سبب بروز تأثیرات مثبتی در خصوصیات رشدی زعفران شود. نتایج تحقیقات اسدی و همکاران (Asadi et al., 2014) نشان داد که محلول‌پاشی با کود کامل مخلوط نقشی در افزایش معنی دار عملکرد گل و بنه‌های دختری زعفران نداشت.برخی دیگر از مطالعات مؤید ان است که زعفران گیاهی قانع و کم‌توقع بوده و برای دستیابی به افزایش تولید گل و بنه به عناصر غذایی زیادی نیاز ندارد (Behnia et al., 1999). علاوه بر این، در روش محلول‌پاشی برگساره‌ای همواره این سوال مطرح است که برای رسیدن به عملکرد مناسب، چه کودهایی، با چه غلظت، چند نوبت و طی چه زمانی محلول‌پاشی گردد (Asadi et al., 2014). برخی مطالعات نشان داده است که از اواسط بهمن‌ماه به بعد به مرور ارتباط بین ریشه‌های بنه مادری و خاک به دلیل شروع تولید بنه‌های دختری ضعیف می‌شود که در این زمان می‌توان از محلول‌پاشی برگساره‌ای استفاده گردد (Hosseini et al., 2004; Khorasani et al., 2015).

بنابراین، از آنجا که این گیاه از نظر ژنتیکی تریپلوئید بوده و از طریق بنه تکثیر می‌شود (Kafi et al., 2002)، نیاز به تحقیقات گسترده در زمینه تولید بنه‌های درشت، ضرورت دارد تغذیه گیاه زعفران در سال اول کشت به دقت مورد توجه قرار گیرد تا با تولید بنه‌های دختری درشت در هر سال، عملکرد اقتصادی محصول زعفران در سال‌های بعد افزایش یابد. بر این اساس، با توجه به اهمیت موارد ذکر شده در فوق، در این تحقیق اثر محلول‌پاشی غلظت‌های متفاوت کودهای Aa_{40} و Humus-S بر عملکرد و اجزای عملکرد زعفران مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه چهار ساله زعفران واقع در ۱۳ کیلومتری مشهد در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ انجام شد. عامل اول شامل دو کود Humus-S و کود Aa_{40} و عامل دوم غلظت مصرفی این دو نوع کود در پنج سطح شاهد، ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ در هزار به‌صورت محلول پاشی در دو مرحله بود.

کود Humus-S پودری متراکم متشکل از هیومیک و فولویک اسید است. این مواد به عنوان محرک رشد گیاهان و اصلاح‌کننده‌های خاک مطرح هستند. بنا بر توصیه شرکت سازنده، مصرف این کود همچنین باعث بهبود ماده آلی خاک، ظرفیت نگهداری آب در خاک، بهبود تهویه و فعال شدن میکروارگانیسم‌های خاکزی در منطقه توسعه سیستم ریشه‌ای می‌شود که در نتیجه بهبود جذب عناصر غذایی و رشد را به دنبال دارد. کود Aa_{40} مایعی غلظ حاوی آمینواسیدهای گیاهی است که برای بهبود شاخص‌های رشدی گیاهان مصرف می‌شود. برای شاهد اقدام به پاشش آب بدون هیچ گونه محلول غذایی گردید. برای کاشت از بنه‌های هشت گرمی استفاده شد. تراکم بنه‌های دختری زعفران در سال اول ۲۰۰ بنه در متر مربع بود. اولین محلول پاشی در تاریخ ۱۳۹۵/۱۰/۲۸ و دومین نوبت به فاصله ۵۰ روز بعد در تاریخ ۱۳۹۵/۱۲/۱۷ انجام شد. اولین نمونه‌گیری اواخر اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۶ انجام شد. در این مرحله وزن تر و وزن خشک برگ، تعداد و وزن بنه‌های دختری اندازه‌گیری شد. بنه‌های جمع‌آوری شده به همراه فلس‌های پوششی وزن و بنه‌های دختری در چهار گروه وزنی شامل ۵-۰/۱، ۱۰-۵/۱، ۱۵-۱۰/۱ و ۱۵< گرم دسته‌بندی و شمارش شدند. تعداد بنه‌های دختری تمامی بنه‌های جمع‌آوری‌شده شمارش گردید. دومین نمونه‌گیری از مزرعه برای اندازه‌گیری صفات تعداد گل، وزن گل تازه، وزن کلاله تر، وزن کلاله خشک در اواخر آبان ماه ۱۳۹۶، هم زمان با شروع گلدهی به صورت روزانه در میان به مدت ۴ هفته انجام شد.

تجزیه آماری صفات با استفاده از نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۷ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر نوع و غلظت‌های کودی بر شاخص‌های عملکرد گل و بنه زعفران در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

وزن تر گل: اثر نوع کود بر وزن تر گل زعفران معنی‌دار نبود. همچنین بین سطوح مختلف غلظت کود از لحاظ وزن تر گل اختلاف معنی‌داری ($p\leq ۰/۰۱$) مشاهده شد. اثر متقابل غلظت و تیمارهای کودی بر روی این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۱). همچنین کاربرد کودهای زیستی با غلظت ۲/۵ در هزار و شاهد به ترتیب بیشترین و کمترین وزن تر گل زعفران را به ترتیب با ۱۲۳۹/۹۸ و ۹۳۰/۵۶ گرم بر متر مربع به خود اختصاص داد (شکل ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نوع و غلظت‌های کودی بر وزن گل، وزن کلاله، وزن برگ و وزن بنه‌های دختری زعفران

Table 1- Analysis of variance (mean of squares) for the effects of types and concentrations of fertilizers on flower weight, stigma weight, leaf weight and daughter corm weight of saffron

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares							
		وزن گل تر Fresh weight of flower	وزن کلاله خشک Dry weight of stigma	وزن خشک گل بدون کلاله Dry weight of flower without stigma	وزن تر برگ Fresh weight of leaf	وزن خشک برگ Dry weight of leaf	وزن بنه‌های دختری Weight of daughter corms	وزن کلاله تر Fresh weight of stigma	وزن تر گل بدون کلاله Fresh weight of flower without stigma
بلوک Replication	2	1207.3ns	0.7424ns	17.64ns	34866ns	9646**	202329ns	3.017ns	1015.1ns
نوع کود Fertilizer type (F)	1	86.4ns	0.0436ns	1.26ns	3097ns	3122ns	56420ns	0.215ns	72.5ns
غلظت Concentration ©	4	89508.7**	26.4116**	1306.95**	82035**	3302ns	771143**	223.776**	75217.2**
C ×F	4	425.6ns	0.1811ns	6.21ns	55352**	1342ns	37579ns	1.064ns	357.5ns
خطا Error	18	383.2	7.610	100.71	11399	2721	176519	0.958	322.2

ns و **: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

ns and **: are non-significant and significant at 1% probability level, respectively.

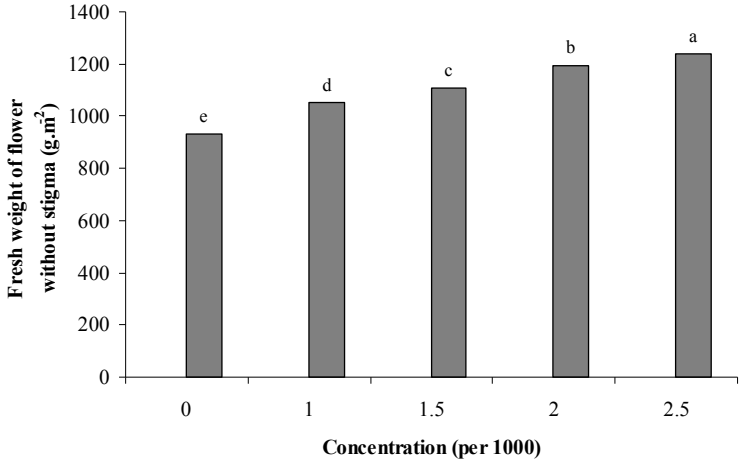
جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نوع و غلظت‌های کودی بر تعداد گل، تعداد بنه‌های دختری (در گروه‌های مختلف وزنی) و طول برگ زعفران

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for the effects of types and concentrations of fertilizers on flower number, daughter corm number (in different weight groups) and leaf length of saffron

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares						
		تعداد گل Flower number	تعداد بنه‌های دختری Number of daughter corms	تعداد بنه‌های دختری با وزن ۵-۰/۱ گرم Number of daughter corms with 0.1-5 g	تعداد بنه‌های دختری با وزن ۱۰-۵/۱ گرم Number of daughter corms with 5.1-10 g	تعداد بنه‌های دختری با وزن ۱۵-۱۰/۱ گرم Number of daughter corms with 10.1-15 g	تعداد بنه‌های دختری با وزن >۱۵ گرم Number of daughter corms with >15 g	طول برگ Leaf length
بلوک Replication	2	5241ns	1680.6ns	749.971**	1557.7ns	74.10ns	487.203**	7.6322ns
نوع کود Fertilizer type (F)	1	375ns	464.1ns	1.505ns	896.5ns	67.50ns	0.004ns	0.0295ns
غلظت Concentration ©	4	388519**	1358ns	148.691ns	320.5ns	345.70ns	131.06**	68.7378**
C ×F	4	1849ns	363.2ns	68.077ns	25.6ns	79.17ns	21.35ns	7.8740ns
خطا Error	18	1663	760.2	78.515	485.6	607.29	19.867	8.6155

ns و **: به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

ns and **: are non-significant and significant at 1% probability level, respectively.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر غلظت‌های کودی بر وزن تر گل بدون کلاله زعفران

Fig. 1- Mean comparisons for the effect of fertilizer concentrations on fresh weight of flower without stigma of saffron

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

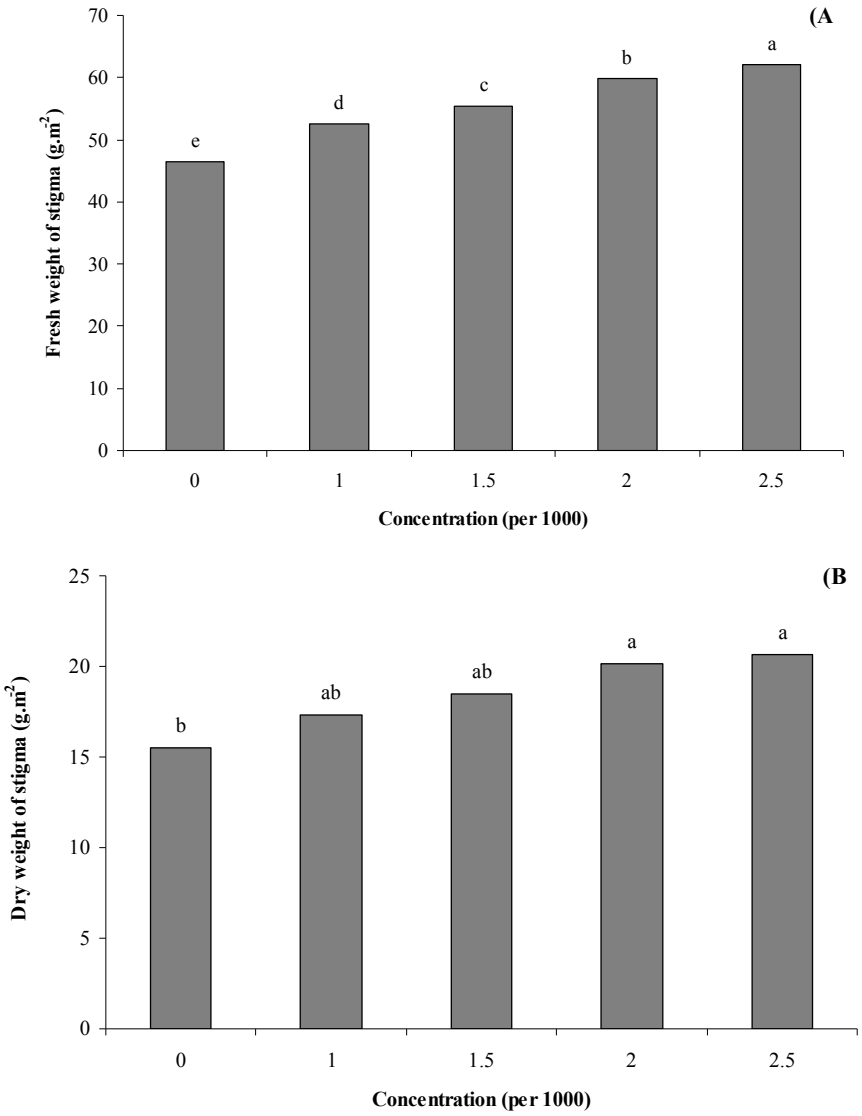
Means with the same letter(s) have not significantly different based on Duncan's test at 5% probability level.

کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2011) در آزمایشی روی ارزیابی اثر کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد زعفران نتیجه گرفتند که کود دلفارد و کود زیستی نیتروکسین تأثیر بالایی در بهبود وزن گل تازه داشت. بنا به گزارش امیدی و همکاران (Omidi et al., 2009) کاربرد میکروارگانیسم‌های کود زیستی نیتروکسین می‌توانند با تولید هورمون‌های رشد به ویژه جیبرلین، باعث افزایش معنی‌دار تعداد برگ، قطر و وزن بنه و نیز عملکرد کلاله و خامه زعفران شوند. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2009) نیز اثرات مثبت کودهای زیستی نیتروکسین و میکوریزا را در بهبود رشد و عملکرد زعفران گزارش کردند. نتایج تحقیقات ذبیحی و همکاران (Zabihi et al., 2011) بر روی تغییرات موقتی عناصر غذایی در برگ گیاه زعفران نشان داد که از ۱۵ اسفند تا ۱۵ فروردین هنگام زرد شدن برگ‌ها غلظت عناصر غذایی در برگ با شیب تندی کاهش می‌یابد و محلول‌پاشی در این زمان در بهبود رشد بنه‌های دختری مؤثر می‌باشد. بر این اساس، بنظر می‌رسد که تأثیر تیمارهایی از این مطالعه که باعث افزایش تعداد گل گردیده‌اند از طریق تأثیر مثبت اعمال تیمارهای کودی بر روی رشد بنه‌های دختری و افزایش آن‌ها در واحد سطح بوده است. همچنین با توجه به اینکه گلدهی زعفران در آبان ماه تا آذر ماه به فاصله یک ماه بسته به موقعیت آب و هوایی منطقه رخ می‌دهد (Kafi et al., 2002)، بنظر می‌رسد در این مطالعه جوانه‌های گل قبل از اعمال تیمارهای تغذیه‌ای تشکیل شده است.

وزن تر و خشک کلاله: اگرچه تأثیر نوع کود بر صفت وزن کلاله تر و خشک زعفران معنی‌دار نبود، اما تأثیر غلظت کود بر این صفات معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود. اثر متقابل غلظت و تیمارهای کودی بر این صفت معنی‌داری نبود (جدول ۱). بیشترین وزن کلاله تر و خشک مربوط به غلظت ۲/۵ در هزار (به ترتیب با ۶۱/۹۹ و ۲۰/۶۴ گرم بر متر مربع) و کمترین آن متعلق به شاهد (به ترتیب با ۴۶/۵۳ و ۱۵/۵۱ گرم بر متر مربع) است (شکل ۲).

بنظر می‌رسد افزایش غلظت محلول‌پاشی با این کودها از طریق تحریک متابولیسم و فرآیندهای متابولیکی باعث بهبود رشد گیاه و افزایش وزن کلاله شده است (Starck, 2005; Thomas et al., 2009). به دلیل افزایش دسترسی نیتروژن در کودهای زیستی برای گیاهان، افزایش وزن کلاله تر در مقایسه با شاهد در مشاهده گردید (Omidi et al., 2009). همچنین بین سطوح مختلف غلظت کودهای زیستی از لحاظ صفت وزن کلاله تر اختلاف معنی‌دار وجود دارد. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2011) با ارزیابی کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد زعفران نتیجه گرفتند اختلاف معنی‌داری بین کود دلفارد نسبت به کود زیستی نیتروکسین از لحاظ وزن کلاله تر مشاهده شد. همچنین کاپور و همکاران (Caballero-Ortega et al., 2004) و گلیک (Glick, 1995) نیز افزایش وزن

اندام‌های هوایی را در حضور باکتری‌های موثر بر رشد گزارش کردند که با نتایج این آزمایش همخوانی دارد. نتایج تحقیقات نشان داده است که کاربرد کودهای زیستی از طریق ترشحات حل‌کننده باکتری‌ها و کاهش اسیدیته می‌تواند عناصر غذایی مختلف را به صورت محلول در اختیار گیاه قرار دهد (Glick, 1995) و با تولید مواد فتوسنتزی بیشتر، در افزایش تولید موثر واقع شود.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر غلظت‌های کودی بر (الف) وزن کلاله تر و (ب) خشک زعفران

Fig. 2- Mean comparisons for the effect of fertilizer concentrations on (A) fresh weight and (B) dry weight of saffron stigma

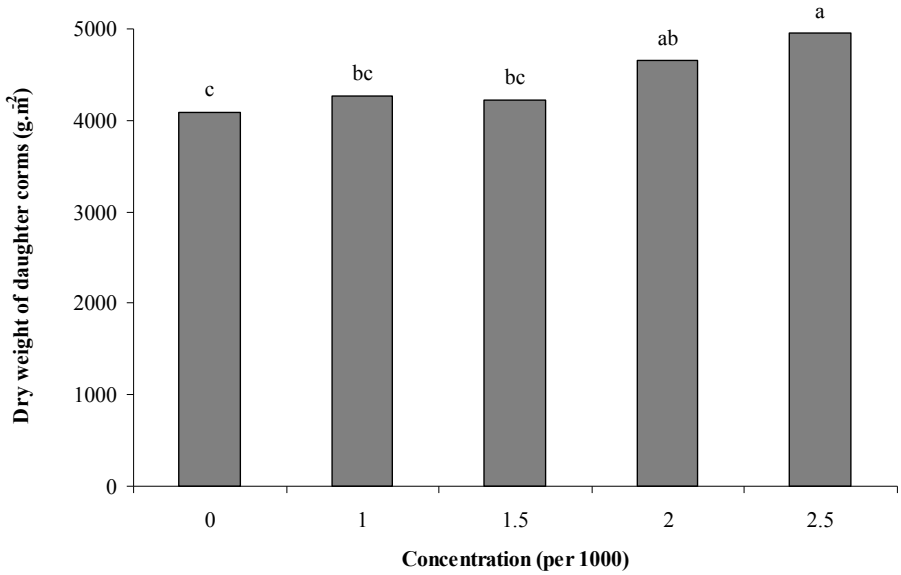
میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with the same letter(s) in each figure, have not significantly different based on Duncan's test at 5% probability level.

خراسانی و همکاران (Khorasani et al., 2013) گزارش کردند که محلول‌پاشی با کود دلفارد باعث افزایش تعداد و عملکرد بنه در واحد سطح، تعداد گل در واحد سطح، عملکرد تر و خشک گل و عملکرد کلاله و خامه گردید. از آنجا که یکی از عوامل مهم در تأثیر گذاری محلول‌پاشی، شکل و مورفولوژی برگ است. به نظر می‌رسد برگ‌های سوزنی شکل با تعداد و طول نسبتاً کم و در نتیجه سطح

برگ محدود (قرارگیری مقادیر کم محلول غذایی در سطح برگ)، زاویه‌دار بودن برگ‌ها و همچنین مومی بودن سطح خارجی برگ‌ها (لیز خوردن محلول از سطح برگ برگ) از جمله عوامل بسیار مهم در تأثیر پایین روش برگپاشی و جذب برگی در زعفران می‌باشد. البته به نظر می‌رسد کارایی روش محلول‌پاشی برگساره‌ای زمانی نسبتاً بالا باشد که گیاه در معرض کمبود قرار گیرد (Khorasani et al., 2015). بر این اساس، به نظر می‌رسد دلیل پایین بودن کارایی غلظت‌های مختلف محلول‌پاشی برگساره‌ای بر وزن تر و خشک کلاله مربوط به همین امر می‌باشد. البته افزایش غلظت کود از طریق جبران نسبی کمبود عناصر غذایی در منطقه ریشه موجب بهبود رشد و در نتیجه افزایش عملکرد کلاله شده است. علاوه بر این، برای اثبات این ادعا بایستی مقدار عناصر غذایی در منطقه ریشه و در گیاه در طول فصل رشد اندازه‌گیری و تعیین شود.

وزن بنه‌های دختری: تأثیر نوع کود بر وزن کل بنه‌های دختری زعفران معنی‌دار نبود، اما بین سطوح مختلف غلظت کودی از لحاظ وزن بنه‌های دختری اختلاف معنی‌داری ($p\leq ۰/۰۱$) مشاهده شد (جدول ۱). افزایش غلظت تیمارهای کودی باعث افزایش وزن کل بنه‌های دختری شد؛ به طوری‌که بیشترین و کمترین وزن بنه‌های دختری به ترتیب برای غلظت ۲/۵ در هزار و شاهد با ۴۹۵۵ و ۴۰۸۵ گرم بر متر مربع اختصاص داشت (شکل ۳). اثر متقابل غلظت مصرفی و تیمارهای کودی بر این صفت عملکرد معنی‌دار نبود (جدول ۱). با توجه به اینکه مریستم‌های تشکیل‌دهنده بنه‌های دختری زعفران بعد از اتمام دوره گلدهی بنه مادری و در فاصله زمانی ۱۵ آبان تا ۱۵ آذر فعال می‌شوند (Kafi et al., 2002)، بنظر می‌رسد در این مطالعه بنه‌های دختری قبل از اعمال تیمارهای مدیریتی تشکیل شده است. دلیل افزایش وزن کل بنه را می‌توان به تأثیر مثبت کودهای زیستی بر فراهمی ترکیبات متعدد برای ریشه نسبت داد که موجب افزایش رشد و وزن بنه شده است (Omidi et al., 2009). نتایج این تحقیق نیز با نتایج کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2011) که تأثیر معنی‌دار وزن خشک بنه در سال اول آزمایش در دو کود زیستی را نشان داد، مطابقت می‌کند. محلول‌پاشی با کودها و افزایش غلظت‌های مختلف کودی موجب بهبود رشد و توسعه اندام-های رویشی شده که در نتیجه بهبود وزن بنه را موجب گردیده است.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر غلظت‌های کودی بر وزن خشک بنه‌های دختری زعفران

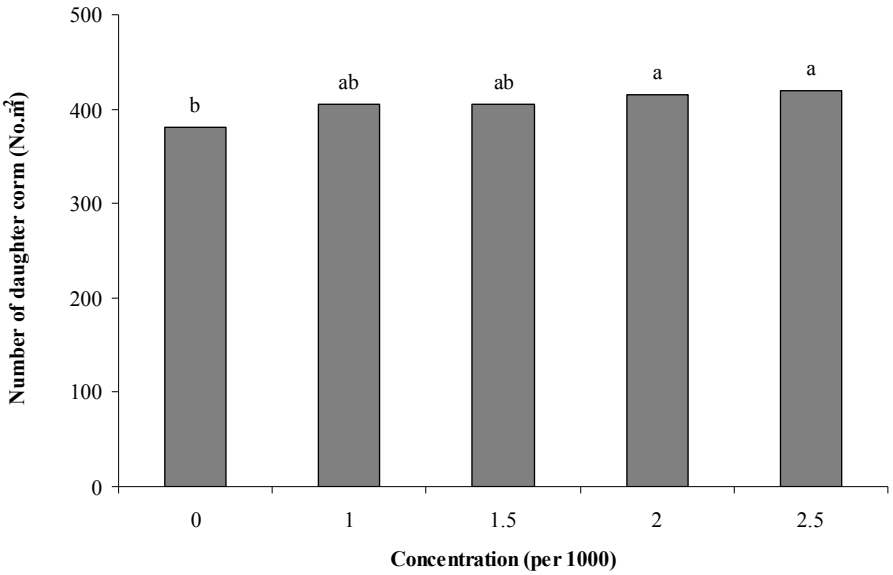
Fig. 3- Mean comparisons for the effect of fertilizer concentrations on dry weight of daughter corms of saffron

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with the same letter(s) have not significantly different based on Duncan's test at 5% probability level.

علاوه بر این، بنظر می‌رسد افزایش غلظت کودی با فراهمی عناصر پرمصرف و کم‌مصرف، همراه با اسیدهای آمینه مختلف سبب بهبود رشد و توسعه سیستم ریشه‌ای و اندام‌های هوایی، افزایش تولید آسیمیلاسیون‌ها و انتقال آنها به اندام‌های زیرزمینی و بنه شده که در نهایت افزایش وزن بنه‌های دختری را موجب شده است (Omidi et al., 2009).

تعداد بنه‌های دختری: تأثیر نوع کود زیستی بر صفت تعداد کل بنه در واحد سطح معنی‌دار نیست (جدول ۲). از آنجا که گل زعفران قبل از هر اندام هوایی دیگر ظاهر می‌شود، تشکیل گل و عملکرد اقتصادی زعفران در هر سال وابسته به ذخیره مواد فتوسنتزی در بنه زعفران در سال زراعی قبل می‌باشد. به همین دلیل گیاه زعفران در هر سال مازاد مواد فتوسنتزی خود را برای تشکیل بنه‌های جدید و همچنین آغازش و تکامل گل به اندام‌های زیرزمینی منتقل می‌کند (Kafi et al., 2002). کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014) نشان دادند که محلول‌پاشی با عناصر میکرو آهن و روی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد بنه‌های دختری زعفران شد. همچنین بین سطوح مختلف غلظت کودهای زیستی از لحاظ صفت تعداد بنه در واحد سطح اختلاف معنی‌دار مشاهده شد (شکل ۴). اثر متقابل غلظت و تیمارهای کودی بر تعداد بنه زعفران معنی‌دار نبود (جدول ۲).



شکل ٤- مقایسه میانگین اثر غلظت‌های کودی بر تعداد بنه‌های دختری زعفران

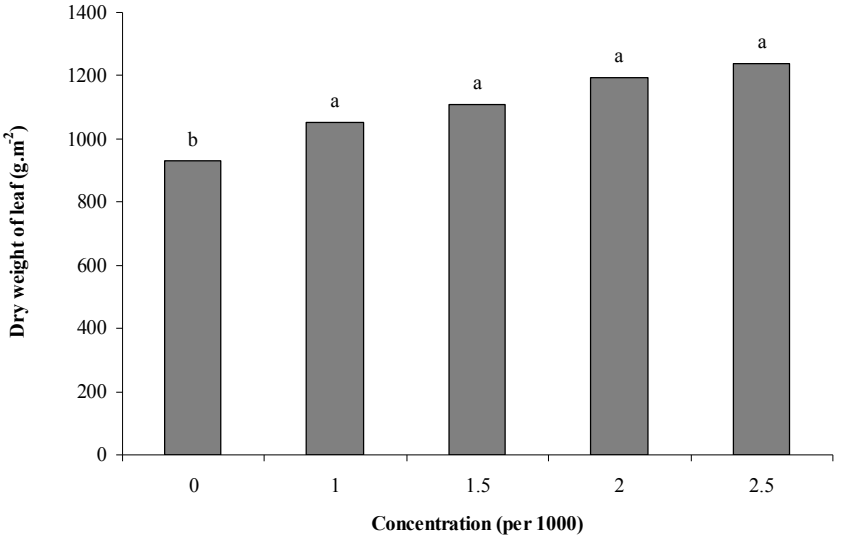
Fig. 4- Mean comparisons for the effect of fertilizer concentrations on number of daughter corms of saffron

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with the same letter(s) have not significantly different based on Duncan's test at 5% probability level.

در آزمایشی کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2011) با ارزیابی کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد گل و ویژگی‌های بنه زعفران گزارش نمودند که بین تیمارهای کود نیتروکسین و دلفارد از نظر تعداد بنه در واحد سطح در سال‌های اول و سوم، اختلاف معنی‌داری بدست نیامد که با نتایج این تحقیق مطابقت می‌کند (شکل ۶). به نظر می‌رسد افزایش غلظت محلول‌پاشی با بهبود رشد رویشی موجب فعال شدن جوانه‌های بیشتر در بنه‌های دختری شده و در نهایت تولید تعداد بیشتری بنه دختری را موجب شده است. در این راستا نیز بررسی‌ها نشان داده است که بنه‌های دختری به وجود آمده در گیاه زعفران فاقد ریشه هستند و مواد مغذی مورد نیاز برای ادامه فعالیت خود را از از طریق فتوسنتز و یا جذب برگی تأمین می‌کنند (Hosseini et al., 2004).

وزن خشک برگ: تأثیر نوع کود بر صفت وزن برگ خشک زعفران معنی‌دار نبود. اثر متقابل غلظت و تیمارهای کودی بر وزن خشک برگ زعفران معنی‌دار نبود (جدول ۱). نتایج این تحقیق نیز با نتایج تحقیق امیدی و همکاران (Omidi et al., 2009) که بیشترین وزن خشک کلاله و خامه زعفران را در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و نیز در ترکیب تیمارهای کودی نیتروکسین و کود شیمیایی اوره بدست آوردند، در تناقض است. افزایش غلظت محلول‌پاشی موجب بهبود وزن برگ گردید؛ به طوری‌که بیشترین و کمترین وزن خشک برگ به ترتیب برای غلظت ۲/۵ در هزار و شاهد با ۱۲۳۹/۹۸ و ۹۳۰/۵۶ گرم بر متر مربع حاصل گردید (شکل ۵). تأثیر مثبت کاربرد محلول‌پاشی برگساره‌ای بر وزن برگ بیان‌کننده نقش مؤثر این کودها در تأمین نیتروزن مورد نیاز گیاه می‌باشد.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر غلظت‌های کودی بر وزن خشک برگ زعفران

Fig. 5- Mean comparisons for the effect of fertilizer concentrations on dry weight of leaf of saffron

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with the same letter(s) have not significantly different based on Duncan's test at 5% probability level.

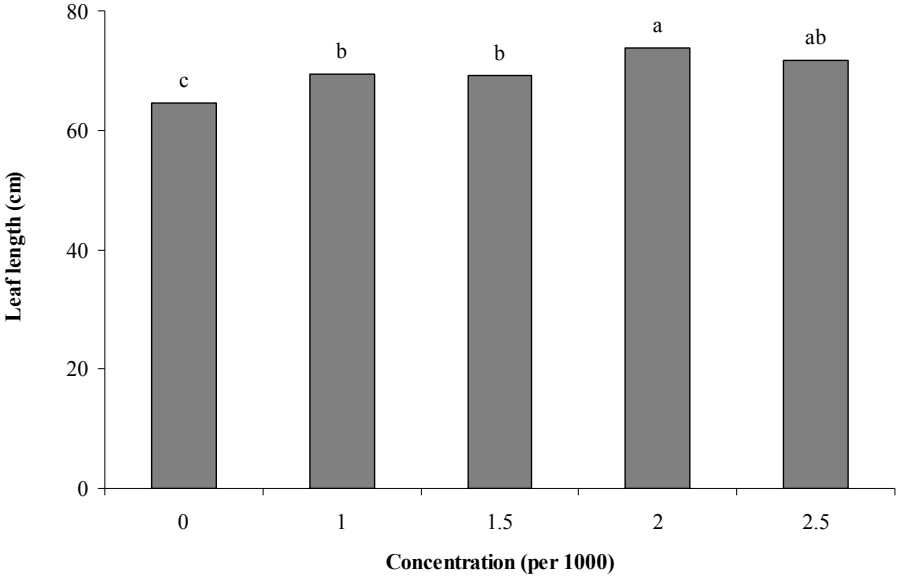
طول برگ: تأثیر نوع کود بر طول متوسط برگ زعفران معنی‌دار نبود. همچنین بین سطوح غلظت کودهای زیستی مطالعه شده از لحاظ طول متوسط برگ اختلاف معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) مشاهده شد؛ به طوری‌که بالاترین طول برگ برای غلظت ۲ در هزار (۷۳/۷ سانتی-متر) بدست آمد و کمترین مقدار مربوط به شاهد (۶۴/۷ سانتی‌متر) بود. البته بین غلظت‌های ۲ و ۲/۵ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۶). اثر متقابل غلظت و تیمارهای کودی بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲).

بررسی‌ها نشان داده است میکروارگانیسم‌های تولیدکننده این هورمون قادر به تحریک رشد گیاه میزبان خود از طریق سنتز جیبرلین اسیدهای فعال آزاد شده هستند (Omidi et al., 2009). نتایج این تحقیق نیز با نتایج تحقیق امیدی و همکاران (Omidi et al., 2009) که تأثیر معنی‌دار مصرف کودهای شیمیایی و زیستی بر طول برگ زعفران را نتیجه گرفتند، مطابقت می‌کند.

نتیجه‌گیری

زعفران گیاهی استراتژیک در بین محصولات زراعی استان خراسان است که بهبود عملکرد آن می‌تواند نقش بسزایی بر ارزآوری و بهبود معیشت کشاورزان منطقه به همراه داشته باشد. از طرفی، پاسخ مثبت این گیاه به کودهای آلی و بیولوژیک می‌تواند نویدبخش امکان افزایش تولید پایدار این گیاه ارزشمند باشد. نتایج این آزمایش نشان داد که محلول‌پاشی زعفران با غلظت‌های مختلف کودهای Aa_{40} و Humus-S موجب بهبود رشد بنه‌های دختری و افزایش عملکرد گل زعفران گردید که این امر را می‌توان به تأثیر مثبت این کودها بر رشد نسبت داد. در طی مراحلی از دوره رشد نیاز فیزیولوژیکی گیاه به جذب عناصر غذایی برای انجام فعالیت‌های

متابولیسمی بسیار زیاد است، اما معمولاً در این مواقع به دلیل محدودیت در جذب مواد غذایی از خاک، گیاه نمی‌تواند به میزان کافی از این عناصر بهره‌گیری کند و به دلیل وجود فاصله زمانی نسبتاً طولانی بین جذب این عناصر توسط گیاه و تبدیل آنها به عناصر مورد نیاز راهکارهای مدیریتی همچون مدیریت تغذیه و محلول‌پاشی با کودهای کامل در زمان مناسب می‌تواند بهبود رشد را به دنبال داشته باشد. البته پیشنهاد می‌شود طی مطالعات تکمیلی زمان دقیق مصرف عناصر مورد نیاز گیاه زعفران پس از آنالیز خاک و به صورت محلول-پاشی برگساره‌ای مورد بررسی قرار گیرد.



شکل ٦- مقایسه میانگین اثر غلظت‌های کودی بر طول برگ زعفران

Fig. 6- Mean comparisons for the effect of fertilizer concentrations on leaf length of saffron

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with the same letter(s) have not significantly different based on Duncan's test at 5% probability level.

منابع

Akbarian, M.M., Heidari Sharifabad, H., Noormohammadi, G.H., and Darvish Kojouri, F. 2012. The effect of potassium, zinc and iron foliar application on the production of saffron (*Crocus sativa*). Annals of Biological Research 3(12): 5651-5658.

Asadi, G.A., Parviz Rezvani Moghaddam, P., and Hassanzadeh Aval, F. 2014. Effects of soil and foliar applications of nutrients on corm growth and flower yield of saffron (*Crocus sativus* L.) in six year-old farm. Journal of Saffron Agronomy and Technology 2(1): 31-44. (In Persian with English Summary)

Behnia, M.R., Estilai, A., and Ehdaie, B. 1999. Application of fertilizers for increased saffron yield. Journal of Agronomy and Crop Science 182: 9-15. (In Persian with English Summary)

Caballero-Ortega, H., Pereda-Miranda, R., Riveron-Negrete, L., Hernandez, J.M., Medecigo-Rios, M., Castillo-Villanueva, A., and Abdullaev, F.I. 2004. Chemical composition of saffron (*Crocus sativus* L.) from four countries. Acta Horticulturae 650: 321-326.

Glick, B.R. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. Canadian Journal of Microbiology 41(2): 109-117.

Hagin, J., and Tucker, B. 1982. Fertilization of Dryland and Irrigated Soils. Springer- Verlag, Berlin.

Hassanzadeh Aval, F., and Mahlouji Rad, M. 2013. Effect of foliar applications of iron and manganese on vegetative growth and production of replacement corms of saffron (*Crocus sativus* L.) in Qom conditions. In: Proceedings of

the 2nd National Conference on the Newest Scientific and Research Findings on Saffron. 30 October, Torbat-e-Heydarieh, Iran. (In Persian)

Hassanzadeh Aval, F., Rezvani Moghaddam, P., Bannayan Aval, M., and Khorasani, R. 2013. Effects of maternal corm weight and different levels of cow manure on corm and flower yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Saffron Agronomy and Technology 1(1): 22-39. (In Persian with English Summary)

Hosseini M., Sadeghi, B., and Aghamiri, S.A. 2004. Influence of foliar fertilization on yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Acta Horticulturae (ISHS) 650: 207-209.

Hosseini, M. 2003. Effect of foliar nutrition on yield of saffron. 3rd National Symposium on Saffron. 2-3 Dec, Mashhad, Iran. (In Persian)

Hosseini, M., Sadeghiand, B., and Aghamiri, S.A. 2004. Influence of foliar fertilization on yield of saffron (*Crocus sativus* L.). In: Proceedings of the 1st International Symposium on Saffron Biology and Biotechnology. Acta Horticulturae (ISHS) 650: 207-209.

Kafi, M., Rashed Mohasel, M.H., Koocheki, A., and Mollafilabi, A. 2002. Saffron, Production and Processing. Zaban va Adab Press, Iran. 276 pp. (In Persian)

Khorasani, R., Rezvani Moghaddam, P., and Hassanzadeh Aval, F. 2013. Effect of concentration, time and frequency of foliar applications on vegetative growth and production of replacement corms of saffron (*Crocus sativus* L.) by using a complete nutrient solution. In: Proceedings of the 2nd National Conference on the Newest Scientific and Research Findings on Saffron. 30 October, Torbat-e- Heydarieh, Iran, 40 p. (In Persian)

Khorasani, R., Rezvani Moghaddam, P., and Hassanzadeh Aval, F. 2013. Effect of concentration, time and frequency of foliar applications on vegetative growth and production of replacement corms of saffron (*Crocus sativus* L.) by using a complete nutrient solution. In: Proceedings of the 2nd National Conference on the Newest Scientific and Research Findings on Saffron. 30 October, Torbat-e- Heydarieh, Iran. (In Persian)

Khorasani, R., Rezvani Moghaddam, P., and Hassanzadeh Aval, F. 2015. Effect of nutrient solution concentration, time and frequency of foliar application on growth of leaf and daughter corms of saffron (*Crocus sativus* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 13(1): 193-202. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A. 2004. Indigenous knowledge in agriculture with particular reference to saffron production in Iran. Acta Horticulturae (ISHS) 650: 175-182.

Koocheki, A. 2013. Agronomic research saffron in Iran: the past and look to the future. Saffron Agronomy and Technology 1(1): 3-21. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Jahani, M., Tabrizi, L., and Mohammad Abadi, A.A. 2011. Investigation of the effect of biological and chemical fertilizers and density on flower yield and characteristics of saffron boletus. Water and Soil Journal 1(25): 196-206. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Tabrizi, L., Jahani, M., and Mohammadabadi, A.A. 2012. An evaluation of the effect of saffron (*Crocus sativus* L.) corm planting rate and pattern on the crop's performance. Iranian Journal of Horticulture 42(4): 379-391. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Najibnia, S., and Lalehgani, B. 2009. Evaluation of saffron yield *Crocus sativus* L. in intercropping with cereals, pulses and medicinal plants. Iranian Journal of Field Crops Research 7: 173-182. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Seyyedi, M.S., Azizi, H., and Shahriyari, R. 2014. The effects of mother corm size, organic fertilizers and micronutrient foliar application on corm yield and phosphorus uptake of saffron (*Crocus sativus* L.). Saffron Agronomy and Technology 2(1): 3-16. (In Persian with English Summary)

Molina, R.V., Valero1, M., Navarro1, Y., Guardiola, J.L., and García-Luis, A. 2005.Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L.). Scientia Horticulturae 103: 361–379.

Agricultural Jihad Organization of Khorasan-e Razavi. 2017. Agricultural Statistics. 420 pp. (In Persian)

Omidi, H., Naghdibadi, H.A., Golzad, A., Torabi, H., and Fotoukian, M.H. 2009. The effect of chemical and bio-fertilizer source of nitrogen on qualitative and quantitative yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Medicinal and Aromatic Plants 8: 98–109. (In Persian with English Summary)

Parray, J.A., Kamili1, A.N., Reshi, Z.A., Hamid, R., and Qadri, R.A. 2013. Screening of beneficial properties of rhizobacteria isolated from Saffron (*Crocus sativus* L.) rhizosphere. African Journal of Microbiology Research 7(23): 2905-2910.

Rezvani Moghaddam, P., Koocheki, A., Molafilabi, A., and Seyyedi, S.M. 2013. Effect of biological and chemical

fertilizers on replacement corm and flower yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Iranian Journal of Crop Science 15(3): 234-246. (In Persian with English Summary)

Sadeghi, B. 2012. Effect of corm weight on saffron flowering. Proceedings of the 4th International Saffron Symposium. Kashmir, India.

Starck, Z. 2005. Growing assistant. Application of growth regulators and biostimulators in modern plant cultivation. Rolnik Dzierawca. 2: 74-76.

Thomas, J., Mandal, A.K.A., Raj Kumar, R., and Chordia, A. 2009. Role of biologically active amino acid formulations on quality and crop productivity of Tea (*Camellia* sp.). International Journal of Agricultural Research 4: 228-36.

Zabihi, H., Rezayain, S., Ghasemzadeh-Ghanji, M., and Passban, M. 2011. Tempeoral changes of nutrient element in leaf saffron. 12th Iranian Soil Science Congress, Tabriz, Iran. (In Persian)

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 17-31

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۳۱-۱۷

Effects of Leaf Spraying with Different Concentrations of Aa_{40} and Humus-S Biofertilizers on Flower Yield and Corm Yield of Saffron (*Crocus sativus* L.)

R. Sadrabadi Haghighi[1], H. Sheykh Jonbdovaz [2] and A. Mollafilabi[3*]

Submitted: 11-10-2018
Accepted: 25-10-2018

Sadrabadi Haghighi, R., Sheykh Jonbdovaz, H., and Mollafilabi, A. 2019. Effects of leaf spraying with different concentrations of Aa40 and Humus-S biofertilizers on flower yield and corm yield of saffron (*Crocus sativus* L.) as a medicinal plant. Journal of Agroecology. 11(1):17-31.

Introduction

Saffron (*Crocus sativa* L.) is the most expensive spice. Better farming and improvement agronomic operations are process of production for qualitative and quantitative improvement of the product as a result of research, education and promotion of new methods of planting, growing and harvesting product. Application of new techniques to saffron could help to compete in global markets with saffron produced in other countries. The researches that have been conducted about the influence of nutrients on saffron quality and quantity, have shown that flower yield and stigma yield stigma were affected by nutrient positively. In this paper we aimed to study the effects of two types of bio-fertilizers (Humus-s and Aa_{40}) and different concentrations on the flower yield, daughter corm yield, stigma yield, leaf weight and leaf length of saffron under the climatic conditions of Kardeh, Iran.

Materials and methods

In order to study the effects of two types of bio-fertilizers and their concentrations on flower yield, stigma yield and daughter corm yield of saffron, a field experiment was performed in a 4-year field at Kardeh dam during 2016-2017. This experiment was carried out as two-factorial based on a randomized complete block design with three replications. The first factor comprised of two types of bio-fertilizers (such as Humus-s and Aa_{40}) and the second factor included concentrations of 0, 1, 1.5, 2 and 2.5 per 1000 as leaf spraying in two times. Fresh weight of flower, dry weight of stigma, fresh weight of stigma, dry weight of flower without stigma, fresh weight of flower without stigma, fresh weight of leaf, dry weight of leaf, weight of daughter corms, number of daughter corms, fresh weight of stigma, fresh weight of flower without stigma, flower number, number of daughter corm in different weight groups such as 0.1-5, 5.1-10, 10.1-15, and >15 g and leaf length of saffron were studied traits. The treatments were run as an analysis of variance (ANOVA) to determine if significant differences existed among treatments means. Multiple comparison tests were conducted for significant effects using the Duncan's test.

Results and discussion

The results indicated that the fertilizers had not significantly effect on none of studied traits. The effect of different concentrations was significant on fresh weight of flower, dry weight of stigma, dry weight of flower without stigma, fresh weight of leaf, weight of daughter corms, fresh weight of stigma, fresh weight of flower without stigma, number of flower, number of daughter corms with >15 g weight and leaf length of saffron. The interaction effect between fertilizer type and concentrations had significantly effect on fresh weight of leaf. The

1- Professor, Agronomy and Plant Breeding Department, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran
2- MSc. Student in Agronomy, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran
3- Assistant Professor, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: a.filabi@rifst.ac.ir)
DOI: 10.22067/jag.v11i1.75839

highest dry weight of stigma and dry weight of daughter corms were observed in 2.5 per 1000 with 1239.98 and 4955 $g.m^{-2}$, respectively. The lowest for the traits were related to control with 930.56 and 4085 $g.m^{-2}$, respectively. The maximum and the minimum number of daughter corms were obtained in 2 per 1000 and control with 415 and 380.33 $No.m^{-2}$, respectively.

Conclusion

It seems that foliar spraying had positive effects on growth and yield of flower, stigma and daughter corm of saffron. So, it is recommended that foliar spraying is used in the production of saffron and besides reducing use of other common fertilizers, other benefits of this fertilizers are enjoyed. Foliar spraying in order to accurate control of releasing nutrients can be an effective step towards achieving sustainable agriculture and compatible with the environment. Using foliar spraying as a substitute for conventional iron chelate fertilizers, element of iron fertilizer is released gradually and in a controlled way and as a result provides nutrient to plant more effectively.

Keywords: Biofertilizer, Environmental pollutions, Humus, Nutrient management

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۵۱-۳۳

Journal of Agroecology
Vol. 11, No. 1, Spring 2019, p. 33-51

ارزیابی اقتصادی تناوب‌های زراعی در کشاورزی حفاظتی منطقه معتدل- سرد مشهد

شجاعت زارع[۱] و علی اکبر مؤیدی[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۰۲

زارع، ش.، و مؤیدی، ع.ا. ۱۳۹۸. ارزیابی اقتصادی تناوب‌های زراعی در کشاورزی حفاظتی منطقه معتدل- سرد مشهد. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱(۱):۵۱-۳۳.

چکیده

این مطالعه با هدف ارزیابی اقتصادی دو تناوب زراعی و در قالب کشاورزی حفاظتی انجام شد. آزمایش‌های هر تناوب زراعی با استفاده از طرح کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار، در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی در ۵ سال متوالی انجام شد. تیمارهای آزمایش، شیوه‌های مختلف خاک‌ورزی در سه سطح شامل: شیوه متداول خاک‌ورز ی (شخم + دیسک + تسطیح + کاشت با بذرکار)، شخم کاهش یافته (چیزل پکر یا دیسک سبک + کاشت با بذرکار) و بدون شخم (کاشت مستقیم با بذرکار) در کرت‌های اصلی و مدیریت بقایای گیاهی در سه سطح بدون بقایا، حفظ ۳۰٪ بقایا و حفظ ۶۰٪ بقایای محصولات مختلف درکرت‌های فرعی قرار داده شدند. سیستم تناوب زراعی رایج این منطقه شامل گندم (*Triticum aestivum* L.) - ذرت (*Zea mays* L.) -گندم- خربزه (*Cucumis melo* L.)- گندم و سیستم تناوب زراعی پیشنهادی یا پایدار شامل گندم- کلزا (*Brassica napus* L.)-گندم-شبدر ایرانی (*Trifolium resupinatum* L.)- گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.)- گندم هر کدام بصورت جداگانه با استفاده از روش بودجه‌بندی جزئی مورد بررسی اقتصادی قرار گرفت. اطلاعات مورد نیاز شامل میزان و ارزش نهاده‌های استفاده شده در مراحل کاشت، داشت، برداشت و محصولات حاصل شامل محصول اصلی و کاه و کلش بود. نتایج نشان داد که منفعت خالص تناوب پایدار در مجموع، بیش از دو برابر منفعت خالص تناوب رایج است. در تناوب زراعی رایج تیمار شخم متداول با حفظ ۳۰٪ بقایای گیاهی با منفعت خالص ۲۴۶۳۷۱۵۸۰ ریال و نرخ بازده ۴۳۷ درصد بیشترین منفعت خالص و نرخ بازده را داشت. در صورتی‌که در نظام تناوب زراعی پایدار تیمار بدون شخم و بدون بقایا با منفعت خالص ۴۵۰۰۲۰۷۹۰ ریال بیشترین درآمد و کمترین هزینه را داشت. خالص ارزش تولید هر متر مکعب آب در تناوب پایدار ۵۶۱۵۹ ریال و در تناوب جاری ۲۷۱۵۷ ریال بود. این نتایج نشان داد، تناوب زراعی که کشاورزان استفاده می‌کنند از نظر اقتصادی توجیهی برای بکارگیری کشاورزی حفاظتی ندارد، اما اگر تناوب زراعی تغییر کند در آن صورت کشاورزی حفاظتی در قسمت حذف ماشین‌آلات آماده‌سازی زمین، اقتصادی است، اما تمایلی به حفظ بقایا ندارد.

واژه‌های کلیدی: بودجه‌بندی جزئی، کلزا، گندم، منفعت خالص، نرخ بازده

مقدمه

عملیات خاک‌ورزی و آماده‌سازی بستر به تنهایی بخش مهمی از هزینه‌های تولید محصولات زراعی را به خود اختصاص می‌دهد بطوری‌که بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی در سال ۱۳۹۴، حدود یک‌نه درصد از کل هزینه در هکتار گندم آبی (۲۸ میلیون ریال) در کشور به شخم و دیسک اختصاص داشته است. از این‌رو جهت کاهش هزینه‌ها و مصرف انرژی و استهلاک ادوات، صرفه‌جویی در زمان اجرای عملیات، حفظ محیط‌زیست و پایداری سیستم تولید رویکرد به کم خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی در دنیا بیشتر شده است. اجرای روش‌های کشاورزی حفاظتی در ایران از سال ۱۳۸۳ با تأمین چند دستگاه خاک‌ورز

۱- استادیار بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

۲- استادیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: moayediali@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jag.v11i1.79348

مرکب و یک دستگاه کارنده کشت مستقیم در استان‌های خوزستان و کرمانشاه آغاز شد (Latifi et al., 2017). اما توسعه این روش‌ها با موانعی همراه است که عمدتا می‌توان آنها را در سه دسته کلی شامل دسترسی به ماشین آلات، موانع اجتماعی و مسایل اقتصادی تقسیم‌بندی نمود. اگرچه دسترسی به ماشین‌آلات با تجهیز مزارع و شرکت‌ها به ماشین‌آلات جدید میسر می‌شود، اما شناسایی موانع اجتماعی و تأیید اقتصادی بودن روش‌های جدید نیاز به مطالعه و بررسی دارد. از جمله عوامل اجتماعی ویژگی‌های جامعه هدف می‌باشد. بررسی میدانی و تحقیق ازکشاورزان (دهستان شباب در استان ایلام) نشان داد که سن کشاورز، میزان مالکیت زمین‌های کشاورزی، سهم بخش کشاورزی از درآمد خانوار و روحیهٔ نوپذیری از عوامل مؤثر بر پذیرش کشاورزی حفاظتی بوده است (Jamshidi et al., 2014). به عقیده کارشناسان مهمترین بازدارنده‌های توسعه کشاورزی حفاظتی عبارتند از، هماهنگی اندک بین سازمان‌ها، دانش اندک دست‌اندرکاران ذیربط، نامناسب بودن سیاست‌های یارانه‌ای، وجود خاک‌های کمتر حاصلخیز و بازده کم اقتصادی محصول در سال‌های اولیه شروع کشاورزی حفاظتی (Latifi et al., 2017b). نتیجه بررسی و نظرسنجی از کارشناسان و دست‌اندرکاران کشاورزی حفاظتی بیانگر آن است که عوامل فرهنگ-سازی در سطح ملی و محلی، نهادی، سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی، مداخلات بازار و زیرساخت‌ها، آموزش و ترویج، حمایت و تحقیق و توسعه به‌ترتیب مؤثرترین پیش‌برنده‌های توسعه کشاورزی حفاظتی هستند (Latifi et al., 2017a).

همانطور که اشاره شد، وجود خاک‌های کمتر حاصل‌خیز و بازده کم اقتصادی محصول در سال‌های اولیه از موانع توسعه کشاورزی حفاظتی است. در واقع یکی از عواملی که باعث شده اقتصادی بودن روش کشت حفاظتی از سوی کشاورزان مورد تردید قرار گیرد این است که کاهش درآمد ناشی از حذف برخی نهاده‌های تولید بخصوص نهاده‌های دخیل در تهیه بستر مناسب کاشت، بیش از کاهش هزینه‌های آن باشد. این موضوع زمانی پیچیده‌تر می‌شود که جهت داشتن یک کشاورزی پایدار لازم باشد تا علاوه بر کاهش عملیات خاک‌ورزی از تناوب‌های زراعی مناسبی نیز استفاده کرد. در اینجا دو نکته در تصمیم‌سازی کشاورزان تأثیر دارد یکی اینکه تناوب زراعی مناسب با حفظ محیط‌زیست و کشاورزی پایدار کدام است؟ و دیگر اینکه تناوبی که از این نظر مورد تأیید است تا چه میزان می‌تواند منافع اقتصادی کشاورزان را تأمین کند. در واقع توجه به تناوب زراعی، ممکن است کشاورز را از برخی منافع کوتاه مدت محروم سازد. زیرا الگوی کشت کشاورزان عمدتا تحت تأثیر منابع در دسترس، محدودیت‌های قانونی، محدودیت‌های اقلیمی و درآمد خالص تولید هر محصول قرار دارد و درآمد خالص با تغییر قیمت محصول، تغییر می‌کند. تحت چنین شرایطی ممکن است قیمت محصولات بواسطه تغییر در عوامل مؤثر بر تقاضا و یا عرضه به گونه‌ای افزایش و یا کاهش یابد که کشاورز جهت رعایت تناوب زراعی مناسب، متحمل هزینه‌های زیادی شود. از این رو بررسی و تحلیل اقتصادی توصیه‌های زراعی می‌تواند کشاورزان را در انتخاب الگوهای مناسب یاری کند.

بررسی مطالعات گذشته نشان داده که بررسی اقتصادی تناوب‌های زراعی همواره مورد توجه محققین بوده است (Hansen & Krause, 1989; Zentner et al., 1992; Shafiq et al., 1993; Hughes et al., 1995; Chaudhary et al., 2006). نتیجه این مطالعات نشان داده که تناوب‌های زراعی مورد مقایسه دارای اختلاف درآمدی قابل ملاحظه‌ای بوده‌اند؛ به طوری‌که در مطالعه ۱۲ ساله تناوب زراعی در کانادا، متوسط درآمد خالص تناوب زراعی دانه‌های روغنی- گندم (*Triticum aestivum* L.)- گندم، ۴۶ درصد بیش ازتناوب آیش- گیاهان دانه‌های روغنی- گندم بوده و مدیریت خاک‌ورزی نیز بر آن بی‌تأثیر بوده است(Zentner et al., 1992). در ایران نیز نتایج مشابه‌ای بدست آمده است. بررسی بازده اقتصادی نظام‌های زراعی متداول و اکولوژیک در تناوب‌های مختلف با گندم در استان خراسان نشان داد که درآمد خالص نظام‌های زراعی ارگانیک و کم‌نهاده نسبت به پرنهاده به ترتیب ۳۱ و ۲۷ درصد کمتر بوده و کارایی اقتصادی نظام کم‌نهاده ۱۸ درصد بیش از نظام پرنهاده بود و با نظام ارگانیک تفاوتی نداشته است(Zarea Feizabadi, 1998). نتایج مطالعه‌ای بر روی ارزیابی فنی و اقتصادی چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) سیستم‌های زراعی کم‌نهاده، متوسط نهاده و پرنهاده و حذف دور آبیاری بعد از سبز شدن در استان خراسان نشان داد، اگر چه سیستم زراعی پرنهاده دارای بالاترین عملکرد بود، اما سیستم کم نهاده بالاترین راندمان آب مصرفی و سیستم متوسط نهاده بالاترین بازده اقتصادی را داشت (Zare & Shahbazi, 2006). ارزیابی اقتصادی تناوب زراعی گندم در اقلیم سرد (جلگه رخ استان خراسان رضوی) نشان داد که تناوب زراعی (گندم- چغندرقند- گندم- سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)- گندم)، از نظر اقتصادی بالاترین نرخ بازده نسبی (۹۰ درصد) را داشت و معرفی چند تناوب زراعی اقتصادی باعث شد تا مدیر مزرعه با گزینه‌های انعطاف‌پذیری جهت انتخاب تناوب زراعی روبرو باشد (Zare et al., 2014). نتیجه ارزیابی مالی کاربرد کشاورزی حفاظتی در تولید گندم در استان فارس مؤید سودآوری کشاورزی حفاظتی بود به طوری‌که سود ناخالص حاصل از هر هکتار کشت بی‌خاک‌ورزی گندم ۲/۵ برابر سود ناخالص حاصل از کشت مرسوم گندم بدست آمد. دلیل افزایش سودآوری کشت حفاظتی بیشتر بودن بازدهی محصول در تکنولوژی حفاظتی و کاهش هزینه‌های کاشت بود به طوری‌که، با پذیرش تکنولوژی حفاظتی، هزینه کل تولید به میزان ۳۶ درصد کاهش داشت (Abedi et al., 2018). با اجرای شیوه‌های کشاورزی حفاظتی در تولید گندم آبی زمستانه در ازبکستان، میزان مصرف سوخت‌های فسیلی ۵۳ درصد کاهش و هزینه کشاورزی بدون خاک‌ورزی و حداقل خاک‌ورزی

به ترتیب ۵۲ و ۷۱ درصد کشاورزی متداول بود در حالی‌که عملکرد به ترتیب حدود ۳۷ و ۳۳ درصد افزایش نشان می‌داد. ارزیابی اقتصادی این تیمارها نشان داد که سودآوری کشاورزی بدون خاک‌ورزی و حداقل خاک‌ورزی به ترتیب ۳ و ۲/۷ برابر کشاورزی متداول بدست آمد (Rustamova, 2016). بررسی تأثیر تیمارهای کشاورزی حفاظتی در تناوب برنج (*Oryza sativa* L.)- ذرت (*Zea mays* L.)- کود سبز، در هند نشان داد که تیمار خاک‌ورزی معمولی برای هر دو محصول، با وجودی‌که ۱۴/۱ درصد هزینه‌ها را افزایش داد ولیکن به دلیل عملکرد بیشتر محصول، دارای بیشترین نسبت منفعت به هزینه (۲/۵۳) بوده و تیمار خاک‌ورزی متداول برای برنج و بدون خاک‌ورزی برای ذرت با نسبت ۲/۳۸۵ بعد از آن قرار دارد. کمترین نسبت منفعت به هزینه نیز برای تیمارهای بدون خاک‌ورزی (کشت مستقیم) بود (Rani & Yakadri, 2017).

بررسی مطالعات گذشته نشان داد که در تناوب‌های زراعی به دلیل تنوع محصولات لازم است تا جهت انتخاب تناوب برتر، تیمارها مورد ارزیابی اقتصادی قرار گیرند. همچنین در روش‌های کشت حفاظتی کاهش هزینه‌های تولید نمی‌تواند دلیلی بر برتری تیمارهای با حداقل خاک‌ورزی بوده و لازم است این تیمارها از نظر اقتصادی نیز ارزیابی شوند. بنابراین، این پژوهش با هدف ارزیابی بازده اقتصادی سیستم کشاورزی حفاظتی و مقایسه آن با شیوه متداول زراعی در دو سیستم تناوبی رایج و پایدار اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی (مشهد، منطقه معتدل سرد) و در یک دوره پنج ساله (۹۵-۱۳۹۰) به مرحله اجرا درآمد. شروع هر دو تناوب رایج و پایدار با کشت گندم در پاییز سال ۱۳۹۰ و با هدف اجرای بقایا در هر یک از کرت‌های آزمایشی بوده و یادداشت‌برداری‌های آماری از سال دوم زراعی (پاییز ۱۳۹۱) برای هر یک از تناوب‌ها آغاز شد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از:

شیوه‌های مختلف خاک‌ورزی به عنوان عامل کرت‌های اصلی در سه سطح شامل شیوه متداول خاک‌ورزی (شخم + دیسک + تسطیح + ایجاد فارو + کاشت با بذرکار)، شخم کاهش یافته (چیزل پکر یا دیسک سبک + ایجاد فارو + کاشت با بذرکار) و بدون شخم (کاشت مستقیم با بذرکار). مدیریت بقایای گیاهی در کرت‌های فرعی در سه سطح شامل بدون بقایا، حفظ ۳۰٪ بقایا و حفظ ۶۰٪ بقایای گیاهی محصول قبلی در تناوب، انجام شد. توالی محصولات در سیستم تناوبی رایج به عنوان آزمایش اول منطقه شامل: گندم، ذرت، گندم، خربزه، گندم و توالی محصولات در سیستم تناوبی پایدار پیشنهادی برای منطقه شامل: گندم، کلزا، گندم، شبدر ایرانی، گوجه‌فرنگی، گندم بود. این تناوب بر اساس ایجاد تنوع در گیاهان کشت شده و استفاده از گیاهان وجینی و غیروجینی و همچنین استفاده از گیاهان خانواده بقولات انتخاب شد. در کشت مستقیم (بی‌خاک‌ورزی) قبل از کشت هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی انجام نشد و با یک بار حرکت مستقیم بذرکار، کشت انجام شد. در کم‌خاک‌ورزی از یک دستگاه دیسک یا چیزل- پکر استفاده شد و عملیات خاک‌ورزی در یک مرحله انجام شد و برای کشت غلات از بذر کار کشت مستقیم و برای محصولات ردیفی از ردیف کار چغندرقند استفاده شد. در روش مرسوم، خاک‌ورزی توسط گاوآهن برگردان‌دار و دیسک انجام و سپس کشت غلات با خطی‌کار انجام شد. در تیمار حفظ بقایا از عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گیاهان زراعی برای محاسبه میزان بقایا بر روی سطح خاک استفاده شد، بدین صورت که با تغییر ارتفاع برداشت توسط کمباین بخشی از بقایا بصورت ایستاده و مابقی بر روی سطح خاک پخش شد. در دو آزمایش مورد نظر از ارقام رایج و تجاری محصولات زراعی برای کشت استفاده شد. ابعاد هر کرت آزمایشی ۳۰×۲۰ متر (۶۰۰ متر مربع) بود که محصولات مختلف در پشته‌هایی با فاصله ۶۵ سانتی‌متر از یکدیگر کشت شد، همچنین بین هر دو کرت آزمایشی، دو متر فاصله در نظر گرفته شد. جهت رسیدن به تراکم مورد نظر برای هر محصول، تعداد ردیف‌های مناسب در هر پشته مشخص شد و کشت در این ردیف‌ها و با فواصل مناسب بین بوته‌ها انجام شد. مساحت هر کرت اصلی ۱۸۰۰= ۶۰۰ × ۳ متر مربع بود. در طی دوره رشد و نمو هر گیاه از صفات زراعی و مرفولوژیک یادداشت‌برداری‌های لازم برای محصولات مختلف برابر استانداردهای مؤسسات تحقیقات اصلاح و نهال و بذر در زمان مناسب انجام شد. میزان نهاده‌های مورد استفاده به تفکیک هر محصول در دو سیستم تناوبی مورد مطالعه به ترتیب در جدول‌های ۲ و ۱ ارائه شده است.

به منظور انجام بررسی اقتصادی نتایج آزمایشات از روش بودجه‌بندی جزئی و تحلیل مارجینالی استفاده گردید. کل هزینه‌ها و درآمدهای هر محصول به قیمت سال کاشت و برداشت محاسبه شد. بطور مثال هزینه‌های کاشت و بخشی از هزینه‌های داشت گندم بر اساس قیمت‌های نیم سال دوم و سایر هزینه‌ها و ارزش درآمد بر اساس قیمت‌های نیمه اول سال بعد از کاشت محاسبه گردید.

ارزش هزینه و درآمدهای سال‌های قبل از سال پایانی، از معادله زیر محاسبه گردید(McKinney & Savitsky, 2006).

$$F= P(1+i)n \quad , \quad F=(F/P , i , n) \qquad \text{معادله (۱)}$$

در این رابطه F: ارزش آتی هزینه و درآمدها (ارزش در سال ۱۳۹۵)، P: ارزش هزینه و درآمد در سال اجرا (سال‌های ۹۱ تا ۹۴)، i: نرخ رجحان (ارزش زمانی پول، نرخ تنزیل و بهره) و n: تعداد سال‌های تنزیل است.

جدول ۱- میزان نهاده‌های مورد استفاده در هکتار در تیمارهای تناوبی رایج

Table 1- Amount of inputs in hectare in conventional crop rotation treatments

عملیات Activities	نهاده Input	واحد Unit	ذرت Corn			گندم Wheat			خربزه Melon		
			بدون شخم No tillage	حداقل شخم Reduced	شخم رایج Conventional tillage	بدون شخم No tillage	حداقل شخم Reduced	شخم رایج Conventional tillage	بدون شخم No tillage	حداقل شخم Reduced	شخم رایج Conventional tillage
آماده سازی زمین Land preparation	نیروی انسانی Human Labour	ساعت hr	64	64	64	64	64	64	2	2	2
کاشت Planting			10	10	10	5.5	5.5	5.5	6	4	4
وجین Weeding			40	40	40	27	27	27	32	26	24
آبیاری Irrigation			80	80	80	95	95	95	32	16	16
کود پاشی Fertilizer spray			10	10	10	6	6	6	1	1	1
عملیات برداشت و انتقال Harvest and transfer			20	20	20	10	10	10	30	30	30
آماده‌سازی زمین Land preparation	ماشین آلات Machinery	ساعت hr	0	5	10	0	4	6.9	0.33	0.67	2
کاشت Planting			4	4	4	4.3	4.3	4.3	1	1	1
وجین Weeding			3	3	3	0	0	0	0	0	0
کودپاشی Fertilizer spray			2	2	2	0	0	0	1	1	1
عملیات برداشت و انتقال Harvest and transfer			5	5	5	19.75	19.75	19.75	0.5	1	1

ادامه جدول ۱- میزان نهاده‌های مورد استفاده در هکتار در تیمارهای تناوبی پایدار

Table 1- (continue) Amount of inputs in hectare in conventional crop rotation treatments

عملیات Activities	نهاده Input	واحد Unit	ذرت Corn			گندم Wheat			خربزه Melon		
			بدون شخم No tillage	حداقل شخم Reduced	شخم رایج Conventional tillage	بدون شخم No tillage	حداقل شخم Reduced	شخم رایج Conventional tillage	بدون شخم No tillage	حداقل شخم Reduced	شخم رایج Conventional tillage
-	اوره Urea	کیلوگرم kg	200	200	200	350	350	350	100	125	150
-	سوپرفسفات Super phosphate		0	0	0	0	0	0	70	100	125
-	سولفات پتاسیم Potassium sulfate		200	200	200	180	180	180	100	100	100
-	عناصر میکرو Micro elements		0	0	0	40	40	40	5.5	5.5	10.5
-	هیومیک اسید Humic acid		0	0	0	6	6	6	5	5	7.5
	علف‌کش Herbicide	کیلوگرم/لیتر $kg.L^{-1}$	4	4	4	1.5	1.5	1.5	4	2	2
-	قارچ‌کش Fungicide		0	0	0	0	0	0	1	1	1
-	حشره‌کش Insecticide		0	0	0	0	0	0	3	3	3
-	آب Water	متر مکعب m^3	9600	9600	9600	4350	4350	4350	5500	5500	5500
-	بذر Seed	کیلوگرم kg	36	36	36	170	170	170	0.42	0.42	0.42

Source: Research data

ماخذ: اطلاعات تحقیق

جدول ۲- میزان نهاده‌های مورد استفاده در هکتار در تیمارهای تناوبی پایدار

Table 2- Amount of inputs in hectare in sustainable crop rotation treatments

عملیات Activities	نوع نهاده Input	واحد Unit	کلزا Rapeseed			گندم Wheat			شبدر Clover			گوجه‌فرنگی Tomato		
			بدون شخم No tillage	حداقل شخم Reduced tillage	شخم رایج Conventional tillage	بدون شخم No tillage	حداقل شخم Reduced tillage	شخم رایج Conventional tillage	بدون شخم No tillage	حداقل شخم Reduced tillage	شخم رایج Conventional tillage	بدون شخم No tillage	حداقل شخم Reduced tillage	شخم رایج Conventional tillage
آماده سازی زمین Land preparation	نیروی انسانی Human labour	ساعت hr	60	60	60	64	64	64	4	8	12	1	1	1
کاشت Planting			6	6	6	5.5	5.5	5.5	4	4	4	10	8	4
وجین Weeding			23	23	23	27	27	27	0	0	0	38	24	12
آبیاری Irrigation			83	83	83	95	95	95	30	30	30	32	16	16
کود پاشی Fertilizer spray			12	12	12	6	6	6	4	4	4	1	1	1
عملیات برداشت و انتقال Harvest and transfer			15	15	15	10	10	10	6	6	6	30	30	30
آماده سازی زمین Land preparation	ماشین آلات Machinery	ساعت hr	0	7	8	0	4	6.9	4	8	12	0.33	0.67	2
کاشت Planting			3	3	3	4.3	4.3	4.3	4	4	4	0	0	0
کود پاشی Fertilizer spray			3	3	3	0	0	0	4	4	4	1	1	1
عملیات برداشت و انتقال Harvest and transfer			7	7	7	19.75	19.75	19.75	4	4	4	0.5	1	1

ادامه جدول ۲- میزان نهاده های مورد استفاده در هکتار در تیمارهای تناوبی پایدار

Table 2- (continue) Amount of inputs in hectare in sustainable crop rotation treatments

نهاده Input	واحد Unit	کلزا Rapeseed			گندم Wheat			شبدر Clover			گوجه فرنگی Tomato		
		بدون شخم No tillage	حداقل شخم Reduced tillage	شخم رایج Conventional tillage	بدون شخم No tillage	حداقل شخم Reduced tillage	شخم رایج Conventional tillage	بدون شخم No tillage	حداقل شخم Reduced tillage	شخم رایج Conventional tillage	بدون شخم No tillage	حداقل شخم Reduced tillage	شخم رایج Conventional tillage
اوره Urea	کیلوگرم kg	134	134	134	300	300	300	50	50	50	75	125	150
سوپرفسفات Super phosphate		0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	75	125
سولفات پتاسیم Potassium sulfate		67	67	67	146	146	146	150	150	150	100	100	100
فسفات آمونیوم Ammonium phosphate		0	0	0	146	146	146	200	200	200	0	0	0
عناصر میکرو Micro elements		0	0	0	40	40	40	0	0	0	12.5	12.5	17.5
هیومیک اسید Humic acid		0	0	0	6	6	6	0	0	0	5	5	7/5
علف کش Herbicide	کیلوگرم/لیتر $kg.L^{-1}$	0	0	0	1.5	1.5	1.5	0	0	0	4	2	2
قارچ کش Fungicide		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.25	1.25	1.25
آب Water	متر مکعب m^3	3125	3125	3125	4350	4350	4350	3790	3790	3790	8950	8950	8950
بذر Seed	کیلوگرم kg	6	6	6	170	170	170	10	10	10	0	0	0

ماخذ: اطلاعات تحقیق

Source: Research data

مطالعه اسلاملوییان و استاد زاد (۱۳۹۳) نرخ تنزیل در ایران را بطور متوسط ۲/۳۸ درصد بدست آورده است، اما از آنجا که در این مطالعه از قیمت‌های روز نهاده‌ها و محصولات استفاده شده است، لذا با در نظر گرفتن تورم، نرخ رجحان زمانی میانگینی از نرخ سود بانکی ۴-۲ ساله در سال ۹۱ که بین ۱۷ تا ۲۰ درصد بوده محاسبه و ۱۸/۵ درصد در نظر گرفته شد. پس از محاسبه هزینه و درآمد تیمارهای مختلف، منافع خالص از تفاضل کل ارزش عملکرد و هزینه‌هایی که اختلاف تیمارها در آن می‌باشد محاسبه می‌شود (لذا ممکن است بیانگر درآمد خالص در هکتار واقعی نباشد). در مرحله سوم کل تیمارها بر اساس هزینه‌ها و از کم به زیاد مرتب می‌شوند (لذا مخرج کسر همواره مثبت است) و روابط زیر برای تیمارها محاسبه شد (Perrin et al., 1988; Zare et al., 2014).

$$MGBba = \frac{GBb - GBa}{Cb-Ca}$$ معادله (۲)

در این رابطه، a وb: تیمارهائی هستند که باید با هم مقایسه شوند. GB: منافع ناخالص تیمار است که از حاصل ضرب تولید در هکتار و قیمت محصول محاسبه می‌شود. MGBba: منافع ناخالص نهائی تیمار b نسبت به a بوده و بیانگر افزایش در درآمد کل به ازای یک واحد افزایش در هزینه می‌باشد، لذا اگر میزان منفعت نهائی کمتر از یک گردد، تیمار b رد می‌گردد. C: بیانگر هزینه غیر مشترک تیمارها است. پس از حذف تیمارهای مردود شده از جدول، انجام مقایسات و محاسبات مجدداً با تیمارهای باقی‌مانده انجام می‌شود. این کار تا بزرگتر از یک شدن منافع خالص کلیه تیمارهای باقی مانده ادامه می‌یابد تا با استفاده از معیار نرخ بازده، انتخاب نهایی صورت گیرد. جهت محاسبه نرخ بازده نهایی ابتدا منافع خالص نهایی محاسبه می‌شود.

$$MNBba= NBb-NBa$$ معادله (۳)

در این رابطه، MNBba: بیانگر منافع خالص نهایی تیمار b نسبت به a بوده نشان‌دهنده افزایش منافع خالص ناشی از اجرای تیمار B به جای تیمار A می‌باشد. نرخ بازده نهایی (MRRb) یک تیمار که بیانگر درصد منافع خالص یک تیمار در قبال مازاد هزینه اجرای آن نسبت به تیمار a است (بازده خالص سرمایه‌گذاری)، نیز از معادله ۴ محاسبه است.

$$MRRb = \frac{MNBba}{Cb-Ca} \times ۱۰۰$$ معادله (۴)

در جدول ۳ مبانی محاسباتی نشان داده شده است. در جدول‌های ۴ و ۵ درآمد محصولات در تیمارهای مورد مطالعه در تناوب‌های جاری و پایدار ارائه شده است.

تناوب زراعی پایدار در مجموع ارزش تولید بالاتری نسبت به تناوب رایج دارد. بطوری‌که مقایسه ستون ارزش کل تولیدات در جدول-های ۴ و ۵ نشان می‌دهد که نسبت بین ارزش تولیدات تناوب پایدار به تناوب جاری، بین ۱/۶۴ تا ۲/۱ و بطور متوسط ۱/۸ برابر و نسبت هزینه‌ها با دامنه تغییرات اندک ۱/۰۸ می‌باشد، اما مقایسه ستون منفعت خالص در جدول‌های ۶ و ۸ نشان می‌دهد که نسبت منفعت خالص در تیمارهای تناوب پایدار به رایج بین ۱/۹ تا ۲/۶ و بطور متوسط ۲/۱ می‌باشد که نشان می‌دهد نقش هزینه‌ها در تناوب‌های زراعی کم بوده و ارزش تولیدات اختلافات را تشدید می‌کند و باعث می‌شود تا در مجموع تیمار پایدار بر رایج ارجحیت داشته باشد. دو تناوب مورد مطالعه از نظر نوع گیاهان کشت شده با هم اختلاف دارند. به لحاظ اقتصادی هر یک از تناوب‌ها دارای یک محصول با ارزش تولید بالا (خربزه و گوجه‌فرنگی) هستند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که میانگین ارزش خالص منافع گوجه‌فرنگی در کل تیمارها ۳ برابر خربزه می‌باشد. همچنین ارزش تولید کلزا ۱/۷ برابر ذرت در سال ۹۲ است و شبدر نیز در تناوب پایدار حضور دارد در صورتی که در تناوب جاری همتایی ندارد. لذا درآمد تناوب پایدار بیشتر از تناوب جاری می‌باشد. اما اگر چه از نظر هزینه‌ها ۸ درصد بین این دو تناوب اختلاف وجود دارد، اما از نظر مصرف آب این اختلاف ۳ درصد است (۷۱۴۰۰ متر مکعب در تناوب رایج در مقابل ۷۳۶۹۵ متر مکعب در تناوب پایدار) به عبارت بهتر، در تناوب پایدار خالص ارزش تولید هر متر مکعب ۵۶۱۵۹ ریال بوده در صورتی‌که در تناوب جاری ۲۷۱۵۷ ریال است.

بنابراین، تناوب پایدار بر تناوب جاری اولویت دارد. در تناوب رایج، به استثنای تیمار بدون شخم با حفظ ۶۰ درصد بقایا، با افزایش بقایا درآمد اصلی زیاد شده و کاهش درآمد فرعی نیز در کلیه تیمارها دیده می‌شود. حداکثر سهم درآمد اصلی از کل درآمد ۹۲ درصد و متعلق به تیمارهای حفظ ۶۰ درصد بقایا است و بیشترین سهم درآمدهای فرعی نیز متعلق به تیمارهای بدون بقایا با ۲۰ درصد است. در تیمارهای تناوب پایدار اگر چه وضعیت منظمی از نظر افزایش درآمد اصلی با افزایش بقایا دیده نمی‌شود (فقط در تیمارهای شخم متداول، با افزایش بقایا، درآمد اصلی زیاد می‌شود) اما بیشترین درصد درآمد اصلی که بین ۸۹ تا ۹۲ درصد است، متعلق به تیمارهایی است که ۶۰ درصد بقایا در آن حفظ شده است. بیشترین درآمد فرعی نیز در تیمار بدون بقایا دیده می‌شود. در تیمار شخم متداول با افزایش بقایا درآمد اصلی افزایش یافته است، اما این افزایش نتوانسته است کاهش درآمد ناشی از بازگشت بقایا را جبران کند.

جدول ۳- قیمت نهاده‌ها و ستاده‌ها در سال‌های اجرای طرح (۱۰ ریال)

Table 3- Price of input and output in the years of design implementation (10 Rials)

نام Name	نوع Kind	واحد Unit	سال Years				
			2012	2013	2014	2015	2016
گندم Wheat	ستاده Output	کیلوگرم kg	–	–	1050	–	1241
کاه گندم Wheat Straw			-	–	394	–	315
کلزا Canola			980	1634	-	–	-
گوجه فرنگی Tomato			-	-	-	332	-
کلش گوجه فرنگی Tomato straw			-	-	-	50	-
ذرت علوفه‌ای Corn			-	102	-	164	-
میوه خربزه Melon			-	-	-	538	-
کلش خربزه Melon straw			-	-	-	50	-
شبدر خشک Dry clover			-	-	596	617	-
بذر گندم Wheat seed	نهاده Input	کیلوگرم kg	–	890	–	1362	–
بذر کلزا Canola seed			2273	3789	-	–	-
بذر گوجه فرنگی Tomato seed			-	-	-	201000	-
بذر ذرت علوفه‌ای Corn seed			-	4722	-	7600	-
بذر خربزه Melon seed			-	-	-	200000	-
بذر شبدر Clover seed			-	-	16299	16866	-
اوره Urea			420	785	785	785	-
فسفات آمونیوم Ammonium phosphate			570	1040	1040	1040	-
سولفات پتاسیم Potassium sulfate			500	893	893	893	-
ریزمغذی Micro elements			9500	16700	16700	16700	-

ادامه جدول ۳- قیمت نهاده‌ها و ستاده‌ها در سال‌های اجرای طرح (۱۰ ریال)

Table 3- (Continue) Price of input and output in the years of design implementation (10 Rials)

نام Name	نوع Kind	واحد Unit	سال Years				
			2012	2013	2014	2015	2016
برق Electricity	نهاده Input	کیلووات kw	13.11	13.34	17.76	19.55	22
شخم پاییزه Fall plowing		هکتار ha	51697	67102	78196	107547	119032
دیسک پاییزه Fall disk plowing			19861	27218	34085	40257	44843
شخم بهاره Spring Plowing			-	57263	63913	101908	-
دیسک بهاره Spring disk Plowing			-	24530	31892	39426	-
تسطیح Leveling			41551	53932	62849	86000	95671
کرت بندی Split classification			11595	15051	17539	24000	26699
بذرپاشی Seeding			21742	28220	32886	45000	50060
سمپاشی Toxin spray			24157	31356	36540	50000	55622
کودپاشی Fertilizer spray			16910	21949	25578	35000	38936
برداشت گندم wheat harvesting			65891	110497	143190	155787	164223
برداشت کلزا Canola harvesting			-	110648	143386	156000	-
برداشت شبدر Clover harvesting			-	-	520233	566000	-
برداشت ذرت Corn harvesting			-	259597	-	366000	-
علف‌کش Herbicide		کیلوگرم/ لیتر $kg.L^{-1}$	16400	17200	22000	32000	43200
حشره‌کش Insecticide			5000	9800	24000	34000	45900
قارچ‌کش Fungicide			5000	5900	10000	18000	24300
نیروی کار زن Female worker		ساعت hr	1533	2205	2854	3076	3314
نیروی کار مرد Male worker			2058	2967	3623	3925	4248

ماخذ: مرکز آمار ایران– اداره آمار و اطلاعات سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی

Source: Statistics center of Iran, Statistics and information bureau of agricultural Jihad organization of Khorasan Razavi

میزان درآمد فرعی در تیمارهای بدون حفظ بقایا در تناوب جاری بین ۱۸ تا ۲۰ درصد و در تناوب پایدار بین ۱۲ تا ۱۵ درصد است که این مقدار برای بسیاری از کشاورزان که مقدار زمین زراعی آنها کم است، قابل توجه می‌باشد. در یک خانواده روستایی چهار نفره، درآمد سرانه هر هکتار در ماه در تیمار پایدار (که دو برابر تیمار جاری درآمد خالص دارد)، بطور متوسط ۲۳۹۵۰۲۰ ریال بدست می‌آید. حداقل حقوق ماهانه کارگر در سال ۹۵، ۸۱۲۱۶۶۰ ریال اعلام شده است که با احتساب هزینه بیمه که کارفرما پرداخت می‌نماید تقریبا معادل درآمد یک هکتار می‌شود. بنابراین، درآمد هر هکتار زمین کشاورزی در شرایط خوب کشاورزی پایدار در حد حداقل حقوق کارگر روزمزد است. از طرف دیگر، بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۳، متوسط زمین سرانه هر بهره‌بردار کشاورزی در استان خراسان رضوی ۶ هکتار بوده که سرانه برای هر خانوار روستایی ۴ نفره، ۱/۵ هکتار است، که ۳۸ درصد آن آیش است. با توجه به توزیع ناهمگن زمین بین بهره‌برداران، بطور متوسط ۹۴ درصد از خانوارهای روستایی ۳/۲۴ هکتار در اختیار دارند که سرانه آنها کمتر از یک هکتار است. همچنین ۳۷/۵ درصد از بهره‌برداران کشاورزی استان، ۵ درصد زمین‌های زراعی را در اختیار دارند. بنابراین درآمدی که کشاورزان از طریق محصولات زراعی دریافت می‌کنند از حداقل حقوق و دستمزد هم کمتر است. بنابراین ترغیب بسیاری از روستاییان به کشاورزی پایدار بدون توجه به تأمین حداقل درآمد، کاری دشوار خواهد بود. از این‌رو ترویج و توسعه کشاورزی حفاظتی به سمت بزرگ مالکان امکان موفقیت بیشتری دارد.

در تناوب جاری با تغییر عملیات خاک‌ورزی از بدون خاک‌ورزی به خاک‌ورزی متداول، مقدار افزایش هزینه‌ها ناچیز بوده، به طوری‌که انتخاب تیمار شخم کاهش یافته و شخم متداول بجای بدون شخم، به ترتیب ۰/۶ و ۶/۴ درصد هزینه‌ها را افزایش می‌دهد اما منفعت به ترتیب ۸/۸ و ۲۱/۳ و و منفعت خالص ۱۳ و ۲۸/۸ درصد افزایش می‌یابد.

بنابراین، در تناوب جاری، انتخاب عملیات خاک‌ورزی متداول توجیه اقتصادی دارد، به طوری‌که نرخ بازده انتخاب تیمار شخم متداول به جای تیمار بدون شخم، حدود ۸۸۰ درصد است. به عبارت دیگر، به ازای هر ریال افزایش هزینه، بطور متوسط ۸/۸ ریال منفعت خالص به دست می‌آید اما در تناوب پایدار این‌گونه نیست، به‌طوری‌که با انتخاب تیمار شخم کاهش یافته و شخم متداول بجای بدون شخم به ترتیب ۰/۳ و ۶/۴ درصد هزینه‌ها افزایش می‌یابد اما به منفعت به ترتیب ۳/۱- و ۱/۹ و منفعت خالص ۳/۹- و ۰/۹ درصد افزوده می‌شود. بنابراین، از نظر اقتصادی انتخاب تیمار شخم کاهش یافته به جای بدون شخم در تناوب پایدار زیان‌آور است، اما انتخاب شخم متداول به جای بدون شخم، اگر چه اقتصادی است، اما نرخ بازده آن ۶۰ درصد است (افزایش ۰/۶ ریال به منفعت خالص به ازای هر واحد هزینه) این نرخ بازده اگر چه اقتصادی و قابل قبول است، اما نسبت به تناوب جاری بسیار کمتر می‌باشد به‌طوری‌که با اصلاح نرخ انرژی و کاهش یارانه آن، استفاده از تیمار بدون شخم، اقتصادی و شخم متداول غیراقتصادی خواهد شد. اصلاح یارانه انرژی بر روی تناوب جاری نیز تأثیر مشابه خواهد داشت. از آنجا که تناوب پایدار سودآورتر می‌باشد. بنابراین تناوب پایدار با تیمارهای بدون شخم، هم در جهت کشاورزی حفاظتی بوده و هم اقتصادی است

شکل ۱ تغییر درآمد در هر یک از تیمارهای خاک‌ورزی در تناوب جاری را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، با افزایش فعالیت‌های خاک‌ورزی، درآمد افزایش می‌یابد که بیانگر تأثیر مخلوط شدن بهتر بقایا با خاک و اثر آن بر افزایش عملکرد است (شکل ۱).

جدول ۶ مقایسه زوجی تیمارهای تناوب زراعی رایج، جهت انتخاب اقتصادی‌ترین تیمار را نشان می‌دهد. نگاهی به ستون منافع ناخالص نهایی نشان می‌دهد که در تیمار بدون خاک‌ورزی با افزایش بقایا درآمد ناخالص کاهش می‌یابد اما در تیمارهای شخم کاهش یافته و یا متداول، افزایش بقایا به ۳۰ درصد منجر به افزایش درآمد شده و با افزایش بقایا به ۶۰ درصد مجدد کاهش می‌یابد. هر چند این تغییرات کم است اما نشان می‌دهد از نظر اقتصادی حد بهینه بقایا به مقدار ۳۰ درصد، از دو تیمار دیگر (۰ و ۶۰ درصد) بهتر است (جدول ۶).

به منظور تعیین اقتصادی‌ترین تیمار، تیمارها دو به دو مقایسه می‌شوند. همانطور که ملاحظه می‌شود، تیمارهایی که منفعت خالص نهایی آنها منفی است نسبت به تیمار قبل از خود اقتصادی نبوده و حذف می‌شوند. زیرا افزایش هزینه در آنها بیش از افزایش درآمد است و یا در شرایط مساوی بودن هزینه، درآمد کمتری دارند. تیمارهای اقتصادی باقی مانده در جدول ۷ آمده است.

در این جدول از ۹ تیمار ۵ تیمار اقتصادی است. از آنجا که اگر دو تیمار پیاپی هزینه‌های یکسان داشته باشند هزینه نهایی آنها صفر و نرخ بازده قابل محاسبه نیست، لذا برای اینگونه تیمارها، مقایسه با یک تیمار قبل‌تر آنها انجام و نرخ بازده محاسبه شد. همانطور که ملاحظه می‌شود، آخرین تیمار اقتصادی‌ترین تیمار است، زیرا نسبت به تیمار قبل از خود (ردیف ۴) دارای منفعت خالص نهایی بزرگ‌تر از یک بوده و نرخ بازده آن نیز نسبت به تیمار قبل تر خود (ردیف ۴) بیشتر است، بطوری‌که تیمار آخر نسبت به ردیف ۳ دارای نرخ بازده ۴۳۷ درصد بوده ولی تیمار ردیف ۴ نسبت به ردیف ۳ نرخ بازده ۳۵۹ درصد است (جدول ۷)

جدول ٤- درآمد در هکتار تیمارهای تناوب زراعی رایج (۱۰ ریال)

Table 4- Benefit of conventional crop rotation treatments in hectare (10 Rials)

تیمار Treatment		ذرت Corn	گندم Wheat		خربزه Melon		گندم Wheat		ارزش تولید پس از تنزیل در سال ۹۵ The discounted production value in 2016			درصد درآمد The main revenue percentage	درصد درآمد The minor benefit percentage
نظام‌های خاک‌ورزی Tillage systems	بقایا* Residue (%)	کامل Total	دانه Seed	کاه Straw	عملکرد Yield	کاه Straw	دانه Seed	کاه Straw	اصلی Main	فرعی Minor	کل Total	اصلی	فرعی
بدون شخم No tillage	0	1966670	7288246	2916487	4453026	77518	7124488	2479837	24310447	6027733	30338180	80	20
	30	2404840	8047942	2414218	4551480	85045	6677656	1555019	25609641	4516645	30126286	85	15
	60	1467360	8079620	1396599	3597606	36464	6289160	970886	22568370	2669066	25237436	89	11
شخم کاهش یافته Reduced Tillage	0	2017620	7221144	3138394	5891100	28247	6594496	2274077	25489838	6026546	31516384	81	19
	30	2313130	6872690	2084157	6967100	37261	7546496	1563841	27795710	4077721	31873432	87	13
	60	1966670	7919415	1332067	5858820	15022	7637104	1006681	27236864	2602982	29839846	91	9
شخم متداول Conventional Tillage	0	1650780	6973740	2823340	8263680	203772	7612280	2475741	28415532	6062869	34478400	82	18
	30	2150090	7022449	1878322	9194420	230685	7699164	1929326	30493917	4428499	34922416	87	13
	60	2262180	7779761	1287015	8640280	114634	8572968	1112051	31794999	2773006	34568005	92	8

*درصد باقی‌مانده از کاه و کلش محصول قبل در تناوب

* The percentage of straw of previous crop in rotation

ماخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research finding

جدول ۵ - درآمد در هکتار تیمارهای تناوب زراعی پایدار (۱۰ ریال)

Table 5- Benefit of sustainable crop rotation treatments per hectare (10 Rials)

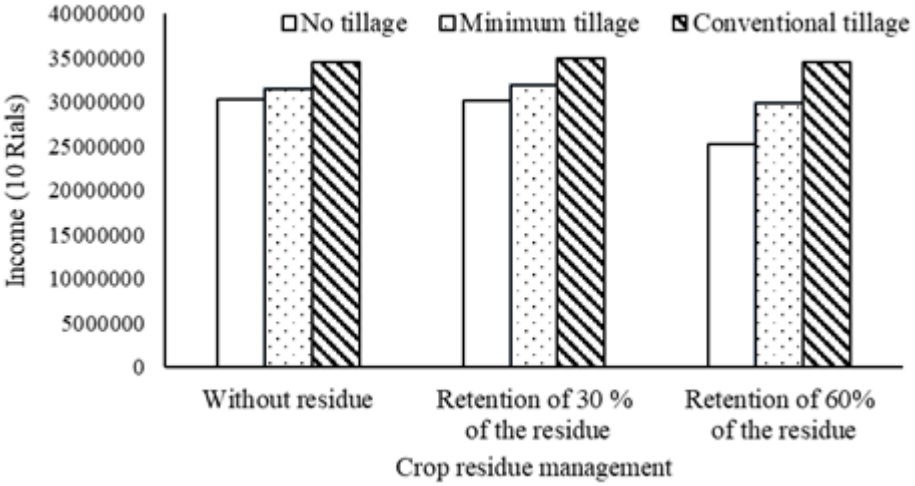
تیمار Treatment		کلزا Canola	گندم Wheat		شبدر Clover	گوجه فرنگی Tomato		گندم Wheat		ارزش تولید پس از تنزیل در سال ۹۵ Discounted production value in 2016			درصد درآمد اصلی Main benefit percentage	درآمد فرعی Minor benefit percentage
نظام‌های خاک ورزی Tillage systems	بقایا* Residue (%)	دانه Seed	دانه Seed	کاه Straw	عملکرد Yield	عملکرد Yield	کاه Straw	دانه Yield	کاه Straw	اصلی Main	فرعی Minor	کل Total		
بدون شخم No tillage	0	4489682	7405320	4606290	4799410	18883681	5274	7360316	2791786	54346526	9266303	63612829	85	15
	30	3627036	7462042	3038655	6021620	16064231	2245	6702480	1705006	50708100	4745907	55454007	91	9
	60	3017629	7650063	1793225	5930401	15490390	2534	6553536	853291	49001030	2649050	51650080	95	5
شخم کاهش یافته Reduced tillage	0	4236443	7046083	4217314	4851279	15822090	30537	6317708	2265569	48822929	6513421	55336349	88	12
	30	3252896	7274020	3013577	5480867	18011310	12916	7161724	1480025	51828697	4506518	56335215	92	8
	60	3437515	6945245	1596532	5696095	16727631	7105	7791012	1036427	51084588	2640065	53724653	95	5
شخم متداول Conventional Tillage	0	3635205	7213097	4709833	4757676	18253451	76125	7472024	2949336	51961027	7735295	59696322	87	13
	30	2367376	7344397	3055742	5451653	18940070	24255	8064076	2118134	52415922	5198131	57614053	91	9
	60	3063375	7282423	2084563	5554795	18585151	14233	8105036	1256619	53252260	3355414	56607674	94	6

*درصد باقی مانده از کاه و کلش محصول قبل در تناوب

* The percentage of straw of previous crop in rotation

ماخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research finding



شکل ۱- تأثیر خاک‌ورزی بر درآمد خالص در تیمار باقی‌مانده بقایا در تناوب جاری

Fig. 1- Effect of tillage treatments on net income in residue retention treatment in conventional crop rotation

جدول ٦- هزینه و درآمد تیمارهای تناوب زراعی رایج (۱۰ ریال)

Table 6- Cost and benefit of conventional crop rotation treatments in hectare (10 Rials)

تیمار Treatments		هزینه Cost	منفعت Benefit	منفعت خالص Net benefit	منفعت ناخالص نهایی Marginal gross benefit	منفعت خالص نهایی Marginal net benefit	هزینه نهایی Marginal cost
نظام‌های خاک ورزی Tillage systems	بقایا* Residue (%)						
بدون شخم No tillage	0	9663069	30338180	20675111			
	30	9663069	30126286	20463216	-211894	-211894	0
	60	9663069	25237436	15574367	-4888850	-4888850	0
شخم کاهش یافته Reduced tillage	0	9717803	31516384	21798581	115	6224214	54734
	30	9717803	31873432	22155629	357048	357048	0
	60	9717803	29839846	20122042	-2033586	-2033586	0
شخم متداول Conventional tillage	0	10285258	34478400	24193143	8	4071100	567454
	30	10285258	34922416	24637158	444016	444016	0
	60	10285258	34568005	24282747	-354411	-354411	0

*درصد باقی‌مانده از کاه و کلش محصول قبل در تناوب

* The percentage of straw of previous crop in rotation

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research finding

جدول ۷- تیمارهای اقتصادی باقی مانده در مقایسات اقتصادی تیمارهای زراعی تناوب رایج (۱۰ ریال)

Table 7- Remained economic treatments in economic comparing of conventional crop rotation treatments (10 Rials)

تیمار Treatments		هزینه Cost	منفعت Benefit	منفعت خالص Net benefit	منفعت ناخالص نهایی Marginal gross benefit	منفعت خالص نهایی Marginal net benefit	هزینه نهایی Marginal cost	نرخ بازده نهایی Marginal rate of return (%)
نظام‌های خاک‌ورزی Tillage systems	بقایا* Residue (%)							
بدون شخم No tillage	0	9663069	30338180	20675111	-	-	-	-
شخم کاهش یافته Reduced tillage	0	9717803	31516384	21798581	22	1123470	54734	2053
شخم کاهش یافته Reduced tillage	30	9717803	31873432	22155629	357048	357048	0	-
شخم متداول Conventional tillage	0	10285258	34478400	24193143	5	2037514	567454	359
شخم متداول Conventional tillage	30	10285258	34922416	24637158	444016	444016	0	-

*درصد باقی‌مانده از کاه و کلش محصول قبل در تناوب

* The percentage of straw of previous crop in rotation

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research finding

جدول ۸- هزینه و درآمد تیمارهای تناوب زراعی پایدار (۱۰ ریال)

Table 8- Cost and benefit of sustainable crop rotation treatments in hectare (10 Rials)

تیمار treatments		هزینه Cost	منفعت Benefit	منفعت خالص Net benefit	منفعت ناخالص نهایی Marginal gross benefit	منفعت خالص نهایی Marginal net benefit	هزینه نهایی Marginal cost	نرخ بازده نهایی Marginal rate of return %
نظام‌های خاک ورزی Tillage systems	بقایا* Residue (%)							
بدون شخم No tillage	0	10451928	63612829	53160900	–	–	–	–
	30	10451928	55454007	45002079	-8158822	-8158822	0	–
	60	10451928	51650080	41198152	-3803927	-3803927	0	–
شخم کاهش یافته Reduced tillage	0	10488341	55336349	44848008	101	3649856	36413	10024
	30	10488341	56335215	45846873	998866	998866	0	–
	60	10488341	53724653	43236312	-2610562	-2610562	0	–
شخم متداول Conventional tillage	0	11116725	59696322	48579597	10	5343286	628383	850
	30	11116725	57614053	46497328	-2082269	-2082269	0	–
	60	11116725	56607674	45490949	-1006379	-1006379	0	–

*درصد باقی‌مانده از کاه و کلش محصول قبل در تناوب

* The percentage of straw of previous crop in rotation

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research finding

نتیجه ارزیابی اقتصادی تیمارهای تناوب زراعی پایدار در جدول ۸ آمده است. همانطور که ملاحظه می‌شود بیشترین درآمد و کمترین هزینه مربوط به تیمار بدون شخم و بدون بقایا است. از آنجا که تیمارهای بعدی همگی نسبت به اولین تیمار هزینه بیشتر و درآمد کمتری دارند، لذا اولین تیمار که تیمار بدون شخم و بدون بقایا می‌باشد، برترین تیمار است. به عبارت بهتر، با حذف تیمارهایی که منفعت خالص نهایی آنها منفی است، تیمارهایی که بصورت نسبی دارای منفعت نهایی مثبت بوده‌اند نیز منفی شده و از گردونه مقایسات حذف می‌شوند و در نهایت اولین تیمار باقی خواهد ماند (جدول ۸).

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه نشان داد که در تناوب زراعی رایج بیشترین درآمد خالص و نرخ بازده متعلق به تیمار شخم متداول و حفظ ۳۰٪ بقایای گیاهی بود. در صورتی‌که در نظام تناوب زراعی پایدار بیشترین درآمد و کمترین هزینه مربوط به تیمار بدون شخم و بدون بقایا بود. این نتایج نشان می‌دهد که تناوب زراعی که کشاورزان استفاده می‌کنند از نظر اقتصادی توجیهی برای بکارگیری کشاورزی حفاظتی ندارد زیرا اکثر کشاورزان در درجه اول به اقتصادی بودن فعالیتشان توجه دارند. اما اگر تناوب زراعی رایج به پایدار تغییر کند در آن صورت کشاورزی حفاظتی در قسمت حذف ماشین‌آلات آماده‌سازی زمین، اقتصادی است اما تمایلی به حفظ بقایا ندارد. این در حالی است که کشاورزی پایدار در مجموع ارزش تولید بالاتری نسبت به کشاورزی رایج دارد. بطوری‌که نسبت بین ارزش تولیدات تناوب پایدار به تناوب جاری، بین ۱/۶۴ تا ۲/۱ و بطور متوسط ۱/۸ برابر و نسبت منفعت خالص در تیمارهای تناوب پایدار به رایج بین ۱/۹ تا ۲/۶ و بطور متوسط ½ می‌باشد. اگر چه هزینه‌های تناوب پایدار هشت درصد بیشتر از تناوب جاری است، اما از نظر مصرف آب این اختلاف سه درصد است لذا ارزش بهره‌وری هر متر مکعب در تناوب پایدار بیشتر از جاری است (در تناوب پایدار خالص ارزش تولید هر متر مکعب ۵۶۱۵۹ ریال بوده در صورتی که در تناوب جاری ۲۷۱۵۷ ریال است). بنابراین تناوب پایدار بر تناوب جاری اولویت دارد. از نظر اقتصادی حد بهینه بقایا به مقدار ۳۰ درصد، از دو تیمار دیگر (۰ و ۶۰ درصد) بهتر است. در بین تیمارهای تناوب پایدار، تیمار سوم که بقایا ۶۰ درصد و بدون شخم است از نظر زیست‌محیطی و کشاورزی پایدار برترین گزینه است، زیرا حداکثر بقایا را برگردانده و حداقل خاک‌ورزی را دارد. این تیمار با اولین تیمار که برترین تیمار اقتصادی است (بقایا صفر –بدون شخم)، ۱۱۹۶۲۷۴۹۰ ریال که ۲۲/۵ درصد درآمد خالص تیمار اول می‌باشد اختلاف درآمد خالص دارد. که در واقع هزینه انجام کشاورزی در شرایط پایدار می‌باشد. که انتظار می‌رود در سال‌های آتی با افزایش کیفیت خاک جبران شود، اما در کوتاه مدت دیده نشده و برای جامعه کشاورزی با درآمد پایین قابل اغماض نیست. از این رو سودآوری فعالیت‌های کشاورزی باید به اندازه‌ای باشد که انگیزه چشم‌پوشی از این هزینه برای کشاورزان فراهم شود و ترغیب بسیاری از روستاییان به کشاورزی پایدار بدون توجه به تأمین حداقل درآمد کاری دشوار خواهد بود. از این‌رو جامعه هدف جهت توسعه کشاورزی حفاظتی به سمت بزرگ مالکان امکان موفقیت بیشتری دارد.

منابع

Abedi, S., Yazdani, S., and Salami, H. 2018. Financial evaluation of conservation agriculture technology in wheat production of Fars province: Translog cost function approach. Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research 48: 573-584. (In Persian with English Summery)

Chaudhary, V., Gangwar, B., and Pandey, D. 2006. Auditing of energy use and output of different cropping systems in India. Agricultural Engineering International: CIGR Journal 8: 1-13.

Hansen, B., and Krause, M. 1989. Impact of agronomic and economic factors on farm profitability. Agricultural Systems 30: 369-390.

Hughes, D., Butcher, W., Jaradat, A., and Penaranda, W. 1995. Economic analysis of the long-term consequences of farming practices in the barley cropping area of Jordan. Agricultural Systems 47: 39-58.

Jamshidi, A., Nouri, S.H., Jamshidi, M., and Jamini, D. 2014. Investigation of social factors affecting the use of tillage conservation practices: A case study of Shabab county farmers in Ilam province. Journal of Rural Development Strategies 1: 99-117. (In Persian with English Summery)

Latifi, S., Raheli, H., Yadavar, H., and Saadi, H.A. 2017a. Identification and analysis of driving factors of conservation agriculture development in Iran. Iranian Agricultural Extension and Education Journal 13: 105-125.

Latifi, S, Raheli, H., Yadavar, H., and Saadi, H. 2017b. Analysis of the barriers to development of conservation agriculture in Iran. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 26: 167-184. (In Persian with English Summery)

McKinney, D.C., and Savitsky, A.G. 2006. Basic Optimization Models for Water and Energy Management. Thechnical report from the University of Texas at Austin. Available at

<http://www.caee.utexas.edu/prof/mckinney/ce385d/lectures/McKinneySavitsky_ver8_e.pdf> (accessed 22 February 2019).

Perrin, R., Anderson, J., Winkelmann, D., and Moscardi, E. 1988. From Agronomic Data to Farmer Recommendations: An Economics Training Manual. CIMMYT,Economics Program International Maize Wheat Improvement Center.

Rani, P.L., and Yakadri, M. 2017. Economic evaluation of rice-maize-green manure cropping system under different tillage and weed management practices in conservation agriculture. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 6: 2363-2368.

Rustamova, I. 2016. Evaluation of economic efficiency of using resource saving technologies (Conservation Agriculture) in irrigated lands. Journal of Global Economics 4: 197.

Shafiq, M., Azeem, M., and Longmire, J. 1993. Diagnosing alternatives in conventional crop rotations: sunflowers as an alternative to wheat in the cotton-based cropping systems of Pakistan's Punjab. Agricultural Systems 42: 245-264.

Zare Fizabadi, A. 1998. Evalovation on efficiency of energy and economical output of conventional and ecological agronomic systems in different crop rotations based on wheat. PhD Dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

Zare, S., and Shahbazi, H.A. 2006. Economic analysis of water allocation in Khorasan sugar beet crop systems. Journal of Sugar Beet 22: 91-108. (In Persian with English Summery)

Zare, S., Zare Fizabadi, A., and Sabouhi, M. 2014. Investigation of yield and economic analysis of wheat- based crop rotation systems. Seed and Plant Production Journal 30-2: 19-33. (In Persian with English Summery)

Zentner, R., Brandt, S., Kirkland, K., Campbell, C., and Sonntag, G. 1992. Economics of rotation and tillage systems for the Dark Brown soil zone of the Canadian Prairies. Soil and Tillage Research 24: 271-284.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 33-51

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۵۱-۳۳

Economic Evaluation of Crop Rotations in Conservation Agriculture System in Temperate-cold Climatic Zone of Mashhad

S. Zare[1] and A.A. Moayyedi[2*]

Submitted: 23-02-2019
Accepted: 23-04-2019

Zare, S., and Moayyedi, A.A. 2019. Economic evaluation of crop rotations in conservation agriculture system in temperate-cold climatic zone of Mashhad. Journal of Agroecology. 11(1): 33-51.

Introduction

Tillage and preparation of soil, alone account for a significant part of the crop production costs, which according to statistic of Ministry of Jihad-e-Agriculture in 2015, about 9% of the total cost per hectare of wheat (28 million Riyal) has been allocated to plowing and discs. Therefore, in order to reduce costs, energy consumption, equipment depreciation, saving during operation, maintaining the environment and sustainability of the production system, the approach to low tillage and no tillage has grown further. However, the development of these methods is accompanied by barriers that can be largely categorized into three broad categories: access to machinery, social barriers and economic issues. Farmers are worried that reducing the income resulting from the elimination of some inputs, especially tillage is more than reducing its costs. Here are two points that affect farmers' decision-making: One is which crop rotation is sustainable for sustainable farming? And the other is which sustainable crop rotation, can serve the economic interests of farmers? The past studies have shown that in agronomic rotations, because of the variety of products, it is necessary to evaluate the treatments in order to select the best alternatives. In addition, in conservation methods, reducing production costs cannot be a reason for the superiority of treatments with minimum tillage and it is necessary to evaluate these treatments economically.

Material and methods

This research was carried out with the aim of evaluating the economic efficiency of conservation agricultural system and comparing it with conventional agricultural practice in two crop rotations include conventional and sustainable systems. Experiments were conducted using a split-plot design based on randomized complete block with three replications in research station of Torogh Mashhad during 2011-16 growing seasons. Main factor was three tillage methods include 1-Conventional Tillage: Plow + Disc + Leveling + Faro + Seed planter, (CT), 2-Reduced Tillage : Disc +Faro + Seed planter, (RT) and 3-No Tillage: direct plant by Seed planter (NT)) were allocated in main plots and three residue management (Zero (R_0), 30% (R_1) and 60% (R_2) of residue retention) were assigned in sub plots. Experimental treatments were compared and valuated by using partial budgeting method.

Results and discussion

Results showed that sustainable crop rotation, SCR, has a higher overall production value than conventional crop rotation, CCR,. The ratio of the production value of SCR to CCR is between 1.64 to 2.1 and 1.8 on average, and the ratio of costs is almost 1.08, but the net profit ratio of SCR to CCR is from 1.9 to 2.6 and 2.1on average. However, the difference between cost of two crop rotation is almost 8%, but the difference in their water consumption is 3% (71400 cubic meters in the CCR versus 73695 cubic meters in the SCR), in other words, in the SCR The value of production per cubic meter is 56159 Rials, in the event that in the CCR is 27157 Rials. Increasing tillage, increase the benefit of treatments. Nevertheless, increasing in residue retention in NT, decrease benefit. Although, in RT and CT increasing in residue retention to R_1 increase and to R_2 decrease benefit. Therefore, in RT and CT, economical treatment is R_1. In the CCR, the highest net income and rate of return treatment was CT + R_1. In the event that in SCR, the highest income and the lowest cost treatment was NT + R_0. In the CCR, the treatment of CT + R_1, with the net benefit of 246371580 Rials and a rate of return, ROR, 437%, had the highest net benefit and ROR. In the event that in the SCR, the treatment of NT + R_0, with the

1- Assistant Professor of Economic, Social and Extension Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
2- Assistant Professor of Seed and Plant Improvement Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: moayediali@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jag.v11i1.79348

net benefit of 450020790 Rials had the highest income and the lowest cost. These results indicate that applying conservation agriculture in the CCR isn't economical. But if the crop rotation changes, then the conservation agriculture in the field of no tillage is economical, and isn't for residue retention.

Conclusion

Results showed that SCR has a higher overall production value than CCR. In the CCR, the highest net income and rate of return treatment was CT + R_1. In the event that in SCR, the highest income and the lowest cost treatment was NT + R_0.

Key words: Net benefit, Partial budgeting, Rapeseed, Rate of return, Wheat.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۶۸-۵۳

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 53-68

ارزیابی شاخص‌های انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی در تولید سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در استان گلستان

محمد تقی فیض بخش[1*]، محمد علی دری[2] و نصیبه رضوان طلب[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۹

فیض بخش، م.ت، دری، م.ع و رضوان طلب، ن. ۱۳۹۸. ارزیابی شاخص‌های انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی در تولید سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در استان گلستان. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱(۱): ۶۸-۵۳.

چکیده

در سال‌های اخیر ارزیابی انرژی ورودی و خروجی و پتانسیل گرمایش جهانی در بین محققان بخش کشاورزی جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است. جهت انجام این بررسی از طریق مصاحبه با کشاورزان مختلف، ۹۵ کشاورز تولید کننده سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در استان گلستان و در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ انتخاب گردید. اطلاعات مربوط به بکارگیری ماشین‌آلات، نهاده‌های ورودی شامل غده بذری، کود، سوخت فسیلی، الکتریسیته، آب آبیاری و سموم بوسیله‌ی پرسشنامه جمع‌آوری شد. سپس میزان مصرف سوخت، میزان انرژی ورودی و خروجی، شاخص‌های ارزیابی انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای بر حسب معادل دی‌اکسیدکربن محاسبه شد. نتایج نشان داد که کل میزان انرژی ورودی و خروجی به مزارع سیب‌زمینی به ترتیب برابر ۳۰/۸ و ۷۹/۲ گیگاژول در هکتار بود. همچنین بیشترین انرژی ورودی مستقیم در مزارع سیب‌زمینی مربوط به مصرف سوخت می‌باشد و نیز در بخش انرژی ورودی غیرمستقیم بیشترین میزان مربوط به کود نیتروژن به‌دست آمد. نسبت انرژی خروجی به ورودی، بهره‌وری انرژی و انرژی ویژه به ترتیب برابر ۲/۱۳، ۰/۷۱ (کیلوگرم بر مگاژول) و ۱/۴ (مگاژول بر کیلوگرم) محاسبه شد. همچنین میزان پتانسیل گرمایش جهانی در مزارع سیب‌زمینی ۱۶۱۶/۲۲ کیلوگرم معادل دی اکسیدکربن به‌دست آمد. مصرف کودهای شیمیایی به ویژه کود نیتروژنه و الکتریسیته، بیش از ۵۰ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای اختصاص داشت. چون میزان انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش مصرف کود نیتروژن در زراعت سیب‌زمینی زیاد است، لزوم بررسی و تحقیق جهت کشت‌های تناوبی و در تناوب با سیب‌زمینی و همچنین استفاده از گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن در راستای مدیریت اکولوژیک در مزارع تولید این محصول، آشکار می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری انرژی، سوخت فسیلی، کارایی مصرف انرژی، عملیات زراعی

مقدمه

در سال‌های اخیر مصرف انرژی در کشاورزی شدیداً افزایش پیدا کرده و کشاورزی مدرن در زمینه انرژی بسیار پرمصرف شده است. بیشتر انرژی مصرفی برای تولید محصولات کشاورزی به دلیل استفاده از نهاده‌هایی مانند: ماشین‌آلات، سوخت‌های فسیلی، کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها است که استفاده نامناسب از این نهاده‌ها ضمن پائین آوردن کارآیی مصرف انرژی در بوم‌نظام‌های زراعی باعث ایجاد مشکلاتی برای سلامتی انسان و محیط زیست نیز می‌شود. در حال حاضر به دلیل بحران انرژی در جهان ضرورت مطالعه بیشتر در زمینه مصرف انرژی و یافتن راهکارهایی برای مصرف بهینه آن به ضرورت احساس می‌شود (Darlington, 1997).

۱- استادیار بخش زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
۲- استادیار بخش تحقیقات جنگل و مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
۳- دانش‌آموخته دوره دکتری زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(*- نویسنده مسئول: (Email:Feyz_54@yahoo.com
DOI:10.22067/jag.v11i1.73855

انرژی را توانایی انجام کار تعریف کرده‌اند. با توجه به نیاز روزافزون انرژی در جهان امروز، قیمت بالا و محدودیت منابع انرژی و نیز اثرات استفاده نامتعارف و بیش از حد انرژی در انتشار گازهای گلخانه‌ای و نیز تسریع در روند گرم شدن کره زمین، امروزه مبحث انرژی در تمام زیرساخت‌های اقتصاد اعم از صنعت، خدمات و کشاورزی به یکی از مهم‌ترین مباحث برای محققان و دانشمندان تبدیل شده است (Abdollahpour & Zaree, 2009). به طور کلی، منبع انرژی برای تولید غذا به دو شکل انرژی اکولوژیکی و زراعی است. انرژی اکولوژیکی شامل انرژی خورشیدی است که منبع انرژی برای تولید زیست‌توده محسوب می‌شود و انرژی زراعی، انرژی عرضه شده توسط انسان برای بهینه‌سازی تولید زیست‌توده در اکوسیستم‌های زراعی است. انرژی زراعی به دو شکل صنعتی و بیولوژیکی تفکیک می‌شود. انرژی صنعتی، انرژی حاصل از منابع غیرزنده مانند: الکتریسیته، نفت، گازوئیل و گاز طبیعی می‌باشد. انرژی زراعی بیولوژیکی نیز از منابع انسانی مانند نیروی کار انسان، نیروی کار دام و کود حیوانی تأمین می‌شود (Nasiri Mahallati et al., 2006). انسان برای دستیابی به انرژی مورد نیاز خود، به استفاده از منابع فسیلی که در دسترس و ارزان قیمت هستند روی آورده است. این نوع منابع ۹۵ درصد از انرژی مصرفی جهان را تشکیل می‌دهد. بالا رفتن مصرف انرژی فسیلی باعث آلوده شدن هوا و تغییرات کلی در آب و هوای کره زمین می‌گردد. براساس مقیاس جهانی کشاورزی در حدود پنج درصد از کل انرژی سوخت‌های فسیلی را مصرف می کند (Nasiri Mahallati et al., 2006).

نقش حیاتی انرژی در توسعه بخش‌های مهم اقتصادی از قبیل صنعت، حمل و نقل و کشاورزی، پژوهش‌گران را به مطالعه در عرصه مدیریت بر مصرف انرژی واداشته است (Strapatsa et al., 2006). نتایج مطالعه این محققین بر جریان انرژی در تولید سیب‌زمینی در یونان نشان داد که انرژی ورودی ۵۰/۷ گیگاژول در هکتار و انرژی خروجی ۱۱۸/۵ گیگاژول در هکتار می‌باشد. در تحقیقی دیگر که با هدف توازن انرژی در کشت کلزای زمستانه (*Brassica napus* L.) از طریق فراهمی نیتروژن محصول قبلی در مناطق خشک آلمان انجام نشان داد که انرژی ورودی در طول سال متغیر و بین ۷/۴۲ تا ۱۶/۱ گیگاژول در هکتار حاصل شد (Rathke & Diepenbrock, 2006). در بررسی میزان مصرف سوخت در تولید محصولات مختلف در ژاپن گزارش شده است که برای تولید هر هکتار گندم زمستانه (*Triticum aestivum* L.)، چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) و سیب‌زمینی به ترتیب ۱۳۰/۸۰، ۱۸۳/۸۰ و ۲۴۱/۴۰ لیتر سوخت فسیلی نیاز است. در کلیه محصولات ذکر شده، ۷۱/۱۰ لیتر در هکتار سوخت فسیلی برای خاک‌ورزی مصرف شد. برای کاشت این محصولات به ترتیب ۶/۷۰، ۲۶/۵۰ و ۱۰/۴۰ لیتر در هکتار، برای مبارزه با آفات و بیماری‌ها به ترتیب ۱۳/۳، ۱۱/۵ و ۱۳/۴ لیتر در هکتار و برای برداشت آن‌ها ۱۴/۵۰، ۴۱/۵۰ و ۱۲۷ لیتر در هکتار سوخت مصرف شد. همچنین روش کاشت و داشت و برداشت محصول نیز در سهم مصرف سوخت در عملیات مختلف مؤثر است. به‌طوری‌که در گندم زمستانه خاک‌ورزی و در چغندرقند و سیب زمینی به ترتیب کاشت و برداشت از بیشترین میزان مصرف سوخت برخوردار بودند (Koga, 2008).

در ایران نیز تحقیقات متعددی در رابطه با مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید محصولات زراعی و باغی صورت گرفته است که در این میان می‌توان به بررسی میزان مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید سیب‌زمینی در شهرستان اردبیل در دو گروه از کشاورزان اشاره کرد. ایشان دریافتند که میزان انرژی خالص به دست آمده برای کشاورزانی که مالک ادوات و ماشین آلات بوده و از سطح تکنولوژی بالاتری برخوردار بودند نسبت به کشاورزانی که مالک نبوده و سطح تکنولوژی تولید پایین‌تری داشتند، بیشتر بوده که به ترتیب برابر با ۴۱۱۰/۹۵ و ۲۱۷۴۴/۶۷- می‌باشد، همچنین عملکرد گروه اول نسبت به گروه دوم نیز ۱۳ درصد کمتر بود (Zangeneh et al., 2010). در تحقیقی دیگر، میزان انرژی ورودی و خروجی برای تولید سیب‌زمینی به ترتیب ۷۸۳۶۳ و ۷۷۳۷۵ مگاژول در هکتار به دست آمد (Haj Seyed Hadi, 2006). مقادیر مختلفی برای کارایی مصرف انرژی نیز در تولید سیب‌زمینی گزارش شده است که از جمله آنها مقادیر ۱/۰۳ (Khoshnevisan et al., 2014)، ۱/۲۵ (Mohammadi et al., 2008)، ۱/۱ (Rajabi Hamedani et al., 2011) و ۱/۱۴ (Zangeneh et al., 2010) می‌باشد. از دلایل اختلاف در مقادیر به دست آمده می‌توان به روش‌های تولید سیب‌زمینی در شهرهای مختلف ایران و عملکرد به دست آمده گوناگون اشاره نمود. بررسی مصرف انرژی در زراعت پنبه در استان گلستان نیز نشان داد که سهم نهاده‌های مختلف در انرژی مصرفی در تولید پنبه استان متفاوت بود. سوخت تراکتور و موتور پمپ به ترتیب سهمی برابر با ۲۴ و ۳۰ درصد را به خود اختصاص دادند و به طور کلی ۵۴ درصد انرژی مصرفی در تولید پنبه مربوط به سوخت گازوییل بود. کودها با ۲۴ درصد و مواد شیمیایی با ۱۳درصد نیز به ترتیب رتبه دوم و سوم را در مصرف انرژی داشتند (Ahmadi & Aghaalikhani, 2012). با ارزیابی مصرف انرژی در مزارع تکثیر بذر ارقام دیم گندم آذربایجان شرقی و تأثیر آن بر محیط زیست گزارش شد که بیشترین انرژی مصرفی به ترتیب مربوط به کود نیتروژن، ماشین‌آلات و سوخت گازوئیل و کمترین انرژی مصرفی متعلق به نیروی انسانی و علف‌کش می‌باشد (Valadiani et al., 2005). در مطالعه‌ای دیگر به منظور بررسی بیلان انرژی در مزارع گندم دیم استان کرمانشاه گزارش شد که کارایی انرژی برای محصول دانه ۰/۸۲ و کاه آن ۰/۷۰ می‌باشد و

این میزان برای انرژی کل ۱/۵۲ محاسبه شد. بیشترین مقدار انرژی مصرفی برای ماشین آلات (۲۷/۳ درصد) و کود نیتروژن (۲۰ درصد) و کمترین مقدار آن برای استفاده از علف‌کش‌ها و نیروی کارگری ثبت گردید (Abdollahpour & Zaree, 2009). با بررسی چهار سناریوی تولید کلزا، میزان متوسط مصرف سوخت را ۸۵±۷ لیتر در هر هکتار تخمین زده شد. سناریوی رایج تولید که حدود ۷۰ درصد از کشاورزان آن را انجام می‌دهند و سناریوی مصرف بیشتر نهاده‌ها که حدود ۱۶ درصد از کشاورزان آن را اعمال می‌کنند بیشترین مصرف سوخت را با ۹۷ لیتر در هکتار نشان داد. سناریوی مدیریت بهتر محصول که حدود ۶ درصد از کشاورزان منطقه از آن استفاده می‌کنند کمترین میزان مصرف سوخت را نشان داد به‌طوری‌که مصرف سوخت در هر هکتار تا ۳۷ درصد کاهش نشان داد. در این سناریو، عمل کاشت و کوددهی توأم انجام می‌گیرد. بنابراین با مدیریت صحیح و استفاده ادوات ترکیبی می‌توان گام مهمی در جهت کاهش مصرف سوخت برداشت (Soltani et al., 2014). بررسی مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در محصول سویا (*Glycine max* L.) در شهرستان گرگان نشان داد که برای تولید هر هکتار به ۱۲۹ لیتر سوخت فسیلی و ۱۲۶۱۳ انرژی نیاز است. این میزان مصرف انرژی موجب انتشار ۹۸۱ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار گردید. کارایی و بهره‌وری انرژی نیز ۴/۱ و ۰/۲۷ به‌دست آمد (Alimamagham et al., 2013).

بنابراین این مطالعه به منظور بررسی چگونگی کاهش مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در هر هکتار از زمین‌های تحت کشت سیب‌زمینی اهداف زیر مد نظر قرار گرفت: ۱- تعیین میزان مصرف انرژی در هر مرحله از عملیات تولید و بررسی شاخص‌های آن. ۲- تعیین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در هر مرحله از عملیات تولید و بررسی شاخص‌های آن. ۳- بررسی چگونگی کاهش مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در هر مرحله از تولید.

مواد و روش‌ها

زراعت سیب‌زمینی در استان گلستان در نواحی کوهستانی چهارباغ و اراضی دشت در محدوده روستاهای اطراف شهرستان گرگان به‌ویژه جلین و شهر سرخنکلاته به عنوان کشت اول در سطحی نزدیک به۷۵۰۰ هکتار انجام می‌شود. عملیات زراعی تهیه زمین شامل شخم و دیسک اولیه از اواخر مهرماه آغاز می‌گردد و عملیات کاشت از اواسط آبان آغاز می‌شود. عملیات آماده‌سازی زمین شامل: کودپاشی کودهای پایه اوره و فسفاته با دستگاه سانتریفوژ اختلاط با دیسک همزمان با کشت درآبان ماه انجام می‌شود. کشت سیب‌زمینی امروزه در بیشتر اراضی زیر کشت با دستگاه سیب‌زمینی کار انجام می‌شود.

کود سرک (اوره) در اسفند ماه به صورت دست پاش همزمان با شروع رشد سریع ساقه‌ها برای تحریک رشد بیشتر انجام می‌شود. در اواسط تا اواخر اسفند ماه ازدستگاه فاروئر به منظور خاک‌دهی بوته‌های سیب‌زمینی استفاده می‌شود که با این عمل علاوه بر سله‌شکنی مورد نیاز، علف‌های هرز از بین رفته و جوی پشته برای آبیاری نیز آماده می‌شود.

آبیاری در زراعت سیب‌زمینی برای تولید بیشتر غده ضروری است و بسته به فصل زراعی از ماه اسفند شروع و تا اواسط اردیبهشت ادامه دارد. یکی از عملیات زراعی که در اواخر اردیبهشت برای قطع اندام هوایی سیب‌زمینی برای توقف انتقال مواد از غده صورت می‌گیرد و در بین کشاورزان با نام سرزنی مشهور است با دستگاه روتیواتور تقریبا ۷-۵ روز قبل از برداشت انجام می‌شود (جدول ۱).

جهت انجام این پژوهش اقدام به جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز از منطقه مورد بررسی شد بر همین اساس با مصاحبه کشاورزان مختلف، برای سیب‌زمینی ۹۵ کشاورز بر اساس فرمول کوکران انتخاب گردید. فرمول (۱)

$$n=\frac{\frac{z^2pq}{d^2}}{1+\frac{1}{N}\left(\frac{z^2pq}{d^2}-1\right)}$$

که در آن، n: حجم نمونه، N: حجم جمعیت آماری (حجم جمعیت شهر، استان و...)، Z: مقدار متغیر نرمال واحد استاندارد، p: نسبتی از جمعیت دارای صفت معین، q: نسبتی از جمعیت فاقد صفت معین (1- p)، d: مقدار اشتباه مجاز یا درصد خطا، Z: مقدار متغیر نرمال واحد استاندارد، که در سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر ۱/۹۶ می‌باشد. d: مقدار اشتباه مجاز که معمولاً برابر ۰/۰۱ یا ۰/۰۵ می‌باشد. P: مقدار pو q که اگر در اختیار نباشد می‌توان آن را ۰/۵ در نظر گرفت و در این صورت واریانس به حداکثر مقدار خود می‌رسد.

پس از مشخص شدن کشاورزان، اقدام به جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز ماشین‌آلات و نهاده‌های مصرفی شامل بذر، کود، سوخت و سموم در سیب‌زمینی شد. پس از این مرحله داده‌ها توسط نرم‌افزار اکسل در سه بخش مصرف سوخت، انرژی سوخت مصرفی و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای بر مبنای معادل دی‌اکسیدکربن محاسبه گردید.

برای تعیین میزان انرژی ورودی ناشی از مصرف نهاده‌ها، مقادیر مصرف هر یک از نهاده‌ها در طی فصل رشد یادداشت‌برداری شد و بر اساس فرمول‌های مربوطه که در ذیل بدان اشاره می‌گردد، محاسبه گردید. انرژی ورودی کل از مجموع انرژی‌های نیروی کار، ماشین‌آلات، سوخت، کودهای شیمیایی و دامی، سموم، بذر، کود

شیمیایی و آبیاری محاسبه شد. انرژی خروجی کل نیز از برآورد مجموع انرژی عملکرد دانه و کاه و کلش محاسبه شد. انرژی غیرمستقیم شامل انرژی مصرف شده در بذر، کود، سموم شیمیایی و ماشین‌آلات است، در حالی‌که انرژی مستقیم شامل نیروی کارگری و سوخت می‌باشد. همچنین انرژی تجدیدناپذیر از مجموع انرژی سوخت، مواد شیمیایی، کود شیمیایی و ماشین‌آلات و انرژی تجدیدپذیر از مجموع نیروی کار، بذر، کود دامی، محاسبه شد.

جدول ۱- زمان‌بندی عملیات کاشت، داشت و برداشت سیب‌زمینی در استان گلستان

Table 1- Timing farming operations of potato production in Golestan province

عملیات زراعی Farming operations	زمان Time
شخم (۳۰cm)	اواخر مهر
Ploughing (30 cm)	Late October
دیسک مرحله اول	اواسط آبان
First disking	Mid-November
دیسک مرحله دوم	اواسط آبان
Second disking	Mid-November
دیسک مرحله سوم	اواسط آبان
Third disking	Mid-November
اختلاط کود با خاک	اواسط آبان
Mixing fertilizer with soil	Mid-November
کاشت غده بذری	اواسط آبان
Tuber planting	Mid-November
نهرکن	اواخر اسفند
Furrower	Late March
کود سرک یک بار	اواسط اسفند
Topdressing	Late March
آبیاری مرحله اول	اواسط اسفند
First irrigation	Late March
آبیاری مرحله دوم	اواسط فروردین
Second irrigation	Mid-April
آبیاری مرحله سوم	اواخر فروردین
Third irrigation	Mid-April
آبیاری مرحله چهارم	اواسط اردیبهشت
Fourth irrigation	Mid-May
سرزنی	اواخر اردیبهشت
Topping	Late May
برداشت	اوایل خرداد
Harvest	Early June

برای برآورد مقدار مصرف سوخت ماشین‌آلات به تفکیک، عملیات زراعی مشخص شدند. از معادله (۲) بین میزان سوخت براساس مدت زمان کارکرد ماشین‌آلات بر حسب ساعت در هکتار (FH) و سوخت مورد نیاز یک ساعت کار تراکتور بر حسب لیتر در ساعت T میزان سوخت مصرفی FT تعیین شد (Soltani et al., 2013).

معادله (۲) $FT=T*FH$

برای برآورد مقدار مصرف انرژی در نهاده‌های مصرفی مثل کود، آفت‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها میزان انرژی هردگرم ماده مؤثره در ضرایب مربوطه و وزن مخصوص آنها ضرب گردید. سایر محاسبات انرژی مصرفی برای ورودی‌ها و خروجی‌های مورد استفاده در تولید و عملیات زراعی برای هر یک از روش‌ها با استفاده از ضرایب به‌دست آمده از منابع مختلف انجام شد.

انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر به پدیده‌ی تغییر اقلیم و گرم شدن جهانی شده است. مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی شامل دی‌اکسیدکربن (CO_2)، اکسید نیتروژن (N_2O) و متان (CH_4) می باشند که باعث گرم شدن جوّ زمین می‌شوند. پتانسیل گرمایش جهانی[1] (GWP) عبارت است از جمع گازهای گلخانه‌ای تولید شده که به صورت معادل CO_2 بیان می‌شود (IPCC، 1996). در این

1- Global warm potential

تحقیق برای محاسبه GWP، تولید گازهای CO_2، N_2O و CH_4 ناشی از مصرف انرژی در عملیات‌های مختلف از قبیل تولید کودهای نیتروژن، فسفر و تولید سموم شیمیایی، مصرف سوخت‌های فسیلی جهت انجام عملیات زراعی، تولید ماشین‌آلات زراعی، آبیاری و حمل و نقل در نظر گرفته شد.

با برآورد کل انرژی‌های ورودی و خروجی شاخص‌های ارزیابی انرژی شامل نسبت یا کارآیی انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و انرژی خالص با استفاده از معادلات ۲ تا ۵ محاسبه شد (Soltani et al., 2013; Soltani et al., 2009).

معادله (۳) $ER=EO/EI$

که در آن، ER: نسبت یا کارایی انرژی عددی است بدون واحد، EO: مجموع انرژی‌های خروجی از مزرعه (مگاژول در هکتار) و EI: مجموع انرژی‌های ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) می‌باشد.

معادله (۴) $SE=EI/GY$

که در آن، SE: انرژی ویژه (مگاژول بر کیلوگرم)، EI: مجموع انرژی‌های ورودی به مزرعه (مگاژول بر هکتار) و GY: عملکرد (تن در هکتار) می‌باشد.

معادله (۵) $EP=GY/EI$

که در آن، EP: بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول)، GY: عملکرد دانه (تن در هکتار) و EI: مجموع انرژی‌های ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) می‌باشد.

معادله (۶) $NEY=EO-EI$

که در آن، NEY: عملکرد انرژی خالص (مگاژول در هکتار)، EO: مجموع انرژی‌های خروجی از مزرعه (مگاژول در هکتار) و EI: مجموع انرژی‌های ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) می‌باشد.

برای محاسبه پتانسیل گرمایش جهانی در مرحله اول از نتایج محاسبه انرژی در قسمت قبل برای سیب‌زمینی در هر یک از عملیات زراعی انجام شده استفاده شد. سپس با به‌کارگیری ضرایب تولید گازهای CO_2، N_2O و CH_4 به ترتیب معادل ۱، ۳۱۰ و ۲۱ کیلوگرم CO_2، کل گازهای گلخانه‌ای به صورت معادل CO_2 محاسبه شدند (Soltani et al., 2009). ضرایب انتشار هر یک از گازهای گلخانه‌ای به ازای هر نهاده مصرفی در جدول ۲ ارایه شده است.

جدول ۲- میزان انتشار هر یک گازهای گلخانه‌ای (گرم) برای برخی نهاده‌ها در تولید سیب‌زمینی در استان گلستان

Table 2- GHG emissions coefficients for potato production in Golestan province, Iran

ورودی‌ها Inputs	واحد Unit	C_2O	N_2O	CH_4	منبع Reference
N	کیلوگرم kg	3100	0.03	3.7	اشنایدر و همکاران (Snyder et al., 2009)
P	کیلوگرم kg	1000	0.02	1.8	اشنایدر و همکاران (Snyder et al., 2009)
K	کیلوگرم kg	700	0.01	1	اشنایدر و همکاران (Snyder et al., 2009)
سوخت فسیلی Fossil fuel	لیتر L	3560	0.70	5.20	کرامر و همکاران (Kramer et al., 1999)
الکتریسیته Electricity	کیلووات ساعت kWh	61.20	8.82	0.02	تزیلیواکیس و همکاران (Tzilivakis et al., 2005)

از حاصل تقسیم مقدار پتانسیل گرمایش جهانی بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بر میزان عملکرد غده بر حسب تن در هکتار پتانسیل گرمایش جهانی برای تولید هر تن غده یا به عبارتی معدل وزنی به‌دست می‌آید. به همین ترتیب از تقسیم مقدار پتانسیل گرمایش جهانی بر حسب کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بر مقدار انرژی ورودی و همچنین تقسیم مقدار پتانسیل گرمایش جهانی بر انرژی خروجی برحسب گیگاژول، معادل گرمایش جهانی بر حسب کیلو گرم CO_2 برحسب گیگاژول انرژی مصرفی و انرژی تولید شده محاسبه گردید.

معادل‌های انرژی برای ورودی‌ها و خروجی‌های مورد استفاده در مزارع سیب‌زمینی (جدول ۳)، مقادیر ورودی‌های مختلف جهت تولید محصول در یک هکتار سیب‌زمینی (جدول ۴) و مقادیر انرژی ورودی (مگاژول در هکتار) به تفکیک گروه زراعی در مزارع سیب‌زمینی (جدول ۵) ارائه شده است.

جدول ۳- معادل‌های انرژی برای ورودی‌های مورد استفاده و خروجی‌های به دست آمده در تولید گندم

Table 3- Energy content for used inputs and obtained outputs in wheat production

نهاده‌ها Inputs	واحد Unit	انرژی Energy (MJ.unit^{-1})	منبع Reference
نیروی انسانی Human labor	h	1.96	ازکان و همکاران؛ تورهان و همکاران (Ozkan et al., 2004; Turhan et al., 2008)
نیروی انسانی برای قطعه کردن سیب‌زمینی Human labor for potato cutting	h	0.20	کیتانی (Kitani, 1998)
غده سیب‌زمینی Potato tuber	kg	3.60	خوشنویسان و همکاران (Khoshnevisan et al., 2014)
ماشین آلات Machinery	h	62.70	کارگاشر و کوکتولگا (Karkacıer & Goktolga, 2005)
کودهای نیتروژن‌دار N fertilizers	kg N	60.60	اکسوز و همکاران؛ ازکان و همکاران (Akcaoz et al., 2009; Ozkan et al., 2004)
کودهای فسفره P fertilizers	kg P_2O_5	13.971	کاظمی و همکارن (Kazemi et al., 2018)
کودهای حاوی پتاسیم K fertilizers	kg K_2O	7.947	کاظمی و همکاران (Kazemi et al., 2018)
سوخت فسیلی Diesel	L	38.00	موسسه بین‌المللی مطالعات انرژی (IIES, 2007)
الکتریسیته Electricity	kWh ha^{-1}	13.46	عالیمقام و همکاران (Alimagham et al., 2017)
آب	m^3	1.02	زاهدی و عشقی‌زاده (Zahedi & Eshghizadeh, 2014)
علف‌کش Herbicide	kg active ingredient	278.00	راتکه و داینپروک (Rathke & Diepenbrock, 2006)
قارچ‌کش Fungicide	kg active ingredient	99.00	استراپاتسا (Strapatsa, 2006)
خروجی‌ها Output			
غده سیب‌زمینی Tuber yield	kg	3.60	خوشنویسان و همکاران (Khoshnevisan et al., 2014)

نتایج و بحث

مقادیر انرژی ورودی سیستم زراعی برحسب مگاژول در هکتار در جداول ۵ و ۶ ارائه شده است.

از میان ورودی‌های مختلف، غده بذری با میانگین انرژی ورودی ۳۷۴۱ مگاژول در هکتار (۳۴/۱۷ درصد) بیشترین سهم را به خود اختصاص داد. میزان غده بذری مصرفی نیز به نوع و نحوه‌ی استفاده از ماشین‌های کاشت بستگی دارد. عواملی مانند خاک‌ورزی و آماده‌سازی مناسب زمین جهت کشت و نیز استفاده از ماشین‌های کارآمد کاشت می‌تواند در میزان غده مصرفی مؤثر باشد. همچنین جهت کاهش میزان انرژی ورودی ناشی از غده بذری انجام تحقیقات و برنامه‌ریزی کشت مینی‌تیوبر در مزارع استان گلستان ضروری است. با استفاده از کشت مینی‌تیوبر علاوه بر کاهش میزان انرژی ورودی در مزارع می‌توان مزارع عاری از آلودگی‌های ویروسی و قارچی ایجاد نمود که این عامل (کاهش آلودگی‌های ویروسی و قارچی) نیز با کمتر شدن مصرف سموم و تعداد دفعات سمپاشی در کاهش میزان انرژی ورودی به مزارع تأثیرگذار است.

بیشترین انرژی ورودی مستقیم در مزارع سیب‌زمینی مربوط به سوخت فسیلی است (جدول ۶). سهم بالای سوخت در انرژی ورودی این مزارع می‌تواند به دلیل استفاده از ادوات و ماشین‌آلات فرسوده و با بهره‌وری کم باشد و نیز علاوه بر آن استفاده مکرر و جداگانه از ماشین‌آلات جهت هر عملیات زراعی به خصوص آماده‌سازی زمین و کشت نیز باعث افزایش میزان سوخت مصرفی شود.

جدول ٤- مقدار نهاده‌های مصرف شده در تولید سیب‌زمینی در استان گلستان

Table 4- The amount of consumed inputs for potato production in Golestan province

نهاده Inputs	واحد Unit	میزان اشتباه استاندارد Error bar
سوخت Fuel	لیتر در هکتار (ha^{-1}.)	90.98±0.07
الکتریسیته Electricity	کیلو وات ساعت در هکتار kWh ha^{-1}	170.1±0.33
غده Tuber	کیلوگرم در هکتار $Kg.ha^{-1}$	3600±1.11
نیتروژن Nitrogen	کیلوگرم در هکتار $Kg.ha^{-1}$	138±0.30
فسفر Phosphorus	کیلوگرم در هکتار $Kg.ha^{-1}$	161±3.04
پتاسیم Potassium	کیلوگرم در هکتار $Kg.ha^{-1}$	50±1.54
آفت‌کش Pesticide	گرم ماده موثره در هکتار($g\ a.i\ ha^{-1}$) g active ingredient ha^{-1}	1.49±0.05
آب آبیاری irrigation for water	مترمکعب در هکتار $m^3.ha^{-1}$	4800±7.22
عملیات زراعی Farming operations		
شخم Ploughing	نوبت Time	1
دیسک Disking	نوبت Time	3
پخش کود Fertilizer distribution	نوبت Time	2
کاشت با خطی‌کار Planting	نوبت Time	1
فاروئر Furrower	نوبت Time	1
نهرکن Ditcher	نوبت Time	1
سم‌پاشی Sprayer	نوبت Time	2
برداشت Harvest	نوبت Time	1
حمل و نقل ادوات زراعی Transportation	تن کیلومتر $Tone.km^{-1}$	160.4

به طور کلی مقادیر، انواع و درصد انرژی سوخت مصرف شده در عملیات مختلف کشاورزی در گیاهان زراعی و کشورهای مختلف متفاوت است. این موضوع به علت شرایط اقلیمی، بوم شناختی و زراعی متفاوت این کشورهاست. استفاده زیاد سوخت‌های فسیلی در کشاورزی از حدود ۷۰ سال پیش شروع شده و همچنان ادامه دارد. ضرورت پیدا کردن مواد سوختنی دیگری به جای سوخت‌های فسیلی حتی برای کشورهای صادر کننده هم وجود دارد (Koocheki & Hosseini, 1999). این موضوع زمانی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند که حتی در بعضی از کشورها سیاست‌های تأثیرگذار بر بخش کشاورزی، به طور مستقیم تحت تأثیر قیمت سوخت قرار می‌گیرند، به طوری که سایین و همکاران (Sayin et al., 2005) نیز به درستی این مطلب، در کشور ترکیه اذعان داشتند. در تحقیقی مشابه نیز توسط تیپی و همکاران (Tipi et al., 2009)، انرژی ورودی سوخت دیزل ۴۵/۱۵ درصد بیشترین سهم را از انرژی‌های ورودی به خود اختصاص داد.

جدول ۵- مقادیر مجموع انرژی سوخت، ماشین آلات و کارگری (مگاژول در هکتار) به تفکیک گروه زراعی در مزارع سیب‌زمینی در استان گلستان

Table 5- Input energy in terms of farming operations for potato production in Golestan province

عملیات Operation	انرژی ورودی Input energy	درصد از کل Percent from total
شخم plough	897.07±0.99	13.17
دیسک disking	710.11±1.98	10.42
کوددهی Fertilizing	163.32±1.65	2.40
کاشت (قطعه کردن بذر) Planting (tuber cutting)	9.6±0.76	0.14
کاشت (ردیف‌کار) Planting (row drill)	684.67±0.02	10.05
خاک دهی و وجین و سله شکنی Weeding and crusting	399.17±1.58	5.86
حفاظت گیاهی Crop protection	976±0.66	14.33
سرزنی Topping	510.9±0.93	7.50
سیب‌زمینی کن tuber harvester	1050.11±0.39	15.42
جمع‌آوری محصول توسط کارگر Crop harvesting by labor	1411.2±0.04	20.72
کل Total	6812.15±0.04	100

اصولاً پیروی از نظام‌های کشاورزی پایدار و رعایت اصول کم خاک‌ورزی از جمله شخم کاهش یافته، می‌تواند از راه‌کارهای کاهش مصرف بالای سوخت در کشاورزی باشد. گزارش شده که کاهش عملیات خاک ورزی تا ۵۵ درصد مصرف سوخت را بدون کاهش عملکرد کاهش می‌دهد (Bonari et al., 1995). از طرفی دیگر نوع ادوات و ماشین‌آلات نیز از نظر مصرف سوخت متفاوت هستند. تراکتورهای جاندیر ۳۱۴۰ و رومانی ۶۵۰ بیشترین مصرف سوخت و انرژی را در مقایسه با سایر تراکتورها در هنگام انجام عملیات زراعی دارند (Ghahderijani et al., 2009). عمده تراکتورها در استان گلستان نیز از همین گروه هستند که باید نسبت به بهسازی و ارتقاء سطح کیفی این ادوات برنامه‌ریزی و تلاش جدی صورت گیرد.

همچنین بیشترین انرژی ورودی غیرمستقیم نیز مربوط به غده بذری و کود نیتروژن می‌باشد. یک عامل اصلی در افزایش مصرف انرژی در اغلب مزارع مربوط به مصرف کودهای شیمیایی است. بیشتر این افزایش در کشورهای پیشرفته صورت گرفته است. در بسیاری از گزارش‌ها بیشترین انرژی ورودی به مزارع مربوط به کودهای شیمیایی از جمله کود نیتروژن اعلام شده است. استفاده از الگوی کشت بهینه و تناوب زراعی مناسب، استفاده از ریزجانداران آزادکننده عناصر غذایی، کود دامی، کود سبز و کودهای آلی می‌تواند به کاهش وابستگی بوم نظام‌های کشاورزی به نهاده‌های شیمیایی کمک کند. کشت یک گیاه تثبیت‌کننده نیتروژن درتناوب با مزارع سیب‌زمینی می‌تواند نیاز این محصول به نیتروژن ورودی را کاهش دهد. انجام آزمایش‌های کامل تجزیه خاک در مزارع، می‌تواند قدم مؤثری در تعیین وضعیت حاصلخیزی خاک از نظر مواد غذایی باشد. از طرفی کارایی استفاده از کودهای شیمیایی همبستگی بسیار بالایی با نحوه مصرف آن دارد تا اینکه به میزان مصرف آن بستگی داشته باشد. به طوری که با کاهش مصرف کودهای شیمیایی می‌توان از کاهش عملکرد محصول نکاست (Manos et al, 2007). مک‌لاگین و همکاران (Mc Laughlin et al., 1997) گزارش کردند که کودهای دامی جانشین بسیار مناسبی برای کودهای شیمیایی می‌باشند. ضمن اینکه محتوی انرژی کودهای دامی می‌تواند تا ۳۴ درصد در مصرف انرژی برای تولید محصولات مختلف کاهش به همراه داشته باشد.

کل انرژی ورودی و خروجی در مزارع سیب‌زمینی در استان گلستان به ترتیب برابر ۳۷/۴ و ۷۹/۲ گیگاژول در هکتار به دست آمد (جدول ۷). در گزارشی نشان دادند که کل انرژی ورودی در مزارع سیب‌زمینی استان اردبیل به ترتیب ۸۱/۶ و ۱۰۲/۴ گیگاژول در هکتار به دست آمد (Mohammadi et al., 2008).

جدول ٦- انرژی ورودی مستقیم و غیرمستقیم در تولید سیب‌زمینی در استان گلستان

Table 6- Direct and indirect input energy for potato production in Golestan province

انرژی ورودی Input energy	میانگین Mean	درصد از کل Percent from total
مستقیم Direct		
سوخت فسیلی Fossil fuel	3457.6±0.08	9.26
الکتریسیته Electricity	2302±1.13	6.16
نیروی انسانی Human labor	1628.1±1.2	4.36
آب آبیاری Water for irrigation	4896±9.03	13.11
غیر مستقیم Indirect		
کود نیتروژن Nitrogen	8362.8±1.19	22.40
کود فسفر Phosphorus	2249±1.02	6.02
کود پتاسیم Potassium	397±0.04	1.06
غده بذری Tuber	12960±1.16	34.71
علف کش‌ها Herbicides	401.8±0.07	1.08
قارچ کش‌ها Fungicides	158.4±0.09	0.42
ماشین آلات Machinery	341.9±1.07	1.41
جمع کل Total	37154.6±2.34	100.00

همچنین میزان انرژی ورودی در مزارع سیب‌زمینی در دشت دهگلان در استان کردستان را در مزارع تجاری و سنتی به ترتیب برابر ۹۳/۳ و ۴/۴ گیگاژول در هکتار در هکتار و و انرژی خروجی در مزارع تجاری و سنتی را به ترتیب برابر ۱۲/۸ و ۶۲/۴ گیگاژول در هکتار برآورد شد (Panahei & Kafi, 2013). نوسان موجود در مقادیر گزراش شده، ناشی از تفاوت در عملیات زراعی و مدیریتی و همچنین میزان عملکرد غده در واحد سطح مناطق مورد بررسی می‌باشد. در این مطالعه بازده انرژی خالص در مزارع سیب‌زمینی ۴۱/۸ گیگاژول بر هکتار برآورد شد. همچنین مقدار انرژی ویژه نیز در مزارع سیب‌زمینی ۱/۷ به دست آمد (جدول ۷).

مقدار شاخص انرژی ویژه در مزارع دشت دهگلان در استان کردستان برای نظام‌های تجاری و سنتی به ترتیب ۲/۶ و ۲/۵ گزارش شد (Hossein Panahei & Kafi, 2013). انرژی ویژه عکس بهره‌وری انرژی است. انرژی ویژه از تقسیم انرژی ورودی به عملکرد گیاه به دست می‌آید .بنابراین، شاخص مناسبی برای مقایسه گیاهان مختلف زراعی با یکدیگر نخواهد بود، زیرا اختلاف عملکرد گیاهان مختلف زراعی در قالب کیلوگرم بسیار بالاست (Hossein Panahei & Kafi, 2013).

بهره‌وری انرژی نسبت به کارآیی مصرف انرژی پارامتر تقریباً مناسب‌تری برای مقایسه دو منطقه مختلف از نظر تولید یک گیاه می‌باشد. زیرا اختلاف در میزان کارآیی انرژی هم می‌تواند به دلیل تفاوت در انرژی ورودی و هم تفاوت در عملکرد باشد. شاخص بهره‌وری انرژی، نسبت عملکرد تولیدی برحسب کیلوگرم را به انرژی مصرفی محاسبه کرده و تفاوت دو منطقه را بهتر نشان می‌دهد میزان بهره‌وری انرژی برای گیاهان مختلف زراعی در منابع ۰/۰۶ و۰/۱۰ برای گندم، ۱ برای گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum*)، ۰/۰۶ برای کتان (*Linum usitatissimum*)، ۱/۵۳ برای چغندرقند گزارش شده است (Erdal et al., 2007). میانگین بهره‌وری انرژی مزارع سیب‌زمینی در استان گلستان ۰/۵۹ به دست آمد (جدول ۷). این در حالی بود که میزان این شاخص را در مزارع سیب‌زمینی در دشت دهگلان در استان کردستان برای مزارع سنتی و تجاری به ترتیب برابر ۰/۳۸ و ۰/۳۹ گزارش شد که نشان می‌دهد بهره‌وری انرژی در

شهرستان گرگان بالاتر از دشت دهگلان است (Hossein Panahei & Kafi, 2013).

نسبت انرژی خروجی به ورودی در مزارع سیب‌زمینی در استان گلستان ۲/۱۲ به دست آمد (جدول ۷) که نشان می‌دهد راندمان انرژی پایین می‌باشد. علت آن می‌تواند افزایش روز افزون انرژی ورودی به مزارع در قالب سوخت فسیلی و کودهای شیمیایی باشد. نسبت انرژی در زراعت سیب‌زمینی در دشت دهگلان در مزارع سنتی ۲/۵ (Hossein Panahei & Kafi, 2013)، گندم در ترکیه ۲/۸، (Canakci et al., 2005)، در مزارع گندم اردبیل ۱/۹۲ (Shahan et al., 2008) و در مزارع گندم آبی شهرستان ری ۲/۶۳ (Alipoor et al., 2014) گزارش شده است. بطور کلی نیاز به انرژی در عملیات زراعی در کشاورزی بستگی به درجه تغییر در بوم نظام‌های طبیعی دارد. باید توجه داشت که اصولاً طبیعت همیشه در جهت افزایش تولید ناخالص عمل می‌کند ولی انسان با دخالت در نظام‌های طبیعی سعی در افزایش تولید خالص دارد (Koocheki & Hosseini, 1999). در مجموع استفاده از ارقام پرمحصول، سامانه‌های کشت فشرده، افزایش مصرف کودها و سموم شیمیایی و سطح بالای مکانیزاسیون کشاورزی، سبب افزایش مصرف انرژی در کشاورزی مدرن شده است (Singh et al., 2004). برای افزایش کارایی مصرف انرژی دو راه‌کار کلی قابل تصور است، افزایش خروجی‌ها و کاهش منطقی نهاده‌ها، به طوری که دستیابی به عملکرد قابل قبول را مختل نسازد (Ahmadi & Aghaalikhani, 2012).

جدول ۷- شاخص‌های انرژی برای تولید سیب‌زمینی در استان گلستان

Table 7- Energy indices for potato production in Golestan province

شاخص‌ها Indices	واحد Unit	Mean±sd
انرژی ورودی Input energy		
انرژی مستقیم Direct energy	$MJ.ha^{-1}$	12283.7±0.54
انرژی غیرمستقیم Indirect energy	$MJ.ha^{-1}$	24872.2±0.47
انرژی ورودی کل Total input energy	$MJ.ha^{-1}$	37154.6±2.34
انرژی خروجی Output energy		
انرژی غده Tuber energy	$MJ.ha^{-1}$	79200±0.73
عملکرد غده Tuber yield	Kg	22000±0.08
انرژی خروجی Total output energy	$MJ.ha^{-1}$	79200±0.73
کارایی مصرف انرژی Energy use efficiency	-	2.13±0.01
انرژی ویژه Specific energy	$MJ.kg^{-1}$	1.70±0.01
بهره‌وری انرژی Energy productivity	$Kg.MJ^{-1}$	0.59±0.01
انرژی خالص Net energy	$MJ.ha^{-1}$	42045.3±1.74

انتشار گازهای گلخانه ای

میزان تولید گازهای گلخانه‌ای در زراعت سیب‌زمینی در استان گلستان معادل ۱۶۱۶/۲۲ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار ارزیابی شد که سهم هر یک از نهاده‌ها بر میزان کل انتشار گازهای گلخانه‌ای در جدول ۸، سهم هر یک از گازهای گلخانه‌ای به تفکیک در جدول ۹ و شاخص‌های GWP در جدول ۱۰ ارایه شده است.

همان‌طور که مشخص است، مصرف کودهای شیمیایی به ویژه کود نیتروژنه و مصرف الکتریسیته، بیش از نیمی از انتشار گازهای گلخانه-ای را بر عهده دارد. مصرف سوخت فسیلی، کاربرد ادوات و ماشین-آلات و همچنین مصرف سموم در رتبه‌های بعدی قرار دارند. البته شایان ذکر است که گرچه مصرف سموم از لحاظ تأثیر بر پتانسیل گرمایش جهانی، سهم کمتری را دارد، اما به دلیل ایجاد مسمومیت در

انسان، خاک و آب، توجه ویژه‌ای باید به این مسئله مبذول گردد. برخی از محققین گزارش نمودند که با به کارگیری روش‌های طبیعی در کنترل آفات و بیماری‌های گیاهی می‌توان مصرف سموم کشاورزی را تا حد قابل توجهی کاهش داد. این روش‌ها شامل: افزایش ژن‌های مقاومت گیاهان زراعی نسبت به آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، تقویت دشمنان طبیعی آن‌ها، به کارگیری تناوب صحیح زراعی، تلفیق خاک‌ورزی حفاظتی و کشت برخی از گیاهان علوفه‌ای و درختان در مزارع می‌باشند (Pimental & Pimental, 2008; Kitani, 1999; Safa et al., 2011). همچنین بر اساس نتایج گرچه جایگزین شدن الکتریسیته به جای سوخت فسیلی در آبیاری موجب کاهش مصرف انرژی در سطح مزارع می‌گردد و سهولت‌هایی را نیز در پی دارد، اما به دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای بالاتر، پیامدهای محیط زیستی بیشتری را در پی دارد.

جدول ۸- مقادیر GWP برحسب کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هکتار برای بخش‌های مختلف تولید سیب زمینی
Table 8- GWP (kg eq-CO2.ha-1) for potato production in Golestan province, Iran

ورودی‌ها Inputs	Mean±sd	درصد از کل Percent of total
نیتروژن Nitrogen	429.08±0.08	26.5
فسفر Phosphorous	161.99±0.09	10.02
پتاسیم Potassium	32.15±0.02	1.99
علف‌کش Herbicide	64.73±0.02	4.01
قارچ‌کش Fungicide	25.52±0.02	1.58
ماشین آلات Machinery	77.46±0.03	4.79
سوخت فسیلی Fossil fuel	349.79±0.03	21.64
الکتریسیته Electricity	475.50±0.07	29.42
مجموع نهاده‌ها Total inputs	1616.22±0.08	100

جدول ۹- مقادیر انتشار هر یک گازهای گلخانه‌ای برحسب کیلوگرم در هکتار برای برخی نهاده‌ها در تولید سیب‌زمینی در استان گلستان
Table 8- GHG emissions (kg.ha^{-1}) for potato production in Golestan province, Iran

ورودی‌ها Inputs	دی اکسید کربن C_2O	اکسید نیتروژن N_2O	متان CH_4
نیتروژن Nitrogen	427.8	1.28	0.0023
فسفر Phosphorous	161	1.00	0.0007
پتاسیم Potassium	35	0.155	0.0002
سوخت فسیلی Fossil fuel	320.4	19.53	9.82
الکتریسیته Electricity	10.41	465.08	0.0037

در دو تحقیق مشابه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید سیب‌زمینی در فریدون شهر از توابع استان اصفهان برابر با ۲۲۸۳ کیلوگرم در هکتار (Khoshnevisan et al., 2014) و در کل استان اصفهان ۲۳۵۰ کیلوگرم در هکتار (Pishgar-Komleh et al., 2012) محاسبه شد. یکی از دلایل افزایش مقادیر به دست آمده از دو تحقیق مذکور نسبت به مطالعه حاضر، تعداد دفعات بیشتر آبیاری و به دنبال آن مصرف بیشتر الکتریسیته بوده، به طوری‌که ۶۵ درصد از مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با مصرف الکتریسیته گزارش شده است (Khoshnevisan et al., 2014).

نتایج مطالعه جریان انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی در مزارع ذرت دانه‌ای در کشت بهاره در گرگان نشان داد که سهم کود نیتروژن در انتشار گازهای گلخانه‌ای ۲۸/۸ درصد بوده و نشان داده شد که کمترین میزان پتانسیل گرمایش جهانی در کشت بهاره ذرت و برابر با ۲۳۴۹ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بدست آمد (Feyzbakhsh, & Soltani, 2013).

انرژی ورودی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید چغندرقند در شمال ایرلند مورد ارزیابی قرار گرفت و میانگین پتانسیل گرمایش جهانی برابر با ۱/۲۵ تن معادل CO_2 در هکتار گزارش شد (Tzilivakis et al., 2005).

همچنین در تولید گندم و سویا در استان گلستان چنین نتیجه شد که با استفاده از کشنده‌هایی با توان اسب بخار بالا و ادواتی با عرض کار و عمق نفوذ بیشتر می‌توان در مصرف انرژی صرفه‌جویی نمود و به دنبال آن انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش داد (Rezvantalab et al., 2015).

جدول ۱۰- مقادیر پتانسیل گرمایش جهانی برای تولید سیب‌زمینی در استان گلستان

Table 9- GHG emissions for potato production in Golestan province

پتانسیل گرمایش جهانی GWP	واحد Unit	Mean±sd
بر واحد سطح per unit area	kg eq-CO_2.ha^{-1}	1616.22±0.08
بر واحد وزن per unit weight	kg eq-CO_2.kg^{-1}	0.07±0.00
بر واحد انرژی ورودی per unit energy input	kg eq-CO_2.MJ^{-1}	0.04±0.00
بر واحد انرژی خروجی per unit energy output	kg eq-CO_2.MJ^{-1}	0.02±0.00

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که بیشترین انرژی ورودی مربوط به غده بذری سیب‌زمینی بود. خاک‌ورزی و آماده‌سازی مناسب زمین جهت کشت و نیز استفاده از ماشین‌های کارآمد کاشت می‌تواند در کاهش میزان غده مصرفی مؤثر باشد. همچنین جهت کاهش میزان انرژی ورودی ناشی از غده بذری انجام تحقیقات و برنامه‌ریزی کشت مینی‌تیوبر در مزارع استان گلستان ضروری است.

همچنین بیشترین سهم انرژی ورودی در مزارع سیب‌زمینی مربوط به کود نیتروژن (غیرمستقیم) و سوخت مصرفی (مستقیم) است. چون میزان انرژی مصرفی در قسمت کود مصرفی نیتروژن در زراعت سیب‌زمینی زیاد است لزوم بررسی و تحقیق جهت کشت‌های تناوبی و در تناوب با سیب‌زمینی و همچنین استفاده از گیاهانی که قادر به تثبیت نیتروژن هستند آشکار می‌گردد. از طرفی به منظور کاهش مصرف سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای استفاده از تراکتورهایی با توان بالا جهت کاربرد از ادواتی با عرض کار و عمق نفوذ بیشتر مانند دیسک‌های افست و به دنبال آن کاهش زمان انجام عملیات و تعداد دفعات آن ضروری به نظر می‌رسد.

منابع

Abdollahpour, S.H., and Zaree, S. 2009. Evaluation of wheat energy balance under rain fed farming in Kermanshah. Sustainable Agriculture Science 20: 97-106. (In Persian with English Summary)

Ahmadi, M., and Aghaalikhani, M. 2012. Analysis of energy use in cotton cropping in Golestan province in order to represent a strategy for increase of resources productivity. Journal of Agroecology 4: 151-158. (In Persian with English Summary)

Akcaoz, H., Ozcatalbas, O., and Kizilay, H. 2009. Analysis of energy use for pomegranate production in Turkey. Journal of Food, Agriculture and Environment 7: 475-480.

Alimagham S.M., Soltani A., Zeinali E., and Kazemi, H. 2017. Energy flow analysis and estimation of greenhouse gases (GHG) emissions in different scenarios of soybean production (Case study: Gorgan region, Iran). Journal of Cleaner Production 149: 621-648.

Alimagham, S.M., Soltani A., and Zeinali, E. 2013. Fuel consumption, energy use and GHG emissions from field operations in soybean production. Electronic Journal of Crop Production 7: 1-23. (In Persian with English Summary)

Alipoor, A., Keshavarz-Afshar, R., Ghaleh Golab Behbahani A., Karimi Nejad M., and Mohammadi, V. 2014. Evaluation of energy flow in irrigated wheat agroecosystems. A case study: Shahr-e-Rey City. Journal of Agriculture Science and Sustainable Production 23: 59-69. (In Persian with English Summary)

Bonari, E., Mazzoncini, M., and Peruzzi, A. 1995. Effect of conservation and minimum tillage on winter oilseed rape in a sand soil. Soil and Tillage Research 33: 91-108.

Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I., and Ozmerzi, A. 2005. Energy use pattern of some field crops and vegetable production: case study for Antalya region, Turkey. Energy Conversion and Management 46: 655–666.

Darlington, D. 1997. What is efficient agriculture? Available at URL: *http:// www.veganorganic.net/agri.htm*.

Erdal, G., Esengun, K.H., Erdal, H., and Gunduz, O. 2007. Energy use and economic analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. Energy 32: 35–41.

Esengun, K., Erdal, G., Gunduz, O., and Erdal, H. 2007. An economic analysis and energy use in stake-tomato production in Tokat province of Turkey. Renewable Energy 32: 1873-81.

Feyzbakhsh, M.T., and Soltani, A. 2013. Energy flow and global warming potential of corn farm. Electronic Journal of Crop Production 6(2): 89-107. (In Persian with English Summary)

Ghahderijani, M., Keyhani, A.R., Tabatabaeefar, S.A., and Omid, N. 2009. Evaluation and determination of energy ratio for potato production in different level of cultivated area in the western Isfahan. Case study: Fereydoon-Shahr. Journal of Agriculture Sciences and Natural Resources 16: 183-193. (In Persian with English Summary)

Haj Seyed Hadi, M.R. 2006. Energy efficiency and ecological sustainability in conventional and integrated potato production. Advanced Technology in the Environmental Field 501-534. Available at: <www.actapress.com>.

Hatirli, S.A., Ozkan, B., and Fert, C. 2006. Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. Renewable Energy 31: 427-438.

Hossein Panahei, F., and Kafi, M. 2013. Evaluation of energy budget and its productivity in potato (*Solanum tuberosum* L.) production farms of Kurdistan Province, Case study: Dahgalahn plain. Journal of Agroecology 4: 159-169.

IIES, Institute for International Energy Studies. 2007. Iran Hydrocarbons Energy Balance, Ministry of oil and gas.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1996. Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Cambridge University Press, UK.

Kaltsas, A.M., Mamolos, A, P., Tsatsasarelis, C.A., Nanos, G.D., and Kalburtji, K.L. 2007. Energy budget in organic and conventional olive groves. Agriculture, Ecosystems and Environment 122: 243-251.

Karkacıer, O., and Goktolga, Z. 2005. Input-output analysis of energy use in agriculture. Energy Conversion and Management 46(9-10): 1513-1521.

Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Mousazadeh, H., and Rajaeifar, M.A. 2014. Application of artificial neural networks for prediction of output energy and GHG emissions in potato production in Iran. Agricultural Systems 123: 120-127.

Kitani, O. 1998. CIGR, Handbook of agricultural engineering volume 5, Energy & Biomass Engineering. ASAE publication.

Koga, N. 2008. An energy balance under a conventional crop rotation system in northern Japan: Perspectives on fuel ethanol production from sugerbeet. Agriculture, Ecosystems and Environment 125: 101-11.

Koochecki, A., and Hosseini, M. 1999. Energy Productivity in Agricultural Ecosystems. Mashhad University Press. 317 pp.

Kramer, K.J., Moll, H.C., and Nonhebel, S. 1999. Total greenhouse gas emissions related to the Dutch crop production system. Agriculture, Ecosystem and Environment 72: 9-16.

Manos, B., Begum, M.A., Kamruzzaman, M., Nakou, I., and Papathanasiou, J. 2007. Fertilizer price policy, the environment and farms behavior. Journal of Policy Modelling 29: 87-97.

Mc Laughlin, N.B., Grant, B.A., King, D.J., and Wall, G.J. 1997. Energy inputs for a combined tillage and liquid manure injection system. Can. Agr. Eng. 39: 289-295.

Mohammadi, A., Tabatabaeefar, A., Shahin, Sh., Rafiee, Sh., and Keyhani, A. 2008. Energy use and economic analysis of potato production in Iran a case study: Ardabile province. Energy Conversion and Management 49: 3566-3570.

Nasiri Mahallati, M., Koocheki, A., Kamali, G., and Marashi, H. 2006. Investigating the climate change effects on agricultural climate indicators, Iran. Journal of Agriculture Sciences and Technology 20: 71-82. (In Persian with English Summary)

Ozkan, B., Akcaoz, H., and Fert, C. 2004. Energy input–output analysis in Turkish Agriculture. Renewable Energy 29: 39–51.

Pimental, D., and Pimental, M.H. 2008. Food, Energy and Society. Taylor & Francis. 266 Pp.

Pishgar-Komleh, S.H., Ghahderijani, M., and Sefeedpari, P. Energy consumption and CO_2 emissions analysis of potato production based on different farm size levels in Iran. Journal of Cleaner Production 33: 183-191.

Rajabi Hamedani, S., Shabani, Z., and Rafiee, S. 2011. Energy inputs and crop yield relationship in potato production in Hamadan province of Iran. Energy 36: 2367-2371.

Rathke, G.W., and Diepenbrock, W. 2006. Energy balance of winter oil seed rape cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. European Journal of Agronomy 24: 35- 44.

Rezvantalab, N., Soltani, A., Zeinali, E., and Daylam Salehi, R. 2015. Evaluation of Fuel and Energy Use and Greenhouse Gases Emissions in Wheat and Soybean Production in Golestan Province. PhD thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan, Iran. (In Persian with English Summary)

Safa, M., Samarasinghe, S., and Mohsen, M. 2011. A field study of energy consumption in wheat production in Canterbury, New Zealand. Energy Conversation Management 52: 2526-2532.

Sayin, C., Mencet, M.N., and Ozkan, B. 2005. Assessing of energy policies based on Turkish agriculture: current status and some implications. Energy Policy 33: 2361-2373.

Shahan, S., Jafari, A., Mobli, H., Rafiee, S., and Karimi, M. 2008. Energy use and economic analysis of production in Iran: A case study from Ardabial province. Journal of Agricultural Technology 4: 77-88.

Singh G., Singh S., Singh J. 2004. Optimization of energy inputs for wheat crop in Punjab. Energy Conversation Management 45: 453-465.

Singh, J. 2002. On farm energy use pattern in different cropping systems in Haryana, India. In: International Institute of Management, University of Flensburg, Sustainable Energy System and Management, Master of Science, Germany.

Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L., and Fixen, P.E. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. Agriculture, Ecosystem and Environment 133: 247-266.

Soltani, A., Rajabi, M.H., Zeinali, E., and Soltani, E. 2009. Evaluation of environmental impact of crop production using LCA: wheat in Gorgan. Electronic Journal of Crop Production, 3: 201-218. (In Persian with English Summary)

Soltani, A., Rajabi, M.H., Zeinali, E., and Soltani, E. 2013. Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan, Iran. Energy 50: 54-61.

Soltani, A. Maleki, M.H.M., and Zeinali, E. 2014. Optimal crop management can reduce energy use and greenhouse gases emissions in rainfed canola production. International Journal of Plant Production 8: 587-604.

Strapatsa, A.V., Nanos, G.D., and Tsatsarelis, C.A. 2006. Energy flow for integrated apple production in Greece. Agriculture, Ecosystems and Environment 116: 176-180.

Tabatabaeefar, A., Emamzadeh, H., Ghasemi Varnamkhasti, M., Rahimizadeh, R., and Karimi, M. 2009. Comparison of energy of tillage systems in wheat production. Energy 34: 41-45. (In Persian with English Summery)

Tipi, T., Cetin, B., and Vardar, A. 2009. An analysis of energy use and input costs for wheat production in Turkey. Journal of Agricultural and Environmental 7: 352-356.

Turhan, S., Cananozbag, B., and Rehber, E. 2008. A comparison of energy use in organic and conventional tomato production. Journal of Food, Agriculture & Environment 6: 318-321.

Tzilivakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A., and Jaggard, K. 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet *Beta vulgaris* production in the UK. Agricultural Systems 85: 101-119.

Valadiani, A., Hasanzadeh-Ghourtapeh, A., and Valadiani, R. 2005. Study of energy balance in dryland wheat seed cultivars in seed reproduction fields and its effect on the environment in East Azerbaijan province. Agriculture Sciences Journal 15: 1-12. (In Persian with English Summary)

Zahedi, M., and Eshghizadeh, H.R. 2014. Energy use efficiency and economic analysis in cotton production system in an arid region: a case study for Isfahan province, Iran. International Journal of Energy Economics and Policy 4(1): 43-52.

Zangeneh, M., Omid, M., and Akram, A. 2010. A comparative study on energy use and cost analysis of potato production under different farming technologies in Hamadan province of Iran. Energy 35: 2927-2933.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 53-68

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۶۸-۵۳

Evaluation of Energy Indices and its Impact on Global Warming Potential for Potato Production: A Case Study, Golestan Province

M.T.Feiz Bakhsh[1]*, M.A. Dori[2] and N. Rezvan Talab[3]

Submitted: 02-07-2018
Accepted: 19-02-2019

Feiz Bakhsh, M.T., Dori, M.A., and Rezvan Talab, N. 2019. Evaluation of energy indices and its impact on global warming potential for potato production: a case study, Golestan province. Journal of Agroecology. 11(1): 53-68.

Introduction

Nowadays, the agricultural sector is largely dependent on energy consumption due to response to increasing food requirements for the growing population of the earth and providing adequate and appropriate foods. Recently evaluation of input, output and global warming potential (GWP) have been applied in sciences of agriculture. Although, further crops production without considering the environmental issues and lack of evaluation the energy indices, do not seem logical. On the other hand, high price and limitation of energy resources used in the agricultural products is also other important reasons for energy analysis in agricultural ecosystems. Energy shortage and importance of agriculture in feeding the world oriented many studies to evaluating the quantities of fuel and energy in different products and different sites. Different quantities of energy are consumed per each hectare of potato production based on different inputs such as fertilizers, fossil fuels, electricity, seeds, pesticides and machinery that will lead to greenhouse gases emission including CO_2, N_2O and CH_4. Increasing the concentration of such gases in the atmosphere can cause global warming. So serious attention to reducing energy consumption and greenhouse gas emissions seems to be necessary. For this purpose, fuel and energy consumption and greenhouse gas emissions were investigated in all potato fields in Golestan province. Finally, some strategies were presented for their consumption reduction.

Materials and Methods

In order to determine the fuel and energy consumption and greenhouse gas emissions and how to reduce it, 95 potato fields in Golestan province were investigated through systematic random sampling. The amount of inputs, including fossil fuels was recorded and energy analysis was done based on the consumed inputs. Also, the greenhouse gases emission of carbon dioxide, nitrous oxide and methane derived from energy consumption for agricultural inputs and agronomic operations was calculated. Finally, energy efficiency, energy productivity, specific energy, net energy and total GWP, GWP in area unit, product weights, input energy and output energy were also calculated.

Results and Discussion

Results showed that total input and output energy were 30.8 and 79.2 GJ per hectare, respectively. In a study, the total input energy in potato fields in Ardabil province was 81.6 and 102.4 $GJ.ha^{-1}$, respectively (Mohammadi et al., 2008). Also the most direct input energy from fuel in potato farms was 14.1 percent and the highest indirect input energy was 27 percent that related to fertilizers. The ratio of output to input energy, energy

1- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran.
2- Assistant Professor, Forests and Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran.
3- PhD student, Deptartment of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
(*- Corresponding Author Email: Feyz_54@yahoo.com)
DOI:10.22067/jag.v11i1.73855

productivity and specific energy in potato farms were calculated 2.5, 0.71 and 1.4, respectively. Energy productivity in potato fields in Kurdistan province for commercial and traditional fields were calculated 0.38 and 0.39 respectively, which shows that energy productivity in Golestan province is higher than Kurdistan province.

The GWP observed in potato farms was 1350.2 eq. kg $CO_2.ha^{-1}$. For potato farms the highest GWP was related to nitrogen fertilizer and fuel consumption. Results indicated that consumption of fuel and fertilizers constitute the high percent of energy consumption and greenhouse gas emissions.

Conclusions

Based on this study results, the use of devices that reduce fuel consumption is recommended, also need for research on crop rotation and nitrogen fixation plants in rotation were revealed. The use of Rhizobia bacteria and biological nitrogen fixation in rotation and organic fertilizers can be effective in reducing the use of nitrogen fertilizers and consequently, energy consumption and GHG emission. On the other hand, it can be said that increasing the yield along with reducing inputs consumption, especially fossil fuels and nitrogen fertilizer, can be effective in increasing energy efficiency.

Keywords: Energy productivity, Energy use efficiency, Field operations, Fossil fuel.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۸۵-۶۹

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 69-85

ارزیابی عملکرد کمی و کیفی نخود (*Cicer arietinum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) در کشت مخلوط تحت تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی در شرایط آبیاری تکمیلی

اسماعیل رضائی چیانه[1*]، یحیی رسولی[2]، جلال جلیلیان[3] و مسعود قدسی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۱۷

رضائی چیانه، ا.، رسولی، ی.، جلیلیان، ج.، و قدسی، م. ۱۳۹۸. ارزیابی عملکرد کمی و کیفی نخود (*Cicer arietinum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) در کشت مخلوط تحت تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی در شرایط آبیاری تکمیلی. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱(۱):۸۵-۶۹.

چکیده

این آزمایش به‌منظور بررسی مقایسه الگوهای مختلف کشت مخلوط ردیفی نخود (*Cicer arietinum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) تحت تأثیر کودهای زیستی و شیمیایی، به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۲۴ تیمار در مزرعه‌ای واقع در آذربایجان غربی- شهرستان نقده در سال زراعی ۱۳۹۳- ۱۳۹۲ به اجرا در آمد. عامل اول شش نوع الگوی کاشت شامل کشت خالص نخود، کشت خالص جو، کشت مخلوط ۱ ردیف جو+ ۱ ردیف نخود، ۲ ردیف جو+ ۲ ردیف نخود، ۴ردیف جو+ ۲ردیف نخود و ۲ ردیف جو+ ۴ ردیف نخود و عامل دوم چهار سطح کود شامل عدم کاربرد کود (شاهد)، ۱۰۰٪ کود شیمیایی (NP) ،کود زیستی (*ازتو بارور* ۱+ فسفاته بارور ۲) و ۵۰٪ کود شیمیایی+ کود زیستی بود. نتایج در مورد گیاه نخود نشان داد که بیشترین عمکرد دانه از کشت خالص با ۲۲۰/۷۵ گرم در متر مربع و کمترین عملکرد دانه با ۷۸/۹۱ گرم در متر مربع مربوط به الگوی کشت یک ردیف جو+ یک ردیف نخود بود. بین تیمارهای کودی مورد استفاده بیشترین عملکرد دانه و بیولوژیک نخود از تیمار تلفیقی کود شیمیایی+ کود زیستی و کمترین عملکرد از عدم مصرف کود به‌دست آمد. نتایج نشان داد که بیشترین عمکرد دانه جو (۴۱۴/۱۲ گرم در متر مربع) از کشت خالص و کمترین عملکرد دانه (۲۰۶/۶۶ گرم در متر مربع) مربوط به الگوی کشت یک ردیف جو+ یک ردیف نخود بود. در بررسی تیمارهای کودی بیشترین و کمترین عملکرد دانه و بیولوژیک به ترتیب از تیمار تلفیقی کود شیمیایی+ کود زیستی و شاهد به‌دست آمد. کشت مخلوط ۲ ردیف جو+ ۲ ردیف نخود در شرایط کاربرد کود شیمیایی بیشترین (۱/۳۴) میزان نسبت برابری زمین کل را در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط به خود اختصاص داد که معادل ۳۴ درصد افزایش در بهره‌وری استفاده از زمین نسبت به کشت خالص دو گونه بود با توجه به اهداف کشاورزی پایدار با هدف حذف یا کاهش قابل ملاحظه مصرف نهاده‌های شیمیایی، تیمار عدم کاربرد کود و کود دهی تلفیقی برای نسبت ۲ ردیف جو+ ۲ ردیف نخود مناسب و قابل توجیه است.

واژه‌های کلیدی: *ازتوباکتر*، الگوی کاشت، *سودوموناس*، کشاورزی پایدار، نسبت برابری زمین

مقدمه

کشاورزان در کشاورزی رایج به‌منظور افزایش تولید در واحد سطح، به‌مصرف کودهای شیمیایی روی آورده‌اند، ولی مصرف کودهای شیمیایی در طولانی‌مدت ویژگی‌های فیزیکی وشیمیایی خاک‌ها را تحت تأثیر قرار داده و با کاهش نفوذپذیری خاک، گسترش ریشه گیاهان را دچار مشکل ساخته و در نهایت منجر به کاهش عملکرد خواهد شد. از طرفی، این موضوع باعث کاهش کیفیت تولیدات کشاورزی و مشکلات زیست محیطی، آلودگی منابع خاک و آب و کاهش حاصلخیزی خاک نیز می‌شود (Tohidinia et al., 2014). بنابراین، یکی از راهکارهای رفع این مشکل، اعمال راهکارهایی مبتنی بر استفاده از اصول دراز مدت کشاورزی اکولوژیک در بوم نظام‌های زراعی می‌باشد. به این منظور تلاش‌های گسترده‌ای با هدف یافتن راهکارهای مناسب برای بهبود کیفیت خاک، محصولات کشاورزی و حذف آلاینده‌ها آغاز شده است. کاهش این مخاطرات زیست محیطی همگام با افزایش عملکرد گیاهان زراعی نیازمند به کارگیری تکنیک‌های نوین زراعی است. از جمله این

۱، ۲ و ۳- به ترتیب استادیار، دانشجوی دکتری و دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
۴- دانشیار بخش تحقیقات زراعی و باغی مرکز تحقیقات خراسان رضوی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: e.rezaeichiyaneh@urmia.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v11i1.71201

تکنیک‌ها استفاده از کودهای زیستی است (Inanloofar et al., 2013). کودهای زیستی نه تنها از مزایای اقتصادی و زیست محیطی فراوانی برخوردارند، بلکه علاوه بر تـأمین نیازهـای فعلـی گیـاه، پایـداری نظـام‌هـای کشاورزی در درازمدت را نیز به دنبال دارد. بنابراین، برای دستیابی به توسعه پایدار در کشاورزی و تحقق اهداف و سیاست‌های پیش‌بینی شده در این راستا، استفاده از راهکاری مناسب برای تأمین نیازهای غذایی گیاه به کمک موجودات زنده ساکن خاک ضروری خواهد بود که استفاده از کودهای زیستی می‌تواند راهکار مؤثری برای این کار باشد.

کودهای زیستی (بیولوژیک) شامل مواد نگه‌دارنده با تراکم زیاد از یک یا چند نوع میکروارگانیسم مفید خاکزی و یا به صورت فرآورده متابولیت این موجودات می‌باشند که در ناحیه اطراف ریشه یا بخش‌های داخلی گیاه تشکیل کلونی داده و رشد گیاه میزبان را با روش‌های مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهند (Sing & Kapoor, 1998). معمولاً این میکروارگانیسم‌ها از طریق تولید هورمون‌های رشد نظیر جیبرلین، سیتوکینین و اکسین، تسهیل در جذب آب و عناصر غذایی به‌ویژه فسفر، نیتروژن، پتاسیم و عناصر میکرو از خاک و کاهش یا جلوگیری از بیماری‌ها در گیاهان نقش چشمگیری دارند (Jahan & Nassiri Mahallati, 2012). چنین به‌نظر می‌رسد که با بهره‌گیری از کودهای زیستی در نظام‌های کشاورزی پایدار ضمن افزایش حاصلخیزی خاک و کاهش مصرف کودهای شیمیایی می‌توان افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان را نیز در این سیستم انتظار داشت.

کشت مخلوط عبارت از کشت دو یا چند محصول در یک قطعه زمین و در طول یک سال زراعی است (Hauggaard-Nielsen et al., 2009). کشت مخلوط به‌عنوان یکی از مهمترین سیستم‌های کشاورزی قابل اجرا در بسیاری از کشورهای در حال توسعه می‌تواند به‌جهت افزایش تنوع محصولات و افزایش سود حاصله در واحد سطح و زمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد. یکی از دلایل اصلی که کشاورزان در جهان کشت مخلوط را بر تک‌کشتی ترجیح می‌دهند این است که در اغلب موارد تولید بیشتری از کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص از همان مقدار زمین به‌دست می‌آید (Yang et al., 2014). افزایش تولید در کشت مخلوط را به کاهش رشد علف‌های هرز، کاهش خسارت آفات و بیماری‌ها، سرعت رشد بیشتر و استفاده بهتر از منابع در دسترس می‌توان نسبت داد (Yang et al., 2014). در زراعت مخلوط، وقتی دو گونه با خصوصیات رشدی متفاوت در کنار هم قرار می‌گیرند از منابع محیطی خود بهتر و بیشتر استفاده می‌نمایند و رقابت کمتری را با یکدیگر در یک آشیان اکولوژیک در جذب آب، مواد غذایی و نور با یکدیگر ایجاد می‌کنند که این موضوع باعث افزایش عملکرد کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی می‌شود (Yousef Nia et al., 2015; Borghi et al., 2013). در کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) با ماش (*Vigna radiata* L.) گزارش شده است که عملکرد بیولوژیک جو در کشت خالص بالاتر از نسبت‌های کشت مخلوط بود (Sengul, 2003). در کشت مخلوط نخود (*Cicer arietinum* L.) و همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) مشخص شد که بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک هر دو گونه از کشت خالص حاصل شد، اما بالاترین درصد پروتئین دانه نخود و درصد روغن همیشه بهار از کشت مخلوط ردیفی به‌دست آمد (Valizadegan, 2015). در کشت مخلوط جو و زنیان (*Trachyspermum ammi* L.) که تحت تأثیر کودهای دامی و شیمیایی صورت گرفت مشخص شد که اثر تیمارهای کودی و آرایش کشت بر عملکرد و اجزای عملکرد زنیان و جو معنی‌دار بود (Mahdavi Maraj et al., 2015). در تحقیق دیگری بر روی کشت مخلوط گندم (*Triticum aestivum* L.) و نخود مشخص شد که تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه نخود و تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه، درصد پروتئین و عملکرد پروتئین دانه گندم تحت تأثیر الگوهای کاشت قرار گرفتند (Javanmard et al., 2016).

بقولات از جمله گیاهانی محسوب می‌شوند که به‌دلیل قدرت تثبیت نیتروژن از جایگاه ویژه‌ای در کشت مخلوط برخوردارند و نخود زراعی گونه‌ای از بقولات است که در مناطق نیمه خشک کشت و کار وسیعی دارد (Majnoun Hosseini, 2008). جو گیاهی یک ساله از تیره گندمیان و یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی می‌باشد که دامنه انتشار و سازگاری اقلیمی وسیعی دارد. این گیاه معمولاً برای تولید دانه کشت می‌گردد و مصارف بسیار زیادی در تغذیه انسان و دام دارد (Hamzei & Seyedi, 2015).

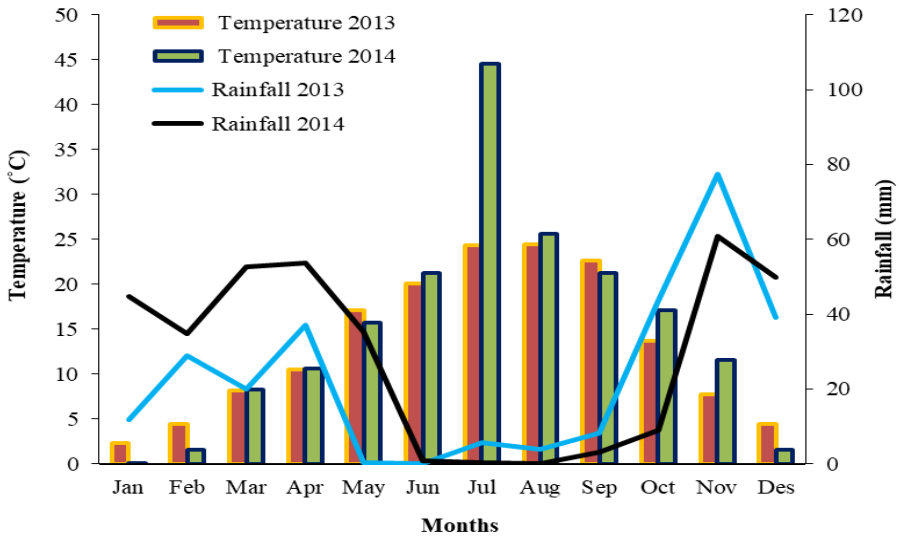
در این راستا، نظر به اهمیت کودهای زیستی، تحقیق حاضر با هدف کاهش مصرف کودهای شیمیایی در بهبود عملکرد محصولات زراعی و حفظ محیط زیست و افزایش عملکرد و کارایی استفاده از زمین از طریق استفاده بهینه از منابع در سیستم کشت مخلوط دو گونه جو و نخود در راستای اهداف کشاورزی پایدار در شرایط آب و هوایی نقده اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش درسال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه‌ای واقع در آذربایجان غربی- شهرستان نقده با طول جغرافیایی °۴۵ و ´۲۴ و عرض جغرافیایی °۳۶ و ´۵۷ و ارتفاع ۱۳۲۸ متر از سطح دریا و با متوسط دما و بارندگی سالیانه در طی یک دوره ده ساله به ترتیب برابر ۱۲/۴۰ درجه سانتی‌گراد و ۳۲۳ میلی‌متر به اجرا در آمد (شکل ۱).

قبل از کاشت، از محل اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونهٔ خاک تهیه و سپس تیمارهای کودی بر اساس نقشه طرح، در کرت‌های مورد نظر اعمال و با خاک مخلوط گردید.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱- میانگین بارندگی و درجه حرارت شهرستان نقده در سال ۹۳-۱۳۹۲
Fig. 1- Average rainfall and temperature of Nagadeh city in 2013-2014

جدول ۱ -خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک
Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil

بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی $EC\times10^3$ ($dS.m^{-1}$)	نیتروژن کل T. N (%)	درصد موادآلی O.C (%)	فسفر قابل جذب P available ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب K available ($mg.kg^{-1}$)
رس سیلتی Silty clay	7.8	0.87	0.16	1.18	12.44	398

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ۲۴ تیمار اجرا شد. عامل اول شامل شش نوع سیستم کاشت (فاکتور A) و سه نوع تیمار کودی (فاکتورB) در این آزمایش به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفت: A_1: کشت خالص نخود، A_2: کشت خالص جو، A_3: کشت مخلوط ۱ ردیف جو+ ۱ ردیف نخود، A_4: ۲ ردیف جو+ ۲ ردیف نخود، A_5 : ۴ردیف جو+ ۲ردیف نخود، A_6: ۲ ردیف جو+ ۴ ردیف نخود و عامل دوم شامل چهار سطح کود: B_1: عدم کاربرد کود (شاهد)، B_2: ۱۰۰٪ کود شیمیایی (NP)، B_3: کود زیستی (فسفاته بارور ۲ + ازتوبارور ۱) و B_4: ۵۰٪ کود شیمیایی+ کود زیستی بود.

کوددهی بر اساس آزمون خاک به مقدار ۱۲۰ کیلوگرم کود اوره به‌صورت سرک (در سه مرحله قبل از کاشت، مرحله ساقه رفتن جو و شروع سنبله‌دهی)، ۱۵۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل در هکتار به‌صورت نواری عمقی همزمان با بذرکاری تماماً قبل از کاشت برای تیمار ۱۰۰٪ شیمیایی مورد نظراعمال گردید. در تیمار کودی ۵۰٪ شیمیایی+ کود زیستی نصف این مقادیر اعمال شد. به‌علت بالا بودن مقدار پتاسیم قابل جذب، از کود پتاسیم استفاده نشد. بذر هر دو گیاه یک ساعت قبل از کشت با کود زیستی فسفاته بارور- ۲ (حاوی دو نوع باکتری حل‌کننده فسفات از گونه‌های *باسیلوس لنتوس*[1] و *سودوموناس پوتیدا*[2]) و ازتوبارور-۱ (حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از جنس *ازتوباکتر*) هر دو به‌صورت پودر با نسبت‌های مشخص (۱۰۰ گرم در هکتار) و بر اساس دستورالعمل توصیه شده

1- *Bacillus lentus*
2- *Pseudomonas putida*

شرکت زیست فناوری سبز تلقیح شدند. به این صورت که محتوی بسته با آب مخلوط و روی بذرها اسپری شدند تا یک پوشش کاملاً یکنواخت روی سطح آن‌ها تشکیل شود و سپس بذرها در سایه خشک شدند و عملیات کاشت صورت گرفت. فاصله بین ردیف برای جو ۲۰ و برای نخود ۴۰ سانتی‌متر به طول چهار متر بود. فاصله بین کرت‌ها یک و نیم متر و فاصله بلوک‌ها از یکدیگر سه متر در نظر گرفته شد. تراکم جو ۳۵۰ و برای نخود ۳۰ بوته در واحد سطح در نظر گرفته شد. بذور جو در تاریخ ۱۵ مهر ماه ۱۳۹۲ و بذور نخود ۲۰ اسفندماه ۱۳۹۲ کشت شدند. بذر استفاده شده جو رقم والفجر و نخود لاین ILC482 بود که به ترتیب از اداره جهاد کشاورزی نقده و از سازمان تحقیقات دیم مراغه تهیه شده بود. عملیات وجین علف‌های هرز به‌طور مرتب به صورت دستی و در هنگام لزوم انجام شد و عملیات آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی و پر شدن دانه جو به‌ترتیب در تاریخ ۱۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد ماه صورت گرفت.

در پایان فصل رشد، ابتدا از هر کرت به‌طور تصادفی تعداد ۱۰ بوته انتخاب و صفاتی نظیر ارتفاع بوته، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام و وزن هزار دانه برای نخود و تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه برای جو اندازه‌گیری شدند. جهت محاسبه عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی برداشت هر دو گونه در ۱۰ تیر ماه از سطحی معادل ۳/۶ متر مربع از هر کرت صورت گرفت. برای تعیین عملکرد بیولوژیکی، پس از جدا نمودن بذور دو گونه، نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا ثابت ماندن وزن خشک درون آون قرار گرفتند و سپس همراه بذورتوزین شدند.

میزان پروتئین دانه نخود از روی میزان نیتروژن نمونه محاسبه و با استفاده از روش هضم تر با استفاده از دستگاه کجلدال مدل BUCHI-B324 تعیین شد. با اندازه‌گیری میزان نیتروژن، پروتئین از حاصل ضرب درصد نیتروژن در عدد ۶/۲۵ به‌دست آمد (Nazeri et al., 2010).

برای ارزیابی کشت مخلوط جو و نخود در مقایسه با کشت خالص از شاخص نسبت برابری زمین[1] (بر اساس عملکرد دانه) با استفاده از معادله ۱ استفاده شد (Hauggaard-Nielsen et al., 2009):

$$LER = (Y_{chb}/ Y_{chch}) + (Y_{bch}/ Y_{bb}) \quad \text{(معادله ۱)}$$

در این معادله، Y_{chb} و Y_{bch}: به ترتیب عملکرد در کشت مخلوط و Y_{chch} و Y_{bb}: نیز عملکرد در کشت خالص است.

جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.4 و مقایسه میانگین‌ها آماری توسط آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

صفات مورد بررسی گیاهی نخود

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر الگوهای مختلف کشت بر تعداد غلاف در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و میزان پروتئین دانه معنی‌دار بود، اما تعداد دانه در غلاف تحت تأثیر الگوهای مختلف کاشت قرار نگرفتند. همچنین اثر نوع کود بر تمامی صفات مورد بررسی معنی‌دار بود ($p\leq0.01$)، اما اثر متقابل بر هیچ یک از صفات مورد بررسی اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۲).

بیشترین تعداد غلاف در بوته (۲۰/۴۰ عدد) و کمترین تعداد غلاف در بوته (۱۱/۷۹ عدد) به‌ترتیب از الگوی کشت خالص نخود و یک ردیف جو+ یک ردیف نخود به‌دست آمد. هر چند الگوی کشت دو ردیف جو+ چهار ردیف نخود از نظر تعداد غلاف در بوته اختلاف معنی‌داری باکشت خالص نخود نداشت (جدول ۳). در تیمارهای چهار ردیف جو+ دو ردیف نخود و یک ردیف جو+ یک ردیف نخود به‌علت رقابت شدید برون گونه‌ای، نخود قادر به افزایش تعداد غلاف نبوده که این موضوع با نتایج حمزه‌ای و سیدی (Hamzei & Seyedi, 2013) در کشت مخلوط نخود و جو مطابقت دارد.آندایی و همکاران (Undie et al., 2012) در بررسی کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و سویا (*Glycine max* L.) علت کاهش تعداد غلاف در بوته سویا را در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص به‌علت افزایش رقابت برون گونه‌ای و کاهش منابع محیطی در دسترس گیاهان گزارش کردند.

مقایسه تیمارهای کودی مورد استفاده بیانگر این بود که تعداد غلاف در بوته در نتیجه کاربرد منابع کودی در مقایسه با عدم مصرف کود به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۴)؛ به‌طوری‌که تعداد غلاف در بوته در تیمارهای مصرف کود زیستی، شیمیایی و تلفیقی نسبت به عدم مصرف کود (شاهد) به‌ترتیب ۹/۵۳، ۱۷/۰۲ و ۲۶/۷۷ درصد افزایش نشان داد. تأثیر مثبت کاربرد کودهای زیستی+ شیمیایی در تعداد غلاف را می‌توان ناشی از فراهمی عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن از طریق استفاده از کود زیستی دانست. رضائی‌چیانه و همکاران (Rezaei-Chiyaneh et al., 2015) در بررسی کشت مخلوط زنیان و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) گزارش کردند که استفاده از کودهای زیستی و شیمیایی تأثیر معنی-داری بر تعداد غلاف در بوته شنبلیله داشت که با نتیجه تحقیق حاضر مطابقت داشت.

بیشترین وزن هزار دانه از کشت خالص نخود با ۲۶۳/۱۷ گرم و کمترین از الگوی یک ردیف جو+ یک ردیف نخود با ۱۸۶/۵۰ گرم به‌دست آمد. بین تیمارهای دو ردیف جو+ دو ردیف نخود و دو ردیف جو+ چهار ردیف نخود اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

1- Land equivalent ratio

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد کمی و کیفی نخود تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت مخلوط با جو و نوع کود

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) on quantitative and qualitative yield of chickpea affected by different intercropping patterns with barley and fertilizer type

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد غلاف در بوته Number of pod per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seed per pod	وزن هزار دانه 1000 - seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	درصد پروتئین دانه Percentage of protein seed
تکرار Replication	2	3.94 $^{n.s}$	0.051**	211.66 $^{n.s}$	982.81**	13155.31 *	1.74 $^{n.s}$
الگوی کشت (C) Cropping pattern (C)	4	149.85 **	0.005 $^{n.s}$	9209.85 **	33454.60**	341438.55 **	19.91 **
کود (F) Fertilizer (F)	3	41.69 **	0.141**	995.79 **	10008.86**	111633.64 **	21.59 **
C×F	12	1.82 $^{n.s}$	0.007 $^{n.s}$	80.94 $^{n.s}$	497.59$^{n.s}$	5497.43 $^{n.s}$	0.821$^{n.s}$
خطا Error	38	1.61	0.008	83.59	340.32	2992.12	1.49
ضریب تغییرات C.V (%)	-	7.62	7.51	4.10	13.17	12.10	6.32

n.s ، ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

** and $^{n.s}$: are significant at 1% probability levels and non-significant, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد کمی و کیفی نخود در الگوهای مختلف کشت مخلوط با جو

Table 3- Mean comparisons of quantitative and qualitative yield of chickpea in barley intercropped pattern

الگوی کشت Cropping pattern	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield ($g.m^{-2}$)	عملکرد بیولوژیکی Biological yield ($g.m^{-2}$)	درصد پروتئین دانه Seed protein (%)
کشت خالص Pure culture	20.40 ^{a*}	263.17 ^{a}	220.75 ^{a}	716.16 ^{a}	17.21 ^{c}
۱ ردیف جو + ۱ ردیف نخود 1-row chickpea + 1-row barley	11.79 ^{c}	186.50 ^{d}	78.91 ^{d}	269.25 ^{d}	20.33 ^{a}
۲ ردیف جو + ۲ ردیف نخود 2-row chickpea + 2-row barley	15.64 ^{b}	214.42 ^{c}	135.42 ^{b}	456.83 ^{b}	20.27 ^{a}
٤ردیف جو + ۲ردیف نخود 2-row chickpea + 4-row barley	15.55 ^{b}	220.25 ^{c}	112.33 ^{c}	352.67 ^{c}	18.97 ^{ab}
۲ ردیف جو + ٤ ردیف نخود 4-row chickpea + 2-row barley	19.81 ^{a}	229.58 ^{b}	149.83 ^{b}	474.25 ^{b}	19.68 ^{b}

*میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و برای هر جزء، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

*Means with different letters in a column and for each component are not significantly different based on Duncan's test $p \leq 0.05$.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر کود بر عملکرد کمی و کیفی نخود در کشت مخلوط با جو

Table 4- Means comparison the effect of fertilizer on quantitative and qualitative yield of chickpea with barley

کود Fertilizer	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	وزن هزار دانه 1000 -seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield ($g.m^{-2}$)	عملکرد بیولوژیکی Biological yield ($g.m^{-2}$)	درصد پروتئین دانه Seed protein (%)
عدم کاربرد کود (شاهد) Control (No fertilizer)	14.68 d*	1.05 c	212.93 c	104.60 c	339.53 c	17.79 c
کود زیستی Biofertilizer	16.08 c	1.20 b	226.87 a	142.53 b	450.66 b	19.22 b
کود شیمیایی Chemical fertilizers	17.18 b	1.22 b	219.80 b	145.33 b	479.10 b	19.45 b
کود شیمیایی + کود زیستی Chemical fertilizers+ biofertilizer	18.61 a	1.28 a	231.53 a	167.74 a	546.67 a	20.71 a

*میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و برای هر جزء، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

*Means with different letters in a column and for each component are not significantly different based on Duncan's test $p \leq 0.05$.

کاهش وزن دانه لگوم‌ها در کشت مخلوط به‌دلیل کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه ناشی از افزایش بکارگیری آن‌ها در رشد رویشی برای افزایش ارتفاع و تولید برگ با هدف موفقیت در رقابت با گیاه مجاور گزارش شده است (Bakheit & Glala, 2002). پور امیر و همکاران (Pouramir et al., 2010) در ارزیابی کشت مخلوط نخود و کنجد (*Sesamum indicum* L.) دریافتند که وزن هزار دانه نخود در کشت خالص به دلیل عدم رقابت برون گونه‌ای و تولید مواد فتوسنتزی بیشتر نسبت به کشت مخلوط به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. محققان دیگری در کشت مخلوط سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) با نخود و لوبیا (*Phasaeolus vulgaris* L) گزارش کردند که وزن هزار دانه لوبیا در کشت خالص بیشتر از مخلوط بود (Koocheki et al., 2014b). وزن هزار دانه نخود تحت تأثیر نوع کود مصرفی قرار گرفت؛ به‌طوری‌که بیشترین وزن هزار دانه (۲۳۱/۵۳ گرم) و کمترین وزن هزار دانه (۲۱۲/۹۳ گرم) به‌ترتیب در تیمار کود تلفیقی زیستی+ شیمیایی و عدم مصرف کود به‌دست آمد، اما بین تیمارهای تلفیقی کود شیمیایی+ کود زیستی و کود زیستی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). کود زیستی به‌خصوص در شرایط کم‌آبی با بهبود رشد ریشه و افزایش آسیمیلاسیون مواد فتوسنتزی به‌علت افزایش سطح برگ و افزایش ظرفیت فتوسنتزی در دوره قبل از گلدهی، می‌تواند در مرحله پس از گلدهی با انتقال مجدد این مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن وزن هزار دانه را بهبود ببخشد (Jahan et al., 2013).

بیشترین عملکرد دانه و بیولوژیک از کشت خالص نخود و کمترین میزان عملکرد از الگوی کشت یک ردیف جو+ یک ردیف نخود به‌دست آمد. این در حالی بود که بین کشت دو ردیف جو+ دو ردیف نخود با دو ردیف جو+ چهار ردیف نخود اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). بالا بودن عملکرد دانه و بیولوژیک نخود در کشت خالص می‌تواند به‌دلیل عدم وجود رقابت بین گونه‌ای باشد که در این شرایط هر بوته نخود برای به‌دست آوردن آشیان‌های اکولوژیک یکسان رقابت نکرده و تمامی منابع موجود در اختیار آن قرار گرفته است. چاپاگین و رایسمن (Chapagain & Riseman, 2014) اظهار داشتند که عملکرد در کشت مخلوط زمانی به بیشترین میزان خود می‌رسد که هر گونه آشیان اکولوژیک خود را اشغال کرده باشد و رقابت میان گونه‌ها در حداقل باشد. جوانمرد و همکاران (Javanmard et al., 2016) در کشت مخلوط نخود و گندم به این نتیجه رسیدند که که بیشترین عملکرد نخود از کشت خالص به‌دست آمد که یکی از دلایل کاهش عملکرد دانه نخود در مخلوط در مقایسه با خالص را به کاهش فضای لازم برای رشد و به دنبال آن رقابت برای جذب آب، مواد غذایی و نور نسبت دادند. رضائی‌چیانه (Rezaei-Chiyaneh 2017) در کشت مخلوط بزرک (*Linum usitatissimum* L.) و لوبیا چیتی و مردانی و همکاران (Mardani et al., 2015) در کشت مخلوط شنبلیله و انیسون (*Pimpinella anisum* L.) گزارش کردند که در کشت خالص به دلیل عدم رقابت بین گونه‌ای و بالا بودن فضای زیستی عملکرد نسبت به کشت مخلوط افزایش نشان داده بود. مشهدی و همکاران (Mashhadi et al., 2015) علت کاهش عملکرد دانه نخود در کشت مخلوط را به احتمال زیاد به دلیل رقابت شدید گندم با نخود و همچنین استفاده از منابع غذایی در اول فصل رشد توسط گندم گزارش کردند.

بین تیمارهای کودی بیشترین عملکرد دانه و بیولوژیک از تیمار تلفیقی کود شیمیایی+ کود زیستی و کمترین عملکرد از عدم مصرف کود به‌دست آمد. در حالی‌که بین تیمار کود شیمیایی و کود زیستی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴) که نشان می‌دهد استفاده از کودهای زیستی می‌تواند از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی

جلوگیری کند. نتیجه تحقیق حاضر نشان داد که عملکرد و اجزای عملکرد نخود طی تغذیه تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی نسبت به زمانی که به تنهایی استفاده شده اند، نتیجه بهتری ایجاد کردند. کود زیستی برای تداوم حضور عناصر غذایی در گیاه و کودهای شیمیایی برای آغاز عملیات تولید و جبران منبع کودی در خاک دارای اهمیت خاص خود می‌باشند. در تیمارهای ترکیبی به‌دلیل اثرات هم افزایی متقابل باکتری‌ها، تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، افزایش حلالیت فسفات غیرمتحرک و کاهش اسیدیته خاک و تولید انواع هورمون‌ها و مواد محرک رشد (نظیر سیتوکینین، اکسین، بیوتین و اسید پنتوتنیک)، جذب عناصر غذایی را تحریک می‌کنند و با تأثیر روی فرآیندهای فتوسنتزی سبب بهبود اجزای عملکرد دانه و در نهایت منجر به افزایش عملکرد نخود گردید.

بیشترین میزان پروتئین دانه (۲۰/۳۳ درصد) از کشت یک ردیف جو+ یک ردیف نخود وکمترین میزان آن (۱۷/۲۱ درصد) از کشت خالص نخود حاصل شد، هر چند تفاوت معنی‌داری بین الگوهای کشت مخلوط از نظر میزان پروتئین دانه مشاهده نشد (جدول ۳). محققان در کشت مخلوط نخود و سیاهدانه نشان داده‌اند که در اثر رقابت شدید بین دو گونه اغلب اندازه و وزن دانه کاهش و غلظت پروتئین در واحد وزن افزایش می‌یابد (Gholinezhad & Rezaei-chiyaneh, 2014). از طرفی نتایج برخی مطالعات نشان داده است که وقتی بقولات در کنار گونه دیگر به‌صورت کشت مخلوط قرار می‌گیرند، به‌دلیل اثر مکملی جزء بقولات جهت تثبیت نیتروژن مقدار بیشتری از نیتروژن تحریک شده و در نتیجه تعداد گره فعال و سرعت و تشکیل آن‌ها افزایش می‌یابد و افزایش تثبیت نیتروژن بقولات، سبب افزایش میزان پروتئین دانه نیز می‌شود (Hauggard-Nielson et al., 2009).

تیمار تلفیقی کود شیمیایی+ کود زیستی بیشترین پروتئین دانه و شاهد کمترین پروتئین در دانه را دارا بودند، هرچند بین تیمار کود زیستی و کود شیمیایی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد که با مصرف تلفیقی کودها، نیتروژن بیشتری در اختیار گیاه قرار گرفته و لذا میزان پروتئین در تیمارهای تلفیقی نسبت به سایر تیمارها بیشتر بوده است. ناظری و همکاران (Nazeri et al., 2010) در لوبیا سفید گزارش کردند که تیمار استفاده از کود زیستی+ ۵۰ درصد کود شیمیایی بیشترین میزان پروتئین دانه را داشت.

عملکرد و اجزای عملکرد جو

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تمامی شاخص‌های مطالعه شده در جو (تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و درصد پروتئین دانه) به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر الگوهای مختلف کاشت و نوع کود قرار گرفتند (جدول ۵). بیشترین تعداد سنبله در متر مربع (۴۱۷/۱۷ عدد) و کمترین تعداد آن (۳۳۶/۹۲ عدد) به‌ترتیب از کشت خالص و الگوی کشت یک ردیف جو+ یک ردیف نخود به‌دست آمد، اما بین الگوی کشت دو ردیف جو+ دو ردیف نخود و چهار ردیف جو+ دو ردیف نخود اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶). محققان در کشت مخلوط یولاف (*Avena sativa* L.) و نخود اظهار داشتند که در کشت خالص به‌دلیل قرار گرفتن منابع محیطی از قبیل نور قابل دسترس بیشتر نسبت به کشت مخلوط، میزان تمایز گل آذین‌ها در طی مرحله پنجه‌زنی افزایش و در نتیجه تعداد سنبلچه‌ها و گلچه‌ها در هر گل آذین افزایش می‌یابد (Neugschwandtner et al., 2014). دارائی مفرد و همکاران (Daraei Mofrad et al., 2008) در بررسی عملکرد دانه جو در کشت خالص و مخلوط با ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia sativa* L.) گزارش کردند که تعداد سنبله در متر مربع در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص کاهش می‌یابد.

بین تیمارهای کودی از نظر تعداد سنبله در متر مربع اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۷). تیمار تلفیقی کود زیستی+ شیمیایی بیشترین تعداد سنبله در متر مربع (۳۹۱/۶۰ سنبله) و عدم مصرف کود کمترین تعداد سنبله در متر مربع (۳۴۱/۲۰ سنبله) را دارا بودند، اما بین تیمارهای کود شیمیایی و زیستی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۷).

در آزمایش توکلی و جلالی (Tavakoli & Jalali, 2016) نیز اثر مثبت کاربرد تلفیقی کود شیمیایی نیتروژنه به‌همراه کودهای زیستی بر تعداد سنبله گندم در مترمربع مثبت ارزیابی شد، چرا که مصرف بهینه کودهای نیتروژن‌دار به‌همراه کود زیستی، کارایی استفاده از این نوع کودها را افزایش داده و موجب افزایش تعداد سنبله گندم گردید. همچنین، آن‌ها دلیل افزایش تعداد سنبله به بهبود جذب آب و مواد غذایی به واسطه توسعه بیشتر ریشه‌ها نسبت دادند.

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد کمی و کیفی جو تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت مخلوط و نوع کود

Table 5- Analysis of variance (mean of squares) on quantitative and qualitative yield of barley affected by different intercropping patterns and fertilizer

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد سنبله در متر مربع Number of spikes per m^{-2}	تعداد دانه در سنبله Number of seed per spike	وزن هزار دانه 1000- grain weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	درصد پروتئین دانه Seed protein
تکرار Replication	2	8278.20 **	0.950 n.s	10.30 **	1769.267*	100466.51 **	0.036 n.s
الگوی کشت (C) Cropping pattern (C)	4	11019.35 **	89.042 **	57.24 **	76352.29**	318933.56 **	1.145**
کود (F) Fertilizer (F)	3	6849.12 **	61.533 **	38.21 **	43377.79**	82542.15 **	0.930 **
C×F	12	93.503 n.s	2.242 n.s	0.64 n.s	393.16n.s	4580.34 n.s	0.264 n.s
خطا Error	38	401.46	1.827	1.64	563.24	3656.74	0.180
ضریب تغییرات C.V (%)	-	5.41	6.27	3.96	9.06	4.72	3.68

n.s ، ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

** and n.s: are significant at 1% probability levels and non-significant, respectively.

جدول ٦- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد جو در الگوهای مختلف کشت مخلوط با نخود

Table 6- Means comparison of quantitative and qualitative yield of barley in intercropping pattern whit barley

الگوی کشت	تعداد سنبله در متر مربع Number of spikes per m^{-2}	تعداد دانه در سنبله Number of seed per spike	وزن هزار دانه 1000- Grain weight (g)	عملکرد دانه Grain yield ($g.m^{-2}$)	عملکرد بیولوژیکی Biological yield ($g.m^{-2}$)	درصد پروتئین دانه Seed protein (%)
کشت خالص Pure culture	417.17 a*	25.83 a	35.58 a	414.92 a	1558.50 a	11.04 c
۱ ردیف جو + ۱ ردیف نخود 1-row chickpea + 1-row barley	336.92 c	18.33 c	30.00 d	206.66 d	1148.25 c	11.54 ab
۲ ردیف جو + ۲ ردیف نخود 2-row chickpea + 2-row barley	370.25 b	21.58 b	33.45 b	284.33 b	1282.50 b	11.89 a
٤ردیف جو + ۲ردیف نخود 2-row chickpea + 4-row barley	373.83 b	21.00 b	31.62 cd	266.67 b	1242.00 b	11.62 ab
۲ ردیف جو + ٤ ردیف نخود 4-row chickpea + 2-row barley	351.58 c	20.67 b	30.60 d	237.33 c	1180.17 c	11.42 b

*میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و برای هر جزء، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

*Means with different letters in a column and for each component are not significantly different based on Duncan's test $p \leq 0.05$.

تعداد دانه در سنبله در کشت خالص جو در مقایسه با الگوی کشت یک ردیف جو+ یک ردیف نخود افزایش ۲۹/۰۳ درصدی را نشان داد، اما بین الگوهای کشت دو ردیف جو+ دو ردیف نخود و چهار ردیف جو+ دو ردیف نخود و دو ردیف جو+ چهار ردیف نخود اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد که در کشت خالص جو، گیاه جو به‌دلیل افزایش فضای زیستی به سمت تولید پنجه‌های بارور و تولید سنبله‌های طویل‌تر و بزرگ‌تر گرایش پیدا می‌کند، همین بزرگ بودن سنبله باعث تولید بذر بیشتر در سنبله

می‌شود این موضوع مطابق با نتیجه محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2013) در بررسی ارزیابی عملکرد و صفات زراعی جو و شبدر برسیم (*Trifolium resupinatum* L.) در کشت‌های خالص و مخلوط بود. سوبکویز (Sobkowicz, 2006) در کشت مخلوط تریتیکاله (*X Triticosecale* witmack L.) و باقلا (*Vicia faba* L.) گزارش کرد که تعداد دانه در هر سنبله تریتیکاله به‌دلیل رقابت بر سر منابع طبیعی از قبیل نور، آب و مواد غذایی و در نتیجه کاهش طول سنبله در کشت مخلوط کاهش معنی‌داری پیدا کرد.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر کود بر عملکرد و اجزای عملکرد جو در کشت مخلوط با نخود

Table 7- Means comparison of effect of fertilizer on quantitative and qualitative yield of barley whit chickpea

کود Fertilizer	تعداد سنبله در متر مربع Number of spikes per m^{-2}	تعداد دانه در سنبله Number of seed per spike	وزن هزار دانه 1000- grain weight (g)	عملکرد دانه Grain yield ($g.m^{-2}$)	عملکرد بیولوژیکی Biological yield ($g.m^{-2}$)	پروتئین دانه Seed protein (%)
عدم کاربرد کود (شاهد) Control (No fertilizer)	341.20 c *	19.33 d	30.33 c	215.90 d	1187.53 c	11.16 b
کود زیستی Biofertilizer	368.53 b	20.73 c	31.89 b	272.67 c	1269.20 b	11.49 a
کود شیمیایی Chemical fertilizers	378.47 ab	21.80 b	33.08 a	296.33b	1308.40 b	11.63 a
۵۰٪ کود شیمیایی + کود زیستی %50 Chemical fertilizers+ biofertilizer	391.60 a	24.12 a	34.03 a	345.03 a	1364.00 a	11.73 a

*میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و برای هر جزء، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

*Means with different letters in a column and for each component are not significantly different based on Duncan's test $p \leq 0.05$.

مقایسه بین حداکثر و حداقل تعداد دانه در سنبله حاکی از افزایش ۱۹/۸۵ درصدی تعداد دانه در سنبله در تیمار تلفیقی کود شیمیایی+ کود زیستی در مقایسه با عدم مصرف کود (شاهد) بود. همچنین تیمار کود شیمیایی نسبت به‌تیمار کود زیستی تعداد دانه در سنبله را به‌میزان ۴/۹ درصد افزایش داد (جدول ۷). این موضوع توانایی کودهای زیستی را در استفاده از سطوح کود شیمیایی بیان می‌کند که می‌تواند در سطح معینی از کود شیمیایی نیز تعداد دانه قابل قبولی تولید کند، اسید ایندولاستیک در کنار سیتوکینین که توسط *ازتوباکتر* تولید می‌شود از طریق رشد ریشه‌های جانبی و افزایش وزن برگ و ریشه سبب افزایش مواد پرورده شده که به‌نوبه خود باعث افزایش رشد رویشی و افزایش سهم تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی از جمله تعداد دانه در سنبله می‌گردد (Soleimani Fard et al., 2013). به‌نظر می‌رسد که کمبود عناصر غذایی از جمله نیتروژن در طول فصل رشد از علل اصلی کاهش تعداد دانه در سنبله شاهد باشد. سوجاتا و همکاران (Sujatha et al., 2008) گزارش کردند که مصرف توأم کودهای آلی و زیستی نسبت به‌مصرف جداگانه، با تأمین بهتر عناصر غذایی و در کنار بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک، شرایط را برای افزایش جذب این عناصر، بهبود تولید و عرضه مواد پرورده به دانه به‌عنوان اصلی‌ترین مخزن گیاه فراهم می‌آورد. در بررسی تأثیر تلقیح با *ازتوباکتر* و مصرف سطوح نیتروژن بر عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت در نظام چند کشتی نشان دادند که همزمان با لگوم‌ها مشخص شد که تلقیح ذرت با *ازتوباکتر* با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود شیمیایی نیتروژنه در کشت مخلوط با خلر بیشترین تعداد دانه در ردیف را داشتند (Mirzakhani & Davari, 2013).

کشت خالص جو با ۳۵/۵۸ گرم بیشترین و کشت یک ردیف جو+ یک ردیف نخود با ۳۰ گرم کمترین وزن هزار دانه را دارا بودند، اما بین الگوهای یک ردیف جو+ یک ردیف نخود و چهار ردیف جو+ دو ردیف نخود و دو ردیف جو+ چهار ردیف نخود اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶). افزایش نسبت کاشت کاهش وزن هزار دانه را در پی داشت. البته اساساً وزن هزار دانه صفتی است که نسبت به‌سایر اجزای عملکرد کمتر تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد، ولی با افزایش نسبت کاشت، به‌دلیل افزایش رقابت، مواد فتوسنتزی کمتری به پر کردن دانه‌ها اختصاص یافته و در نهایت وزن هزار دانه کاهش می‌یابد (Lafond, 1994). محققان در کشت مخلوط گندم و کلزا (*Brassica napus* L.) گزارش کردند که وزن هزار دانه گندم در خالص بیشتر از مخلوط بود که دلیل آن به کاهش فرآورده‌های

فتوسنتزی اختصاص‌یافته به مقصدهای فیزیولوژیکی نسبت داده شد (Koocheki et al., 2014a).

بیشترین و کمترین وزن هزار دانه به‌ترتیب از تیمار تلفیقی کود شیمیایی+ کود زیستی و عدم مصرف کود (شاهد) برابر با ۳۴/۰۳ گرم و ۳۰/۳۳ گرم حاصل شد. هر چند بین تیمار تلفیقی کود شیمیایی+ کود زیستی و کود شیمیایی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۷). تیمارهای کود زیستی و تلفیقی در مقایسه با شاهد به مراتب شرایط مناسب‌تری را برای بهبود فعالیت‌های زیستی داخل خاک مهیا کرده و از طریق جذب مواد غذایی توسط ریشه موجب افزایش وزن هزار دانه گردید. ناصری و میرزایی (Naseri & Mirzaei, 2010) اثر مثبت باکتری ازتوباکتر و *آزوسپیریلیوم* را بر وزن هزار دانه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) و گندم تأیید کرده‌اند.

بیشترین عمکرد دانه از کشت خالص جو با ۴۱۴/۹۲ گرم در متر مربع و کمترین عملکرد دانه با ۲۰۶/۶۶ گرم در متر مربع مربوط به الگوی کشت یک ردیف جو+ یک ردیف نخود بود، اما بین الگوهای کشت دو ردیف جو+ دو ردیف نخود و چهار ردیف جو+ دو ردیف نخود اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد بر اثر افزایش رقابت در کشت مخلوط و کاهش منابع محیطی در دسترس عملکرد گونه‌ها در کشت مخلوط کاهش یافته است که در این مطالعه نیز این موضوع تحقق یافت. از آن‌جائی که تراکم هر یک از گیاهان در کشت خالص نسبت به مخلوط بیشتر است و تراکم به عنوان اولین و مهمترین جزء عملکرد می‌باشد، لذا در کشت‌های مخلوط کمتر بودن تراکم بوته هر گونه نسبت به کشت خالص خود دلیل اصلی پائین‌تر بودن عملکرد نیز می‌تواند باشد. تونا و اوراک (Tuna & Orak, 2007) علت کاهش عملکرد گرامینه‌ها در کشت مخلوط با لگوم‌های دانه‌ای را به رقابت لگوم‌ها برای جذب عناصر غذایی یا کمبود انتقال نیتروژن نسبت داده‌اند. هاوگاردنیلسن و همکاران (Hauggard-Nielson et al., 2009) در بررسی خود بر روی کشت مخلوط جو و نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) دریافتند که عملکرد گیاه جو در تمامی تیمارهای کشت مخلوط کمتر از کشت خالص این گیاه بود. حمزه‌ای و سیدی(Hamzei & Seyedi, 2013) در کشت مخلوط نخود و جو دلیل کاهش عملکرد دانه در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص را رقابت بین گونه‌ای و کاهش منابع محیطی در دسترس می‌دانند.

بیشترین عملکرد بیولوژیک (۱۵۵۸/۵۰ گرم در متر مربع) از کشت خالص جو و کمترین میزان (۱۱۴۸/۲۵ گرم در متر مربع) از الگوی کشت یک ردیف جو+ یک ردیف نخود به‌دست آمد، بین الگوهای کشت دو ردیف جو+ دو ردیف نخود و چهار ردیف جو+ دو ردیف نخود اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶). دلیل کاهش عملکرد بیولوژیک در کشت مخلوط می‌تواند به‌دلیل رقابت برای جذب نور و نیتروژن در مرحله‌ی رویشی و آب در مرحله‌ی پر شدن دانه و کاهش اجزای عملکرد باشد (Thorsted et al., 2006). محققان دیگری در کشت مخلوط ذرت با سویا (Piri et al., 2017)، کشت مخلوط گندم و کلزا (Koocheki et al., 2006) و کشت مخلوط گندم و نخود (Mashhadi et al., 2015; Javanmard et al., 2016) گزارش کردند که عملکرد دانه و بیولوژیک ذرت و گندم در کشت خالص بیشتر از کشت مخلوط بود.

بیشترین عملکرد دانه و بیولوژیک از تیمار تلفیقی کود شیمیایی+ کود زیستی و کمترین عملکرد دانه و بیولوژیک از عدم کاربرد کود (شاهد) به‌دست آمد (جدول ۷)، به‌طوری که تیمار تلفیقی کود زیستی و شیمیایی به‌ترتیب سبب افزایش ۱۶/۹۷ درصد و ۱۲/۹۳ درصدی عملکرد دانه و بیولوژیک نسبت به عدم مصرف کود (شاهد) گردید. با توجه به این‌که یکی موجود در آن‌ها می‌باشد، بنابراین، افزایش بیش از حد کود نیتروژن و یا کاهش نیتروژن معدنی به کمتر از حد آستانه موجب کاهش فعالیت باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و متعاقباً کاهش عملکرد گردد (Jalali, 2005). در این تحقیق در تیمار تلفیقی استفاده کمتر از کودهای شیمیایی، احتمالاً زمینه برای افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های مورد نظر فراهم شده و این امر منجر به‌بهبود سیستم ریشه‌ای و متعاقباً جذب بهتر عناصر غذایی مورد نیاز برای گیاه به‌دنبال داشته و در نهایت، منجر به افزایش عملکرد گیاه جو نیز گردیده است.

کشت مخلوط درصد پروتئین دانه جو را افزایش داد؛ به‌طوری‌که بیشترین درصد پروتئین دانه جو (۱۱/۸۹ درصد) در تیمار دو ردیف جو+ دو ردیف نخود مشاهد شد، که با سایر الگوهای کشت یک ردیف جو+ یک ردیف نخود و دو ردیف جو+ چهار ردیف نخود و چهار ردیف نخود+ دو ردیف جو اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶).

کمترین درصد پروتئین دانه (۱۱/۰۴ درصد) به کشت خالص جو تعلق داشت. دلیل افزایش پروتئین دانه جو در کشت مخلوط به‌تثبیت بیشتر نیتروژن نخود در نتیجه تعداد گره فعال و سرعت و تشکیل آن‌ها در پاسخ به افزایش رقابت با جو بر سر جذب نیتروژن خاک و در نتیجه انتقال نیتروژن تثبیت‌شده می‌توان نسبت داد که سبب افزایش میزان پروتئین دانه جو نیز می‌شود Chapagain & Riseman, (2014). هوگاردنیلسن و همکاران (Hauggaard-Nielsen et al., 2009) مشاهده کردند که در کشت مخلوط جو با نخود میزان استفاده از نیتروژن ۳۱–۱۷ درصد بیشتر از کشت خالص این گیاهان بود و دلیل آن‌را به اثرات مکملی و تسهیل‌کنندگی در کشت مخلوط نسبت دادند. پرین و دوویت (Prin & Dwit, 2005) هم نشان داده‌اند که کشت مخلوط گندم با باقلا باعث افزایش میزان پروتئین دانه گندم از ۱۱ درصد در کشت خالص به ۱۳ درصد در کشت مخلوط شده است.

جدول ۸- نسبت برابری زمین جزئی و نسبت برابری زمین کل برای عملکرد دانه جو و نخود در الگوهای مختلف کشت مخلوط

Table 8- Partial land equivalent ratio and land equivalent ratio (LER) for grain yields of barley and chickpea at intercropping pattern.

تیمار های آزمایش Treatments	۱ ردیف جو + ۱ ردیف نخود 1 row chickpea + 1 row barley				۲ ردیف جو +۲ ردیف نخود 2 rows chickpea + 2 rows barley				٤ ردیف جو + ۲ ردیف نخود 2 rows chickpea + 4 rows barley				۲ ردیف جو +٤ ردیف نخود 4 rows chickpea + 2 rows barley			
	عدم کاربرد کود (شاهد) Control	کود زیستی Biofertilizer	کود شیمیایی Chemical fertilizers	۵۰ ٪ کود شیمیایی + کود زیستی %50 Chemical fertilizers+ biofertilizer	عدم کاربرد کود (شاهد) Control	کود زیستی Biofertilizer	کود شیمیایی Chemical fertilizers	۵۰ ٪ کود شیمیایی + کود زیستی %50 Chemical fertilizers+ biofertilizer	عدم کاربرد کود (شاهد) Control	کود زیستی Biofertilizer	کود شیمیایی Chemical fertilizers	۵۰ ٪ کود شیمیایی + کود زیستی %50 Chemical fertilizers+ biofertilizer	عدم کاربرد کود (شاهد) Control	کود زیستی Biofertilizer	کود شیمیایی Chemical fertilizers	۵۰ ٪ کود شیمیایی + کود زیستی %50 Chemical fertilizers+ biofertilizer
نسبت برابری زمین جزئی جو Partial Land Equivalent Ratio of barley	0.45	0.5	0.48	0.54	0.62	0.71	0.73	0.67	0.61	0.64	0.67	0.64	0.50	0.54	0.58	0.63
نسبت برابری زمین جزئی نخود Partial Land Equivalent Ratio of chickpea	0.36	0.32	0.38	0.36	0.70	0.55	0.61	0.62	0.51	0.44	0.53	0.55	0.75	0.63	0.69	0.67
نسبت برابری زمین کل Total LER	0.81	0.82	0.86	0.9	1.32	1.26	1.34	1.29	1.12	1.08	1.2	1.19	1.25	1.17	1.27	1.30

تغذیه کودی در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌دار درصد پروتئین دانه را افزایش دادند. مقایسه بین تیمارهای کودی نشان داد که بیشترین درصد پروتئین دانه از تیمار تلفیقی کود شیمیایی+ کود زیستی حاصل شد که در مقایسه با شاهد ۴/۸۵ درصد افزایش نشان داد. هر چند بین تیمارهای کودی از نظر درصد پروتئین دانه جو اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۷). نامور و خندان (Namvar & Khandan 2013) اظهار داشتند که تلقیح گندم با *آزوسپیریلیوم* و *ازتوباکتر* به‌دلیل افزایش ذخیره نیتروژن در کل گیاه منجر به افزایش پروتئین دانه می‌شود. همچنین کودهای نیتروژنی، واردات نیتروژن از اندام‌های رویشی به دانه در مقایسه با کربوهیدرات‌ها را افزایش داده و موجب افزایش غلظت نیتروژن یا پروتئین دانه می‌گردند. رشیدی و همکاران (Rashidi et al., 2011) گزارش کردند که تلفیق کودهای زیستی و شیمیایی موجب افزایش میزان پروتئین دانه گندم نان گردید. محققان دیگری نیز افزایش پروتئین دانه گندم را در شرایط تلقیح با *ازتوباکتر* را نسبت به عدم مصرف کود گزارش کردند (Amraei et al., 2017).

نسبت برابری زمین (LER)

نسبت برابری زمین معیار (LER) معیار مهمی برای بررسی کارایی کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی می‌باشد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که حداکثر LER جزئی جو (۰/۷۳) در کشت مخلوط ۲ ردیف جو+ ۲ ریف نخود در شرایط کاربرد کود شیمیایی و حداکثر LER جزئی نخود (۰/۷۵) نیز در کشت مخلوط ۲ ردیف جو+ ۴ ردیف نخود در شرایط عدم کاربرد کود حاصل شد. به طور کلی، میانگین نسبت برابری جزئی نخود (۰/۵۴) نسبت به جو (۰/۵۱) بالاتر بود که می‌توان چنین استباط نمود که نخود از کشت مخلوط با جو اثر مثبت پذیرفته است (جدول ۸). محققان دیگری در کشت مخلوط سیاهدانه و نخود گزارش کردند که LER جزئی در سیاهدانه بالاتر از نخود بود؛ به‌طوری‌که سیاهدانه از کشت مخلوط با نخود اثر مثبت بیشتری پذیرفته بود (Rezaei-Chiyaneh & Gholinezhad, 2015).

با توجه به نتیجه آزمایش نسبت برابری زمین کل در تمامی تیمارهای مخلوط بیشتر از یک بود که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی در این الگوهای کشت می‌باشد. کشت مخلوط ۲ ردیف جو+ ۲ ردیف نخود در شرایط کاربرد کود شیمیایی بیشترین (۱/۳۴) میزان نسبت برابری زمین کل را در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط به خود اختصاص داد که معادل ۳۴ درصد افزایش بهره‌وری استفاده از زمین نسبت به کشت خالص دو گونه بود (جدول ۸).

کشت مخلوط زمانی سودمند است که عملکرد دانه مخلوط، بیشتر از حداکثر محصول تک‌کشتی باشد. اضافه عملکرد به‌دست آمده را می‌توان به استفاده بهتر از منابع محیطی از قبیل نور، آب و مواد غذایی باشد. نسبت برابری زمین کل بیشتر از یک نشان می‌دهد که علاوه بر اثرات تداخلی مثبت بین گیاهان در کشت مخلوط، رقابت بین گونه‌ای کمتر از رقابت درون گونه‌ای می‌باشد. به عبارت دیگر، اگر LER بیشتر از یک باشد، نشان‌دهنده آن است که تسهیل‌سازی جذب مواد و روابط متقابل به نحو مؤثری در کشت مخلوط بوده است. محققان دیگری در کشت مخلوط بزرک و لوبیا چیتی (Rezaei-Chiyaneh, 2017)، گندم و نخود (Javanmard et al., 2016) و شنبلیله و انیسون (Mardani et al., 2015) مقدار LER کل در تمام تیمارهای مخلوط بالاتر از یک گزارش کردند که این امر نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص است.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش حاکی از آن است که عملکرد هر دو گیاه جو و نخود تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت و نوع کود قرار گرفتند. به طوری که عملکرد هر دو گونه در کشت مخلوط تک‌ردیفی بر اثر افزایش رقابت و کاهش فضای زیستی کاهش یافت. اگرچه کشت مخلوط نخود و جو در بیشتر صفات و به‌ویژه در عملکرد دانه، پایین‌تر از کشت خالص نخود و جو بود، ولی نسبت برابری زمین به جز تیمار تک‌ردیفی در بقیه تیمارها بالاتر از یک بود که نشان‌دهنده افزایش در بهره‌وری استفاده از زمین نسبت به کشت خالص دو گونه بود و این نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص است. در تحقیق حاضر کاربرد کودهای شیمیایی و زیستی توانست عملکرد و اجزای عملکرد دانه هر دو گونه را بهبود ببخشد. همچنین بین کاربرد کودهای شیمیایی و زیستی از نظر عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد که می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از کودهای زیستی در کشت مخلوط در شرایط کم‌آبیاری یکی از راهکارهای مناسب برای دسترسی به عملکرد مطلوب با حداقل مصرف یا بدون مصرف نهاده‌های خارجی است که می‌تواند منجر به کاهش یا عدم وابستگی سیستم‌های زراعی به نهاده‌های شیمیایی آن‌ها شود.

منابع

Amraei, B., Ardakani, M.R., Rafiei, M., Paknejad, F., and Rejali, F. 2017. Effect of Mycorrhizal symbiosis and *Azotobacter* application on wheat (*Triticum aestivum* L.) qualitative traits under dry condition of Khorramabad. Journal of Agroecology 3(9): 722-733. (In Persian with English Summary)

Bakheit, B.R., and Glala, A.Y. 2002. Intercropping fababean with some legumes crops for control (*Orobanch crenata* L.). Acta Agronomica Hungarica 50: 1-60.

Borghi, E., Crusciol, C.A.C., Nascente, A.S., Sousa, V.V., Martins, P.O., Mateus, G.P., and Costa, C. 2013. Sorghum grain yield, forage biomass production and revenue as affected by intercropping time. European Journal of Agronomy 51: 130-139.

Chapagain, T., and Riseman, A. 2014. Barley–pea intercropping: Effects on land productivity, carbon and nitrogen transformations. Journal of Field Crops Research 166: 18-25.

Daraei Mofrad, A.R., Azizi, K., Heidari, S., and Ahmadi, A.R. 2008. Evaluating the effects of mono- and intercropping of barley with narbon vetch on barley grain yield and weeds growth. Magazine of Daneshvar 1: 35-44. (In Persian)

Gholinezhad, E., and Rezaei-Chiyaneh, E. 2014. Evaluation of grain yield of black cumin (*Nigella sativa* L.) in intercropping whit chickpea (*Cicer arietinum* L.). Iranian Journal of Sciences 16: 236-249. (In Persian with English Summary)

Hamzei, J., and Seyedi, M. 2013. Evaluation of barley (*Hordeum vulgare* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) intercropping systems using advantageous indices of intercropping under weed interference conditions. Journal of Agronomy and Crop Science 5: 1-12.

Hamzei, J., and Seyedi, M. 2015. Study of canopy growth indices in mono and intercropping of chickpea and barley under weed competition. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 24(4.1): 75-90. (In Persian with English Summary)

Hauggaard-Nielsen, H., Gooding, M., Ambus, P., Corre-Hellou, G., Crozat, Y., Dahlmann, C., Dibet, A., VonFragstein, P., Pristeri, A., Monti, M., and Jensen, E. S. 2009. Pea–barley intercropping for efficient symbioticN_2-fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. Journal of Field Crops Research 113: 64-71.

Inanloofar, M., Omidi, H., and Pazoki, A. 2013. Morphological, agronomical changes and oil content in purslane (*Portulaca oleracea* L.) under drought stress and biological/chemical fertilizer of nitrogen. Journal of Medicinal Plants 4: 170-184.

Jahan, M., and Nassiri Mahallati, M. 2012. Soil fertility and biofertilizers. Ferdowsi University of Mashhad Press P: 250.

Jahan, M., Aryaee, M., Amiri, M.B., and Ehyaee, H.R. 2013. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on quantitative and qualitative characteristics of Sesamum indicum L. with application of cover crops of Lathyrus sp. and Persian clover (*Trifolium resopinatum* L.). Agronomy Journal 1: 1-15. (In Farsi with English Summary)

Jalali, A.H. 2005. Problems and solutions to optimize nitrogen fixation in soybean. Zeitun 162: 25-29. (In Persian)

Javanmard, A., Rostami, A., Nouraein, M., and Gharekhani, Gh. 2016. Agronomical, ecological and economical evaluation of wheat- chickpea intercropping under rainfed condition of Maragheh. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 26 (1): 19-37. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Fallahpour, F., Khorramdel, S., and L. Jafari. 2014a. Intercropping wheat (*Triticum aestivum* L.) with canola (*Brassica napus* L.) and their effects on yield, yield components, weed density and diversity. Journal of Agroecology 1: 11-20. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Nasiri Mahallati, M., Borumand Rezazadeh, Z., Jahani. M., and Jafari, L. 2014b. Yield responses of black cumin (*Nigella sativa* L.) to intercropping with chickpea (*Cicer arietinum* L.) and bean (*Phaseoluse vulgaris* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 12(1): 1-8 (In Persian with English Summary)

Lafond, G.P. 1994. Effects of row spacing, seeding rate and nitrogen on yield of barley and wheat under zero- till management. Canadian Journal of Plant Science 74: 703-711.

Mahdavi Maraj, T., Ghanbari, A., and Asghari Pour, M.R. 2015. Intercropping of barley and ajwain under different of manure and chemical fertilizers. Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology 1: 63-78. (In Persian with English Summary)

Majnoun Hosseini, N. 2008. Grain Legume Production. Tehran, Iran. (In Persian)

Mardani, F., Balouchi, H.R., Yadavi, A., and Salehi, A. 2015. Effect of row intercropping patterns on yield, yield components, and weed control of fenugreek (*Trigonella foenumgreacum* L.) and anise (*Pimpinella aanisum* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 3: 626-636.

Mashhadi, T., Nakhzari Moghaddam, A., and Sabouri, H. 2015. Investigation of competition indices in intercropping of wheat (*Triticum aestivum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) under nitrogen consumption. Journal of Agroecology 3: 344-355. (In Persian with English Summary)

Mirzakhani1, M., and Davari, M.R. 2017. The Effect of inoculation with Azotobacter and nitrogen levels on grain and corn (*Zea mays* L.) yield components at simultaneous cropping system with legumes. Journal of Agroecology 9: 63-75. (In Persian with English Summary)

Mohammadi, S., Khalil Agdam, N., Khoshnejad, A., Pour Yousef, M., and Jalilnejad, N. 2013. Mixed-cropping and its effects on yield and agronomical traits of barley (*Hordeum vulgar* L.) and bersim clover (*Trifolium alexanderium* L.). Journal of Crop Ecophysiology 7: 229-239. (In Persian with English Summary)

Namvar, A., and Khandan, T. 2013. Response of wheat to mineral nitrogen fertilizer and biofertilizer (*Azotobacter* sp. and *Azospirillum* sp.) inoculation under different levels of weed interference. Journal of Ekologija 2: 85-94.

Naseri, R., and Mirzaei, A. 2010. Response of yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to seed inoculation with *Azotobacter* and *Azospirillum* and different nitrogen levels under dry land condition. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 9: 445-449.

Nazeri, P., Kashani, A., Khavazi, K., Ardakani, M. R., Mirakhori, M., and Pour Siah Bidi, M. 2010. The effect of biofertilizer and phosphorus fertilizer banding with Zinc on white bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Agronomy Journal 2: 175-185. (In Farsi with English Summary)

Neugschwandtner, R., and Kaul, P.H. 2014. Sowing ratio and N fertilization affect yield and yield components ofoat and pea in intercrops. Journal of Field Crops Research 155: 159-163.

Piri, I., Zendehdel, B., and Tavassoli, A. 2017. Study of Agronomical and ecological parameters of additive and replacement intercropping systems of corn (*Zea maize* L.) and soybean (*Glycine max* L. Merr.). Journal of Agroecology 9(1): 705-721. (In Persian with English Summary)

Pouramir, F., Koocheki, A., Nasiri Mahalati, M., and Ghorbani, R. 2010. Evaluation of yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) in intercropping of replacement method. Iranian Journal of Field Crops Research 8(5): 747-757. (In Persian with English Summary)

Prin, S.U., and Dwit, J. 2005. Intercropping cereal and grain legumes, A Farmers Perspective, Research at the Louis Bolk inStitute live Stock Department W.W.W.agric.nsw.gov.au.

Rezaei- Chiyaneh, E. 2017. Intercropping of flax Seed (*Linum usitatissimum* L.) and pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under foliar application of iron nano chelated and zinc. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 29: 39-56. (In Persian with English Summary)

Rezaei-Chiyaneh, E., and Gholinezhad, E. 2015. Agronomic characteristics of intercropping of additive series of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.). Journal of Agroecology 7: 381-396. (In Persian with English Summary)

Rezaei-Chiyaneh, E., Tajbakhsh, M., and Fotohi Chiyaneh, S. 2015. Yield and yield components of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) in strip intercropping with ajowan (*Carum copticum* L.) influenced by bio and chemical fertilizer. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 24: 1-15. (In Persian with English Summary)

Sengul, S. 2003. Performance of some forage grasses or legumes and their mixtures under dry land condition. European Journal of Agronomy 19: 401-409.

Sing, S., and Kapoor, K.K. 1998. Inoculation whit phosphate solubilizing microorganisms and a vesicular arbuscular mycorrhizal fungus improves dry matter yield and nutrient uptake by wheat grown in a sandy soil. Biology and Fertility of Soils 28: 139-44.

Sobkowicz, P. 2006. Competition between triticale and field beans in additive intercrops. Plant and Soil Environment 52: 42-54.

Soleimani Fard, A., Naseri Rad, H., Naseri, R., and Piri, E. 2013. Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on phenological traits, grain yield and yield components of three maize (*Zea mays* L.) cultivars. Journal of Crop Ecophysiologhy 7(1): 71-90. (In Farsi with English Summary)

Sujatha, M.G., Lingaraju, B.S., Palled, Y.B., and Ashalath, K.V. 2008. Importance of integrated nutrient management practices in maize under rain fed condition. Journal Agriculture Sciences 21: 334-338.

Tavakoli, M., and Jalali, A.H. 2016. Effect of different biofertilizers and nitrogen fertilizer levels on yield and yield components of wheat. Journal of Crop Production and Processing 6(21): 33-45. (In Persian with English Summary)

Thorsted, M.D., Olesen, J.E., and Weiner, S. 2006. Width of clover strips and wheat rows influence grain yield in winter wheat/white clover intercropping. Journal of Field Crops Research 95: 280-290.

Tohidinia, M.A., Mazaheri, D., Bagher-Hosseini, S.M., and Madani, H. 2014. Effect of biofertilizer Barvar-2 and chemical phosphorus fertilizer application on kernel yield components of maize (*Zea mays cv.* Sc704). Iranian Journal of Crops Sciences 15: 295-307. (In Persian with English Summary)

Tuna, C., and Orak, A. 2007. The role of intercropping on yield potential of common vetch/oat cultivated in pure stand and mixtures. Journal of Agriculture Biological Science 2: 14-19.

Undie, U.L., Uwah, D.F., and Attoe, E.E. 2012. Effect of intercropping and crop arrangement on yield and productivity of late season maize/soybean mixtures in the humid environment of South Southern Nigeria. Journal of Agricultural Science 4: 37-50.

Valizadegan, A. 2015. Study of yield quality and quantity in pot marigold (*Calendula officinalis* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) and species diversity and relative abundance of insects in row and strip intercropping. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 25(3): 15-30. (In Persian with English Summary)

Yang, F., Huang, S., Gao, R., Liu, W., Yong, T., Wang, X., Wu, X., and Yang, W. 2014. Growth of soybean seedling in relay strip intercropping systems in relation to light quantity and red: far- red ratio. Journal of Field Crops Research 155: 245-253.

Yousef Nia, M., Banayan Aval, M., and Khorramdel, S. 2015. Evaluation of radiation use and interception of fenugreek (*Trigonella foenumgraecum* L.) and dill (*Anethum graveolens* L.) intercropping canopy. Journal of Agroecology 7: 381-396. (In Persian with English Summary)

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 69-85

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۸۵-۶۹

Evaluation of quantitative and qualitative yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) in intercropping affected by biological and chemical fertilizers in supplemental irrigation condition

E. Rezaei-Chiyaneh[1]*, Y. Rasouli[2], J. Jalilian[3] and M. Ghodsi[4]

Submitted: 25-02-2018
Accepted: 08-05-2018

Rezaei-Chiyaneh, E., Rasouli, Y., Jalilian, J., and Ghodsi, M. 2019. Evaluation of quantitative and qualitative yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) in intercropping affected by biological and chemical fertilizers in supplemental irrigation condition. Journal of Agroecology. 11(1):69-85.

Introduction

Intercropping as a method of sustainable agriculture is defined as the simultaneous growing of two or more crops during the same season on the same area of land. Intercropping compared with monoculture has many advantages including the more efficient use of resources (water, nitrogen, and radiation), enhances yield quality, prevention of soil erosion, and reduced incidence of insects, diseases, and weeds. Javanmard et al. (2012) studied the agronomical, ecological and economic evaluation of wheat- chickpea intercropping under rainfed condition of Maragheh reported that the highest pods number per plant, seed number per plant, seed yield of chickpea and spikelet number per spike, grain number per spike, grain yield, protein content, and protein yield were obtained in the sole crops. This research aimed to study the effects of different fertilizers (biological, chemical, integrative) and intercropping of barley with chickpea on their yield and qualitative traits.

Materials and methods

This study was carried out with a factorial design based on Randomized Complete Block Design with three replications and 24 treatments in Naqadeh, Iran during the growing season of 2014-2015. The first factor included six intercropping patterns consist of 1-row chickpea + 1-row barley, 2-row chickpea + 2-row barley, 4-row chickpea + 2-row barley and 2-row chickpea + 4-row barley and monocropping of each crop and the second factor was included control (no fertilizer), 100% chemical fertilizers (NP), biofertilizers and biofertilizers +50% chemical fertilizers.

Barley was harvested when spike turned brown and chickpea was harvested when the first pod of the plants fully matured. Field data were collected by cutting 10 plants randomly from each plot and yield component of each plant was considered as the average for each plot.

Analysis of variance had been done by using SAS 9.4 software was performed for studied parameters. Means were compared with LSD at 5% probability level ($p \leq 0.05$).

Results and discussion

Results showed that intercropping patterns had a significant effect on all of the mentioned traits except the number of seeds per pod of chickpea pea. There was no significant interaction effect between intercropping pattern and fertilizer. The maximum and the minimum grain yield and biological yield of chickpea were obtained at monocropping and row intercropping (1-row chickpea + 1-row barley), respectively. In addition, the highest and the lowest grain yield and biological yield of barley were obtained from monocropping and 1-row chickpea + 1-row barley, respectively. Also, the effect of fertilizer was significant on all traits of both crops. The highest seed yield

1, 2 and 3- Assistant Professor, PhD Student and Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, respectively.
4- Assistant Professor, Agronomist (Wheat & Triticale Researcher) Khorasan-e Razavi Agricultural and Natural Resources Research Center (KANRRc) Seed and Plant Improvement Department
(*- Corresponding Author Email: e.rezaeichiyaneh@urmia.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v11i1.71201

and biological yield of chickpea were achieved in the combined usage of fertilizers with 104.60 and 339.53 $g.m^{-2}$ and the maximum grain yield and biological yield of barley were obtained in use of integrated application fertilizers with 215.90 and 1187.53 $g.m^{-2}$, respectively. The highest and the lowest grain protein of barley and chickpea were obtained in the combined usage of fertilizers and control (no fertilizer), respectively.

Calculation of LER revealed that the maximum value (1.34) was calculated for 2-row of barley + 2-row of chickpea with biochemical fertilizer, respectively. Intercropping improved land use efficiency up to 34%, compared with monocropping.

Conclusion

According to the results of this experiment, the highest grain yield for both plants (chickpeas and barley) were achieved in monocropping. However, the lowest grain yield of chickpeas and barley were obtained in intercropping patterns with ratios of 1:1, respectively. The higher grain yield of mono-cropped may be due to the fewer disturbances in the habitat in a homogeneous environment under monocropping systems. In the condition of application biofertilizer, more nutrient accessibility led to an improvement in the yield of chickpeas and barley. Results indicated that application of biofertilizers enhanced the grain and yield components. Among treatments, the combined usage of fertilizers (%50 chemical fertilizers+ biofertilizer) showed a greater increase in studied traits than individual consumption. The positive effect of biofertilizer may result from its ability to improve the availability of nitrogen, phosphorus and other nutrients especially under limited irrigation of the soil which causes decreasing on the nutrient's availability.

Keywords: *Azotobacter*, Land equivalent ratio, Planting pattern, *Pseudomonas*, Sustainable agriculture

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۰۲-۸۷

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 87-102

ارزیابی کارایی جذب و مصرف نیتروژن در ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت شرایط آب و هوایی کرمانشاه

فرزاد مندنی[1*]، علی بزرگی حسین آباد[2]، محسن سعیدی[3]، علیرضا باقری[4] و حسن حیدری[5]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۰۷

مندنی، ف.، بزرگی حسین آباد، ع.، سعیدی، م.، باقری، ع.، و حیدری، ح. ۱۳۹۸. ارزیابی کارایی جذب و مصرف نیتروژن در ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت شرایط آب و هوایی کرمانشاه. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱(۱): ۱۰۲-۸۷.

چکیده

جبران عنصر نیتروژن از طریق مصرف کودهای شیمیای باعث به هم خوردن تعادل شیمیایی خاک، شستشوی سریع‌تر آن و آلودگی بیشتر منابع آبی می‌شود که در نهایت کاهش کارایی مصرف نیتروژن را در پی دارد. به منظور ارزیابی کارایی جذب و مصرف نیتروژن در ارقام گندم، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار تحت شرایط آب و هوایی کرمانشاه در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح کود نیتروژن (۹۰، ۱۸۰، ۳۰۰ و ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار) در قالب عامل اصلی و ارقام گندم پارسی، زارع، پیشگام و اروم در قالب عامل فرعی بود. صفات مورد ارزیابی شامل عملکرد ماده خشکل کل، عملکرد دانه، درصد نیتروژن زیست توده و کارایی جذب، تبدیل و مصرف نیتروژن بود. نتایج نشان داد که رقم پیشگام در مقایسه با سایر ارقام از ویژگی‌های اکوفیزیولوژیک بهتری در شرایط تیمارهای مصرف کود نیتروژن برخوردار بود. صرف‌نظر از ارقام گندم، با افزایش میزان کاربرد کود اوره از ۹۰ به ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد ماده خشک کل (۶۵/۹۴ درصد) و عملکرد دانه (۷۳/۰۶ درصد) افزایش یافت. رقم پیشگام نسبت به سایر ارقام از عملکرد دانه بیشتری (۳۷/۳۷ درصد) برخوردار بود. بالاترین عملکرد دانه در رقم پیشگام (۸۹۵۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار و پایین‌ترین آن در رقم اروم (۱۲۶۴ کیلو گرم در هکتار) و شرایط کودی ۹۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. نتایج نشان داد بیشترین کارایی جذب نیتروژن در پایین‌ترین سطح کودی برای رقم زارع (۰/۷۰ کیلوگرم نیتروژن بر کیلوگرم نیتروژن مصرف شده+ قابل جذب خاک) و کمترین آن در بالاترین سطح کودی برای رقم اروم (۰/۲۶ کیلوگرم نیتروژن بر کیلوگرم نیتروژن مصرف شده+ قابل جذب خاک) بدست آمد. بیشترین کارایی تبدیل نیتروژن در رقم پیشگام (۵۹ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن) در شرایط ۹۰ کیلوگرم اوره در هکتار و کمترین آن در رقم اروم (۳۷ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن) در شرایط ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار مشاهده شد. رقم پیشگام در شرایط ۹۰ کیلوگرم اوره در هکتار بیشترین (۳۶ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن مصرف شده+ قابل جذب خاک) و رقم اروم در شرایط ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار کمترین (۱۰ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن مصرف شده+ قابل جذب خاک) کارایی مصرف نیتروژن را داشت.

واژه‌های کلیدی: ارقام گندم، کارایی تبدیل نیتروژن، کارایی جذب نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن، نیتروژن زیست‌توده

مقدمه

در بین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، نیتروژن مهمترین نقش را در رشد و نمو گیاه و دستیابی به عملکرد کمی و کیفی مطلوب ایفاء می‌کند (Sardana & Sheoran, 2011). در عین‌حال، این عنصر به آسانی از محیط خاک شسته شده و باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود (Sheoran et al., 2016). بر طبق برآوردها حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد نیتروژن اضافه شده به خاک در زمان برداشت محصول از مزرعه خارج شده که باید از طریق مصرف کود جبران شود (FAO, 2014). جبران نیتروژن از طریق مصرف کودهای شیمیایی باعث برهم خوردن تعادل شیمیایی خاک، شستشوی سریع‌تر و آلودگی بیشتر منابع آبی می‌شود که کاهش کارایی مصرف نیتروژن را در پی دارد (Ting et al., 2015). متأسفانه کودهای نیتروژنه به صورت مؤثری استفاده نمی‌شوند و علی‌رغم اینکه افزایش میزان نیتروژن، افزایش درصد پروتئین را به دنبال دارد، اما کارایی مصرف نیتروژن که

۱، ۲، ۴ و ۵- به‌ترتیب استادیار، دانشجویان کارشناسی ارشد و استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۳- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: f.mondani@razi.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v11i1.65109

در اغلب پژوهش‌ها از همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه برخوردار است، برای غلات حدود ۳۳ درصد گزارش شده است (Ehdaie & Waines, 2001). از طرفی، بالاترین کارایی مصرف نیتروژن به طور معمول با مصرف اولین واحد کودی حاصل می‌گردد و با افزایش کود نیتروژن، واحدهای بعدی افزایش کمتری را موجب می‌شوند (Ahmadi et al., 2017).

کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک واقع شده و مقدار ماده آلی خاک‌های آن پایین است. بنابراین اغلب گیاهان زراعی به‌علت رهاسازی ناچیز عناصر غذایی به ویژه نیتروژن، به‌علت پائین بودن ماده آلی خاک، دچار کمبود هستند. از طرفی به علت هزینه‌های رو به افزایش کودهای شیمیایی، لازم است که جذب و مصرف نیتروژن از راندمان بالایی برخوردار باشد تا بدین وسیله از هزینه‌های تولید کاسته و سود بالاتری عاید کشاورز شود (Ahmadi, 2015). بنابراین لازم است راندمان جذب عناصر غذایی به ویژه نیتروژن و عوامل مؤثر بر آن شناخته و راه‌های افزایش آن در روش‌های نوین تولید گیاهان زراعی مشخص شود (Khademi et al., 1999).

کارایی نیتروژن شامل کارایی جذب (بازیافت)، کارایی تبدیل (کارایی فیزیولوژیکی) و مصرف نیتروژن (کارایی زراعی یا بهره‌وری) است (Moles et al., 1984). کارایی مصرف نیتروژن از حاصلضرب کارایی جذب و کارایی تبدیل نیتروژن بدست می‌آید. کارایی جذب نیتروژن نیز نسبت میان نیتروژن موجود در زیست‌توده به نیتروژن موجود در خاک است و نشان دهنده این است که از مجموع کود نیتروژن بکار رفته و نیتروژن قابل جذب خاک چه میزان از آن در بیوماس محصول تجمع یافته است و به صورت درصد یا واحد حجمی بیان می‌شود. کارایی تبدیل نیتروژن نیز میزان تولید ماده خشک در هر واحد نیتروژن جذب شده توسط گیاه است. در نهایت کارایی مصرف نیتروژن یا بهره‌وری نیتروژن معرف تولید ماده خشک به ازای نیتروژن موجود در خاک است. بهره‌وری نیتروژن همبستگی مثبتی با کارایی جذب و تبدیل نیتروژن دارد، اما کارایی جذب و تبدیل نیتروژن همبستگی منفی با یکدیگر دارند (Moles et al., 1984). از طرفی کارایی جذب نیتروژن نسبت به کارایی تبدیل آن تأثیر نسبتاً بیشتری بر کارایی مصرف نیتروژن و در نهایت، عملکرد گیاه دارد (Hosseini et al., 2013). در سایر پژوهش‌ها سهم نسبی هر کدام از دو جزء کارایی مصرف نیتروژن (کارایی جذب و کارایی تبدیل نیتروژن) بستگی به میزان استفاده از نیتروژن داشته است. با این‌وجود، اهمیت بیشتر کارایی مصرف نیتروژن در ایجاد عملکرد بالا در غلات بدون توجه به میزان کاربرد نیتروژن خاطر نشان شده است (Alfred et al., 2000).

نحوه جذب، کارایی مصرف و نحوه تخصیص نیتروژن در گیاهان می‌تواند تحت تأثیر عواملی همچون رطوبت، حاصلخیزی خاک و رقابت قرار گیرد. همچنین افزایش کارایی جذب و استفاده از نیتروژن در تولید دانه نیازمند انجام مؤثر فرایندهای مربوط به جذب، انتقال، آسیمیلاسیون و توزیع مجدد نیتروژن است. به نظر می‌رسد یکی از دلایل کاهش کارایی مصرف نیتروژن در مقادیر بالای کود نیتروزن فزونی سرعت از دست رفتن این عنصر از طریق آبشویی و تصعید یا به علت عدم استفاده مؤثر از آن توسط گیاه باشد. حداکثر کارایی نیتروژن در شرایط حداقل کاربرد ممکن، در مراحلی از نمو گیاه که جذب سریع‌تر انجام می‌شود، بدست می‌آید. در این صورت از رشد رویشی غیرضروری که ممکن است خوابیدگی گیاه و کاهش عملکرد را در پی داشته باشد جلوگیری می‌شود. از آنجایی که در این حالت یک سیستم ریشه‌ای فعال برای جذب نیتروژن مصرف شده وجود دارد، هدر روی نیتروژن از طریق آبشویی، دنیتریفیکاسیون، تبخیر و رواناب کاهش می‌یابد (Muurinen et al., 2007).

در مجموع بالغ بر شش میلیون هکتار از اراضی کل کشور به کشت گندم اختصاص دارد که در این بین استان کرمانشاه با ۶/۴ درصد سطح زیر کشت و ۶/۶ درصد تولید، رتبه پنجم در کشور را به خود اختصاص داده است (MJA, 2015). سالیانه مقادیر زیادی از منابع کود نیتروژن در این استان مصرف می‌شود و با توجه به این مطلب که این استان از نظر منابع طبیعی نظیر تشعشع خورشیدی و نزولات جوی در وضعیت جغرافیایی نسبتاً مطلوب قرار دارد، بنابراین با مشخص نمودن کارایی مصرف نیتروژن، علاوه بر منفعت اقتصادی حاصل از کاهش مصرف بی رویه، از لحاظ زیست محیطی نیز مفید می‌باشد. پایین بودن کارایی مصرف نیتروژن باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی شده که این مسئله سلامت جامعه بشری را با خطر افزایش نیترات مواجه ساخته و رواج انواع سرطان، نمونه بارزی از بالا بودن نیترات در مواد غذایی است (Ahmadi, 2015). بنابراین ارائه راهکارهایی که افزایش کارایی مصرف نهاده‌های شیمیایی از ارکان اصلی تولیدات کشاورزی محسوب شود، کمک بسیار زیادی در رفع مشکلات زیست‌محیطی مصرف نادرست و بی‌رویه این نهاده‌ها کرده و میسر شدن اهداف کشاورزی پایدار را تسریع می‌کند. برای مثال، استفاده از ارقام گیاهان زراعی با کارایی جذب و تبدیل بالاتر نهاده‌ها و مدیریت صحیح مصرف نهاده‌ها از جمله راهکارهای کشاورزی پایدار است که از این طریق ضمن استفاده موثر گیاهان از نهاده‌های شیمیایی و طبیعی، مخاطرات زیست محیطی مصرف نادرست نهاده نیز به طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد (Sepehr et al., 2009).

از این‌رو، پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کارایی جذب و مصرف نیتروژن در ارقام مختلف گندم در راستای مدیریت صحیح مصرف کود نیتروژن و معرفی بهترین رقم گندم از نظر ویژگی‌های مورد بررسی در شرایط آب و هوایی شهرستان کرمانشاه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این بررسی در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی (عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۹/۵۲ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵/۹۴ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۴۵ متر) با متوسط دمای ۱۳/۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالیانه ۴۵۵ میلی‌متر در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ اجرا شد. در این بررسی آنالیز خاک قبل از کاشت در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر صورت پذیرفت و تیمارهای کود نیتروژن بر اساس این آزمون لحاظ شد (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical properties of experimental field

عمق (سانتی‌متر) Depth (cm)	بافت Texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن Nitrogen (%)	اسیدیته pH	پتاسیم Potassium (ppm)	فسفر Phosphorous (ppm)
0-30	سیلت- رسی Clay-silt	44.3	39.0	16.7	1.5	0.17	7.7	282.0	20.6

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده معمولی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۶ تیمار در سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل مقادیر مصرف کود نیتروژن (۳۰، ۶۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز گندم به عنصر نیتروژن که مقدار توصیه شده بر اساس آزمون خاک معادل ۹۰، ۱۸۰، ۳۰۰ و ۳۶۰ کیلوگرم اوره ۴۶ درصد در هکتار در نظر گرفته شد)، به‌عنوان عامل اصلی و چهار رقم گندم پارسی، پیشگام، اروم و زارع به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. تیمارهای کود نیتروژن بر اساس آزمون خاک و توصیه آزمایشگاه خاکشناسی لحاظ شد، به این صورت که یک سوم کود اوره در مرحله ۴-۲ برگی، یک سوم دیگر در مرحله ابتدای ساقه رفتن و یک سوم باقی مانده در مرحله آغاز گلدهی به صوت سرک و به روش نواری به خاک اضافه شد.

عملیات آماده‌سازی بستر بذر در اوایل پاییز آغاز و کاشت در نیمه دوم آبان به صورت خشکه‌کاری انجام شد. بنابر نتیجه آزمایش خاک انجام شده مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل قبل از کاشت به صورت نواری به خاک اضافه گردید. ابعاد هر کرت اصلی ۳×۱۱/۲ متر بود که جهت جلوگیری از نشت نیتروژن با فاصله ۱/۵ متر از یکدیگر جدا شد. فاصله بین کرت‌های فرعی نیز حدود ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. هر یک از کرت‌های فرعی دارای ۱۰ خط کاشت به طول سه متر و عرض ۲/۵ متر بود. بذر گندم پس از ضد عفونی با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام به نسبت دو در هزار، بصورت دستی در ردیف‌هایی به فاصله ۲۵ سانتی‌متر از یکدیگر و در عمق ۳ تا ۵ سانتی‌متری کشت شد. آبیاری بلافاصله بعد از کاشت به منظور سبز شدن یکنواخت مزرعه بر اساس نیاز و به روش شیاری انجام گرفت. بعد از سبز شدن نیز آبیاری‌های بعدی مطابق نیاز گیاه انجام گرفت. همچنین در اوایل دوره رشد ساقه‌ها برای مبارزه با علف‌های هرز پهن برگ از علف‌کش 2-4-D به نسبت پنج در هزار استفاده شد. در تمام طول دوره آزمایش نیز به منظور جلوگیری از هجوم آفات، بیماری‌ها و سایر علف‌های هرز، مزرعه به طور کامل از این عوامل کاهنده تولید عاری نگاه داشته شد.

برای اندازه‌گیری میزان نیتروژن موجود در اندام‌های هوایی گیاه در دو مرحله نموی ابتدای گلدهی و انتهای دوره رشد از دستگاه کجلدال و از روش امامی (Emami, 1996) استفاده شد. برای محاسبه کارایی نیتروژن، علاوه بر کود مصرفی، میزان نیتروژن موجود در خاک نیز در نظر گرفته شد. برای این منظور، عمق خاک حاصلخیز برای گندم ۳۰ سانتی‌متر و همچنین وزن مخصوص ظاهری و نیتروژن قابل جذب به فرم یون نیترات با توجه به نتایج آزمایش خاک مزرعه به ترتیب، ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب (۱۳۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب) و ۳۰ میلی-گرم یون نیترات بر کیلوگرم خاک در نظر گرفته شد و سپس با توجه به اطلاعات مذکور میزان نیتروژن قابل جذب برای هر هکتار ۱۱۷ کیلوگرم محاسبه شد (جدول ۱). لازم به ذکر است که به علت مقدار بسیار ناچیز نیتروژن آمونیومی، در محاسبه میزان نیتروژن قابل جذب برای گیاه، از آن صرف‌نظر شد. سپس به منظور محاسبه کارایی جذب (NUpE)، کارایی تبدیل (NUtE) و کارایی مصرف نیتروژن (NUE) ارقام مختلف گندم از معادلات زیر استفاده شد (Timsina et al., 2001):

$$NUpE = \frac{AN\ (kg.ha^{-1})}{TN\ (kg.ha^{-1})}$$ معادله (۱)

$$NUtE = \frac{GY\ (kg.ha^{-1})}{AN\ (kg.ha^{-1})}$$ معادله (۲)

$$NUE = NUpE \times NUtE$$ معادله (۳)

در این معادلات، AN: نیتروژن جذب شده توسط گیاه، TN: کل نیتروژن فراهم خاک و مصرف شده و GY: عملکرد دانه گندم است. در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، جهت برداشت نهایی یک متر مربع از قسمتی که طی فصل رشد به این منظور دست نخورده باقی گذاشته شده بود، با رعایت اصول حاشیه به صورت کف بر برداشت شد. پس

از خشک شدن نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد آون به مدت ۷۲ ساعت، دانه‌ها از سنبله جدا گردید و عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک کل اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های مستخرج از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام گرفت. همچنین جهت تجزیه تکمیلی و فهم دقیق‌تر پاسخ فاکتورهای فرعی در هر سطح از فاکتورهای اصلی و برهمکنش آنها از روش برش‌دهی اثرات متقابل[1] در محیط نرم‌افزار SAS استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

درصد نیتروژن زیست توده

اثر مصرف نیتروژن و ارقام گندم بر درصد نیتروژن زیست‌توده در دو زمان گلدهی و رسیدگی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). صرف‌نظر از نوع رقم، با افزایش کاربرد کود نیتروژن از ۹۰ به ۱۸۰، ۳۰۰ و ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار، درصد نیتروژن زیست‌توده در زمان گلدهی به‌ترتیب از ۲/۷۹ درصد به ۴/۸۵، ۶/۳۲ و ۷/۶۰ درصد بهبود یافت. این افزایش در زمان رسیدگی به ترتیب از ۹/۳۶ درصد به ۱۲/۵۰، ۱۴/۴۷ و ۱۵/۷۲ ثبت گردید (جدول ۳). افزایش مقدار نیتروژن در ساختار گیاه به طور مستقیم بر درصد پروتئین تاثیر دارد. درصد پروتئین در اثر افزایش مصرف نیتروژن هنگامی افزایش می‌یابد که نیتروژن پیش از نیاز گیاه برای تولید باشد و بعد از تأمین نیتروژن برای تولید، مقدار پروتئین افزایش می‌یابد. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که اثر برهمکنش کود نیتروژن و رقم بر درصد نیتروژن زیست‌توده در زمان رسیدگی در سطح پنج درصد معنی‌دار بود، ولی بر درصد نیتروژن زیست‌توده در زمان گلدهی معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج برش‌دهی اثرات متقابل نیز نشان داد که واکنش درصد نیتروژن زیست‌توده ارقام گندم در زمان رسیدگی در هر یک از سطوح کود نیتروژن متفاوت بود، بطوری‌که بیشترین درصد نیتروژن در زمان رسیدگی به رقم پارسی و شرایط کاربرد ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار معادل ۱۷ درصد و کمترین آن به رقم اروم و شرایط کاربرد ۹۰ کیلوگرم اوره در هکتار معادل ۸ درصد مربوط بود (شکل ۱). با توجه به این نکته که نیتروژن از جمله مهمترین عناصر در افزایش درصد نیتروژن دانه است، به نظر می‌رسد که با افزایش کاربرد کود نیتروژن تجمع این عنصر در دانه و همچنین در اندام‌های هوایی ارقام گندم مورد مطالعه افزایش یافت که در نهایت منجر به بهبود درصد پروتئین آنها می‌شود. همچنین کلیه ارقام گندم در این مطالعه در بالاترین سطح کاربرد کود نیتروژن بیشترین درصد نیتروژن اندام‌ها را دارا بودند. این نتایج مشابه با نتایج سایر پژوهشگران است که گزارش کردند با افزایش کود نیتروژن غلظت نیتروژن اندام‌های گیاه نیز افزایش یافت (Guarda et al., 2004; Garrido et al., 2005).

عملکرد ماده خشک کل

نتایج این بررسی نشان داد که تأثیر کود نیتروژن بر عملکرد ماده خشک کل ارقام گندم در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین عملکرد ماده خشک کل به رقم پیشگام (۱۵۵۸۱ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۱۰۷۷۶ کیلوگرم در هکتار) به رقم اروم مربوط بود (جدول ۳). با افزایش میزان کاربرد کود نیتروژن از ۹۰ به ۱۸۰، ۳۰۰ و ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتاره عملکرد ماده خشک کل به ترتیب با ۳۷/۸۰، ۶۵/۵۹ و ۶۵/۹۴ درصد افزایش از ۶۲۶۴ به ۱۰۰۷۲، ۱۸۲۰۵ و ۱۸۳۹۵ کیلوگرم در هکتار بهبود یافت (جدول ۳). به نظر می‌رسد افزایش میزان مصرف نیتروژن از طریق افزایش شاخص سطح برگ و میزان جذب تشعشع منجر به بهبود سرعت رشد گردید و این موضوع در نهایت باعث بهبود عملکرد ماده خشک کل گندم شد. زیبار و همکاران (Zebarth et al., 1992) نشان دادند که مصرف نیتروژن از طریق افزایش و دوام شاخص سطح برگ منجر به افزایش فتوسنتز جاری شد که این موضوع سبب بهبود تولید ماده خشک گردید. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد اثر بر همکنش کاربرد کود نیتروژن و ارقام زراعی گندم بر عملکرد ماده خشک کل در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج برش‌دهی اثرات متقابل نیز نشان داد که واکنش عملکرد ماده خشک کل در هر یک از سطوح کود نیتروژن متفاوت بود، بطوری‌که بیشترین عملکرد ماده خشک کل به رقم پیشگام و شرایط کاربرد ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار معادل ۲۱۸۷۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن به رقم اروم و شرایط کاربرد ۹۰ کیلوگرم اوره در هکتار معادل ۴۹۱۷ کیلوگرم در هکتار مربوط بود (شکل ۲).

در شرایط ۹۰ کیلوگرم اوره در هکتار بین ارقام از نظر تولید ماده خشک اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، ولی با افزایش میزان کود مصرفی رقم پیشگام نسبت به سایر ارقام ماده خشک بیشتری تولید کرد. به نظر می‌رسد یکی از دلایل آن شاخص سطح برگ بالای رقم پیشگام بود که باعث شد گیاه بتواند میزان تشعشع بیشتری جذب و ماده خشک بیشتری تولید کند.

1- Slicing interactions

جدول ۲- تجزیه واریانس و برش‌دهی برهمکنش ارقام در هر سطح کود نیتروژن برای ویژگی‌های بوم شناختی فیزیولوژیک مورد ارزیابی گندم

Table 2- Analysis of variance and interaction slicing of cultivars at every level of nitrogen fertilizer for studied eco-physiological characteristics of wheat

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares						
		عملکرد ماده خشک کل Total Dry matter yield	عملکرد دانه Grain yield	نیتروژن زیست توده در گلدهی Nitrogen content of biomass at anthesis	نیتروژن زیست توده در رسیدگی فیزیولوژیک Nitrogen content of biomass at maturity	کارایی جذب نیتروژن Nitrogen uptake efficiency	کارایی تبدیل نیتروژن Nitrogen utilization efficiency	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency
بلوک Block	2	3150362 ns	507496.9ns	11.29**	18.29**	0.0075*	3.8734ns	13.61ns
کود نیتروژن Nitrogen Fertilizer (A)	3	439699155**	68200053.2 **	51.31**	92.27**	0.2733**	231.49**	854.88**
خطای اصلی Main error (Ea)	6	4306680	602450.5	0/06	0.87	0.0003	34.87	4.18
رقم Variety (B)	3	54398874**	11275570.1**	2.02**	9.12**	0.0148*	224.49*	76.60**
A×B	9	7456351*	1994731.3**	0.44ns	1.46*	0.0034**	108.38**	20.12*
خطای فرعی Sub error (Eb)	24							
ضریب تغییرات CV (%)		12.95	15.49	9.76	5.53	8.82	13.41	13.92

برش‌دهی اثر متقابل: واکنش ارقام در هر سطح کود نیتروژن

Interaction slicing: varieties reaction in each nitrogen fertilizer level

کود اوره Urea fertilizer (kg ha^{-1})	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares						
90	3	3007450ns	575967ns	0.71ns	2.81**	0.008**	235.82**	75.67**
180	3	13751853*	2018708*	0.87*	1.143ns	0.006*	97.47ns	27.47*
300	3	25981681**	7541694**	0.81ns	3.29**	0.005*	175.01*	21.61ns
360	3	34026943**	7123396**	0.95**	6.27**	0.004*	41.32ns	12.21ns

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns: غیر معنی‌دار

* and **: are significant at the 5 and 1% probability levels, respectively and ns is non-significant

جدول ۳- اثر کاربرد کود نیتروژن بر ویژگی‌های بوم شناختی فیزیولوژیک ارقام گندم

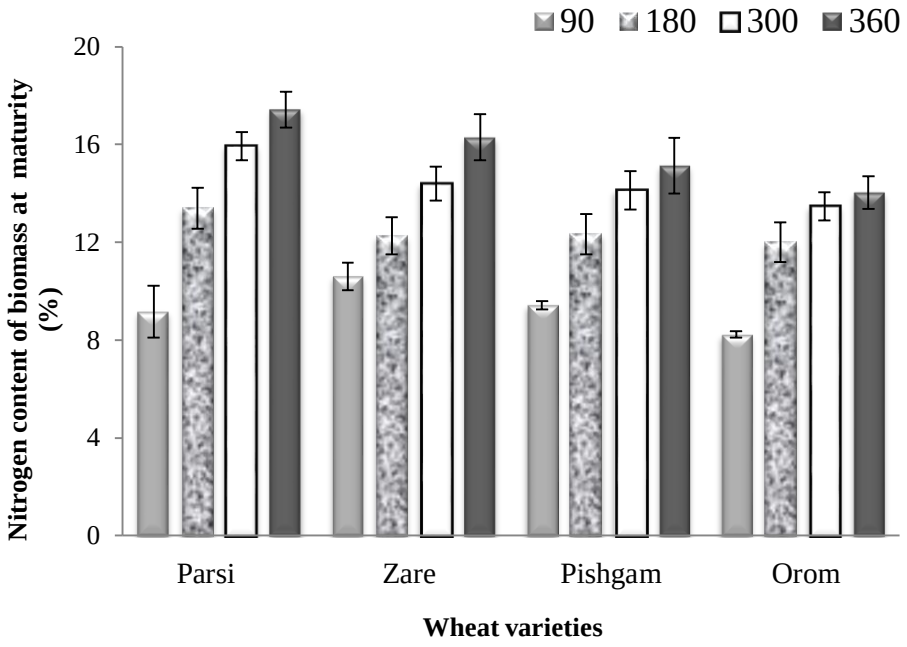
Table 3- Effect of nitrogen fertilizer application on eco-physiological characters of wheat varieties

تیمار Treatment	عملکرد ماده خشک کل Total dry matter yield (kg ha^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})	نیتروژن زیست توده در گلدهی Nitrogen content of biomass at anthesis (%)	نیتروژن زیست توده در رسیدگی فیزیولوژیک Nitrogen content of biomass at maturity (%)	کارایی جذب نیتروژن Nitrogen uptake efficiency (kg N_{uptake} /kg $N_{soil+applied}$)	کارایی تبدیل نیتروژن Nitrogen utilization efficiency (kg grain/kg N_{uptake})	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen Use Efficiency (kg grain/kg $N_{soil+applied}$)
نیتروژن Nitrogen							
90	6264^{c}	1859^{c}	2.79^{d}	9.36^{d}	0.63^{a}	49.17^{a}	30.95^{a}
180	10072^{b}	4527^{b}	4.85^{c}	12.50^{c}	0.47^{b}	50.43^{a}	24.02^{b}
300	18205^{a}	6827^{a}	6.32^{b}	14.47^{b}	0.34^{c}	46.30^{b}	15.89^{c}
360	18395^{a}	6903^{a}	7.60^{a}	15.72^{a}	0.29^{d}	40.55^{c}	12.06^{d}
LSD (0.05)	2073	775	0.26	0.93	0.01	5.89	2.04
ارقام Cultivars							
پارسی Parsi	14992^{a}	5384^{b}	5.92^{a}	13.98^{a}	0.47^{a}	44.20^{b}	21.58^{ab}
زارع Zare	12296^{b}	4771^{b}	5.40^{b}	13.73^{b}	0.44^{ab}	45.80^{b}	20.31^{b}
پیشگام Pishgam	15581^{a}	6125^{a}	5.31^{bc}	12.75^{c}	0.43^{b}	52.94^{a}	23.53^{a}
اوروم Orom	10776^{c}	3836^{c}	4.92^{c}	11.94^{d}	0.39^{c}	43.51^{b}	17.51^{c}
LSD (0.05)	1444	656	0.44	0.60	0.03	5.26	2.43

*: میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و برای هر جزء در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون LSD دارای اختلاف معنی‌داری نمی‌باشند.

Statement means with same letters for each column and for each component are not significantly different at α=0.05 based on LSD.

* and **: are significant at the 5 and 1% probability levels, respectively and ns is non-significant

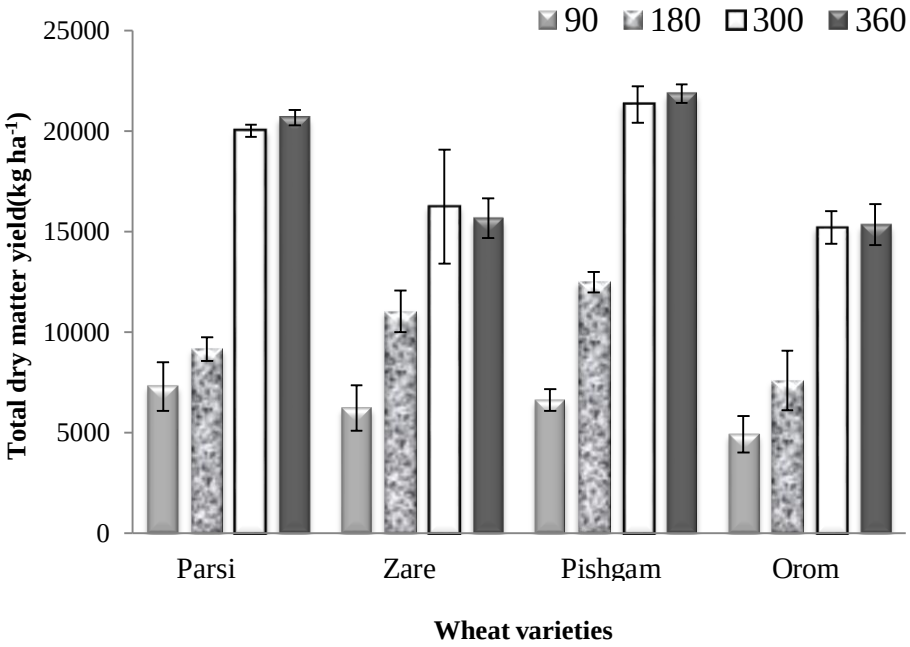


شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش بین سطوح کود اوره (کیلوگرم در هکتار) و ارقام گندم بر درصد نیتروژن

خطوط بار نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) است.

Fig. 1- Mean of square of the interaction between urea fertilizer levels (kg ha^{-1}) and wheat varieties on nitrogen content of biomass

The error bar lines indicate standard error (SE).



شکل ۲- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح اوره (کیلوگرم در هکتار) و ارقام گندم بر عملکرد ماده خشک کل

خطوط بار نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) است.

Fig. 2- Mean of square of the interaction between urea fertilizer levels (kg ha^{-1}) and wheat varieties on total dry mater yield

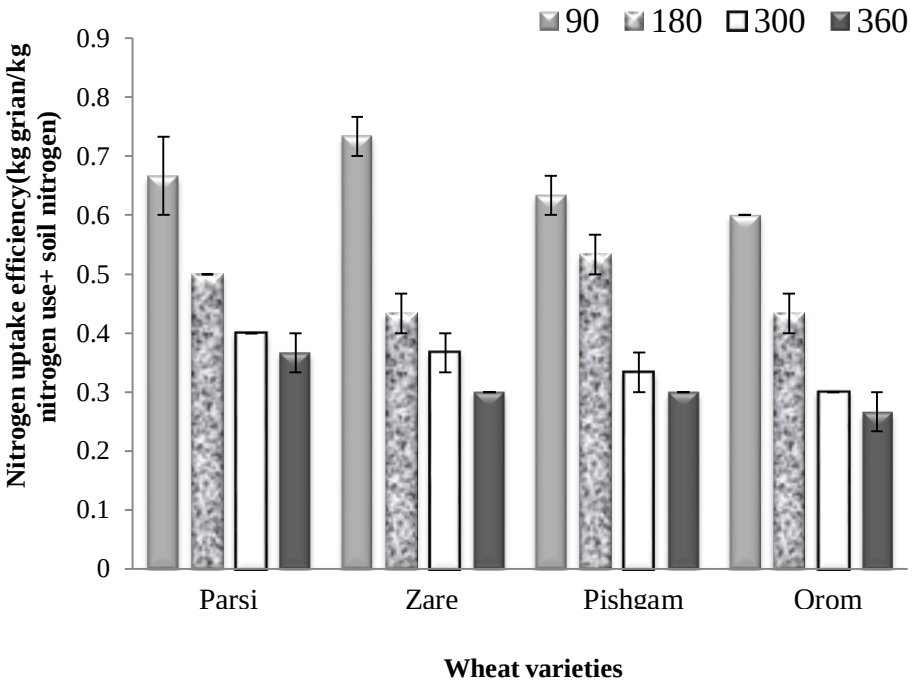
The error bar lines indicate the standard error (SE).

احمدی‌نژاد و همکاران (Ahmadinezhad et al., 2013) طی آزمایشی روی گندم نشان دادند که افزودن ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار عملکرد وزن خشک کل را نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش داد، ولی میان دو تیمار ۱۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار از نظر این صفت تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. امام و همکاران (Emam et al., 2009) دریافتند که با افزایش میزان نیتروژن ماده خشک کل گندم افزایش یافت. نیتروژن به دلیل وظایفی که در فرآیندهای حیاتی گیاه ایفاء می‌کند، نقش اساسی در دستیابی به عملکرد مناسب دارد. با این وجود، مصرف کودهای نیتروژنه اثرات متفاوتی بر عملکرد ماده خشک کل دارد. به طور کلی، افزایش نیتروژن تا نقطه بهینه، عملکرد ماده خشک کل را افزایش می‌دهد و بعد از آن واکنش گیاه نسبت به کود کاهش می‌یابد.

کارایی جذب نیتروژن

اثر سطوح نیتروژن در سطح یک درصد بر کارایی جذب نیتروژن معنی‌داری بود (جدول ۲). صرف‌نظر از نوع رقم بیشترین کارایی جذب به میزان ۰/۶۳ کیلوگرم نیتروژن جذب شده بر کیلوگرم نیتروژن مصرف شده+ قابل جذب خاک به تیمار ۹۰ کیلوگرم اوره در هکتار و کمترین آن به میزان ۰/۲۹ کیلوگرم نیتروژن جذب شده بر کیلوگرم نیتروژن مصرف شده+ قابل جذب خاک مربوط به تیمار ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار مربوط بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد در شرایط افزایش مصرف نیتروژن در خاک، تجمع بیش از حد نیتروژن در محیط ریزوسفر ریشه گیاه باعث بهم خوردن رابطه میان عرضه و تقاضای این عنصر شده و در نتیجه منجر به تشدید آبشویی و تصعید آن شد. احمدی (Ahmadi, 2015) نیز گزارش کرد با افزایش نیتروژن کارایی جذب نیتروژن ارقام ذرت (*Zea mays* L.) تحت شرایط اقلیمی کرمانشاه کاهش یافت. خان و همکاران (Khan et al., 2017) دریافتند افزایش کود نیتروژن منجر به کاهش کارایی جذب گندم شد.

تفاوت ارقام زراعی گندم از نظر کارایی جذب نیتروژن نیز در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲)، بطوری‌که بیشترین کارایی جذب نیتروژن (۰/۴۷ کیلوگرم نیتروژن جذب شده بر کیلوگرم نیتروژن مصرف شده+ قابل جذب خاک) در رقم پارسی و کمترین آن (۰/۳۹ کیلوگرم نیتروژن جذب شده بر کیلوگرم نیتروژن مصرف شده+ قابل جذب خاک) در رقم اروم مشاهده شد (جدول ۳).



شکل ۳- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح اوره (کیلوگرم در هکتار) و ارقام گندم بر کارایی جذب نیتروژن

خطوط بار نشان‌دهنده خطای معیار (SE) است.

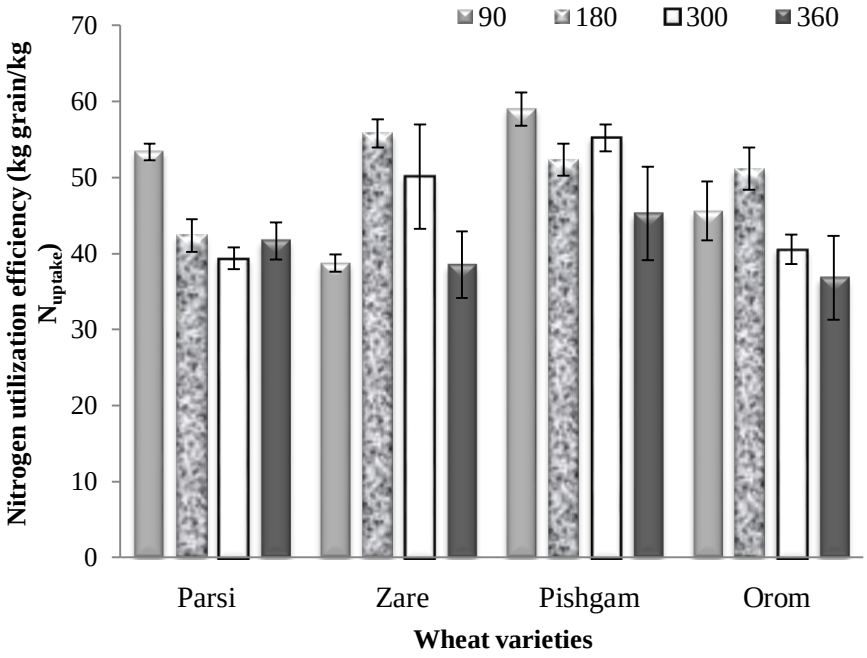
Fig. 3- Mean of square of the interaction between urea fertilizer levels (kg ha^{-1}) and wheat varieties on nitrogen uptake efficiency

The error bar lines indicate the standard error (SE).

به نظر می‌رسد علت پایین بودن کارآیی جذب نیتروژن در شرایط کاربرد مقدار زیاد کود نیتروژن تا حد زیادی ناشی از تفاوت در تولید ماده خشک گندم تحت تأثیر مقادیر مختلف کود نیتروژن مصرفی باشد که مستقیماً در جذب نیتروژن از خاک تأثیرگذار است. در نتیجه اگرچه با افزایش کاربرد کود نیتروژن عملکرد افزایش یافت، ولی توانایی گیاه در جذب نیتروژن با افزایش در میزان مصرف کود نبود، در حقیقت در سطوح بالای کاربرد کود، نیتروژن تجمع یافته در اندام‌ها هم راستا با مصرف آن نبود. در مقابل وجود برخی خصوصیات زراعی و ژنتیکی بین ارقام مورد مطالعه می‌تواند تفاوت موجود در کارآیی جذب نیتروژن را بین آنها توجیه کند، بطوری‌که رقم اروم از درصد نیتروژن دانه کمتری در مقایسه با سایر ارقام برخوردار بود که پایین‌تر بودن کارآیی جذب نیتروژن در این رقم را توجیه می‌کند. علاوه بر این، برهمکنش کاربرد کود نیتروژن و رقم بر کارایی جذب نیتروژن در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج برش‌دهی برهمکنش ارقام در هر سطح نیتروژن نشان داد که ارقام گندم در سطوح متفاوت کود واکنش متفاوتی از خود نشان دادند (جدول ۲)، به نحوی‌که در سطح کودی ۹۰ کیلوگرم اوره در هکتار، رقم زارع و در سطح کودی ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار رقم اروم به ترتیب از بالاترین و پائین‌ترین کارایی جذب نیتروژن برخوردار بود (شکل ۳). هالوارسون و همکاران (Halvarson et al., 2005) نیز نشان دادند که با افزایش نیتروژن کارایی جذب نیتروژن کاهش یافت.

کارآیی تبدیل نیتروژن

اثر مصرف کود نیتروژن در سطح یک درصد بر کارایی تبدیل نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش میزان مصرف کود نیتروژن از ۹۰ به ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار، کارایی تبدیل نیتروژن روند تغییرات متفاوتی نشان داد، بطوری‌که بیشترین میزان کارایی تبدیل نیتروژن در شرایط مصرف ۱۸۰ کیلوگرم اوره در هکتار به میزان ۵۰/۴۳ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن جذب شده و کمترین آن در شرایط کاربرد ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار به میزان ۴۰/۵۵ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن جذب شده مشاهده شد (جدول ۳).



شکل ٤- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح اوره (کیلوگرم در هکتار) و ارقام گندم بر کارایی تبدیل نیتروژن

خطوط بار نشان‌دهنده خطای معیار (SE) است.

Fig. 4- Mean of square of the interaction between urea fertilizer levels (kg ha^{-1}) and wheat varieties on nitrogen utilization efficiency

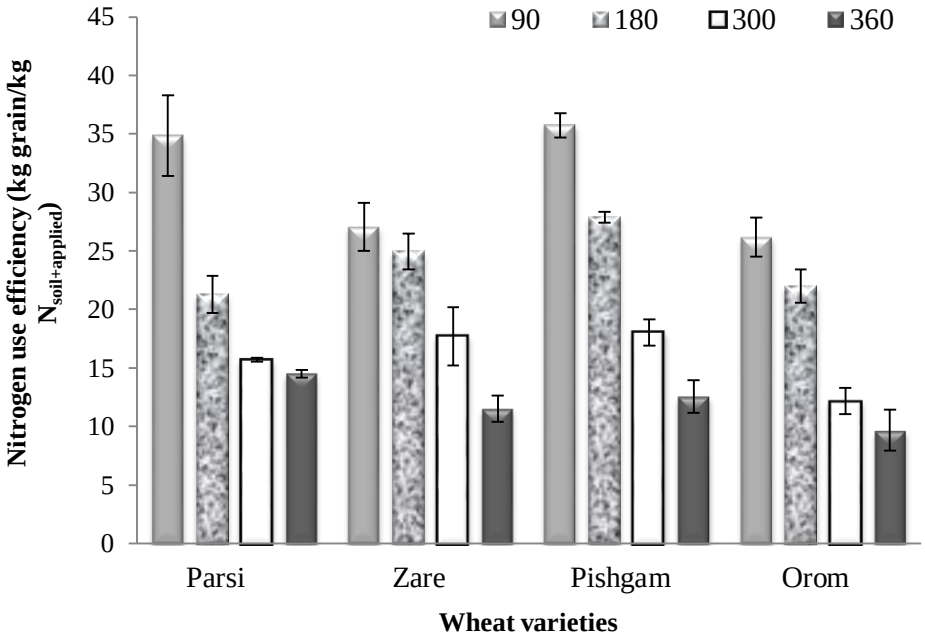
The error bar lines indicate the standard error (SE).

در واقع، صرف‌نظر از تیمار ۹۰ کیلوگرم اوره در هکتار افزایش میزان مصرف نیتروژن از تیمار ۱۸۰ کیلوگرم اوره در هکتار به بالاتر، منجر به کاهش کارایی تبدیل نیتروژن شد. معمولاً بالاترین کارایی با جذب اولین سطوح کودی بدست می‌آید و واحدهای بعدی مصرف عناصر غذایی، کارآیی کمتری دارند (Asadi at al., 2014). در این تحقیق بالاترین کارایی مربوط به سطح کودی ۱۸۰ کیلوگرم اوره در هکتار بود، به عبارتی دیگر، از سطح کودی ۹۰ تا ۱۸۰ کیلوگرم اوره در هکتار کارایی تبدیل نیتروژن کمی افزایش یافته و پس از آن دچار

کاهش شده است. صرف‌نظر از میزان کاربرد کود نیتروژن در بین ارقام گندم نیز از نظر کارایی تبدیل نیتروژن در سطح پنج درصد تفاوت وجود داشت (جدول ۲)، به طوری‌که بیشترین کارایی تبدیل (۵۲/۹۴ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن جذب شده) در رقم پیشگام و کمترین آن (۴۳/۵۱ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن جذب شده) در رقم زارع مشاهده شد (جدول ۳). علاوه بر این، برهمکنش کاربرد کود نیتروژن و رقم برکارایی تبدیل نیتروژن در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). برش‌دهی برهمکنش ارقام در هر سطح کود نیتروژن نشان داد که اثر رقم در سطوح کودی ۹۰، ۱۸۰ و ۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار معنی‌دار بود (جدول ۲). رقم پیشگام در شرایط کاربرد ۹۰ کیلوگرم اوره در هکتار دارای بیشترین کارایی تبدیل نیتروژن و رقم اروم در شرایط کاربرد ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار دارای کمترین کارایی تبدیل نیتروژن بودند (شکل ۴). با توجه به رابطه غیرمستقیم کارایی تبدیل نیتروژن با میزان مصرف این عنصر، مصرف بالای نیتروژن، کارایی تبدیل را کاهش داد. بالاترین کارایی معمولاً با جذب اولین عنصر غذایی (کودی) بدست می‌آید و واحدهای بعدی مصرف عنصر غذایی افزایش کمتری داشته و عاقبت به خط مجانب می‌رسد که به صورت قانون بازده نزولی میچرلیخ بیان گردید (Cerrato & Blackmer, 1990).

کارایی مصرف نیتروژن

تأثیر میزان مصرف نیتروژن و رقم بر کارایی مصرف نیتروژن در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین کارایی مصرف نیتروژن به میزان ۳۰/۹۵ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن مصرف شده+ قابل جذب خاک به تیمار ۹۰ کیلوگرم اوره در هکتار و کمترین آن به میزان ۱۲/۰۶ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن مصرف شده+ قابل جذب خاک به تیمار ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار مربوط بود (جدول ۳). این بدین معنی است که در تیمار ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار، گیاه نتوانسته به تناسبی که کود نیتروژن افزایش یافته است، دانه تولید کند. به عبارت دیگر، میزان عملکرد دانه نسبت به نیتروژن مصرفی با یک شیب ثابت افزایش پیدا نکرده است. بالاترین کارایی مصرف نیتروژن به طور معمول با مصرف اولین واحد کودی حاصل می‌شود. خان و همکاران (Khan et al., 2017) طی بررسی روی گندم دریافتند که با افزایش کود نیتروژن، کارایی مصرف آن کاهش یافت.



شکل ۵- مقایسه میانگین برهمکنش سطوح اوره (کیلوگرم در هکتار) و ارقام گندم بر کارایی مصرف نیتروژن

خطوط بار نشان‌دهنده خطای معیار (SE) است.

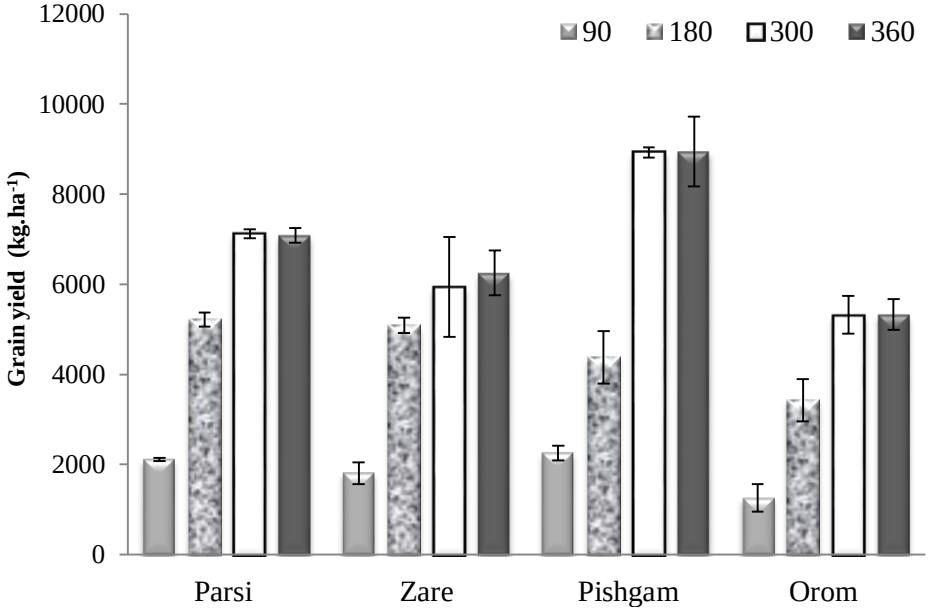
Fig. 5- Mean of square of the interaction between urea fertilizer levels (kg ha^{-1}) and wheat varieties on nitrogen use efficiency

The error bar lines indicate the standard error (SE).

مقایسه میانگین کارایی مصرف نیتروژن ارقام نیز نشان داد که رقم پیشگام از بیشترین (۲۳/۵۳ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن مصرف شده+ قابل جذب خاک) و رقم اروم از کمترین (۱۰/۵۱ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن مصرف شده+ قابل جذب خاک) کارایی مصرف نیتروژن برخوردار بود (جدول ۳). علاوه بر این، برهمکنش کاربرد کود نیتروژن و رقم بر کارایی مصرف نیتروژن در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج برش‌دهی اثرات متقابل نیز نشان داد که واکنش کارایی مصرف نیترون در هر یک از سطوح کود نیتروژن متفاوت بود، بطوری‌که بیشترین کارایی مصرف به رقم پیشگام در شرایط مصرف ۹۰ کیلوگرم اوره در هکتار معادل ۳۵/۹۹ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن مصرف شده+ قابل جذب خاک و کمترین آن به رقم اروم در شرایط مصرف ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار معادل ۹/۶۴ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن مصرف شده+ قابل جذب خاک مربوط بود (شکل ۵). با توجه به اینکه رقم پیشگام عملکرد دانه بیشتری نسبت به سایر ارقام داشت، در نتیجه این رقم از کارایی مصرف نیتروژن بیشتری نیز برخوردار بود. از طرفی طبق قانون بازده نزولی با افزایش کود نیتروژن کارایی مصرف آن کاهش می‌یابد که در نهایت، باعث شده که رقم پیشگام در سطح کودی ۹۰ کیلوگرم اوره در هکتار دارای بیشترین کارایی مصرف نیتروژن یا بهره‌وری نیتروژن باشد. به نظر می‌رسد عملکرد دانه کم نسبت به نیتروژن مصرفی در رقم اروم، به ویژه در تیمار ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار باعث کاهش کارایی مصرف نیتروژن شد که با نتایج سایر محققین نیز مطابقت داشت (Guarda et al., 2004; Ahmadi, 2015).

عملکرد دانه

اثر نیتروژن و رقم در سطح یک درصد و برهمکنش آنها در سطح پنج درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲).



شکل ٦- مقایسه میانگین برهمکنش اثرات سطوح مختلف اوره (کیلوگرم در هکتار) و ارقام گندم بر عملکرد دانه

خطوط بار نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) است.

Fig. 6- Mean of square of the interaction between the effects of urea fertilizer levels (kg ha^{-1}) and varieties on grain yield of wheat

The lines error bar indicate the standard error (SE).

افزایش میزان کاربرد کود نیتروژن از ۹۰ به ۱۸۰، ۳۰۰ و ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتاره عملکرد دانه را به ترتیب با ۵۸/۹۳، ۷۲/۷۶ و ۷۳/۰۶ درصد افزایش از ۱۸۵۹ به ۴۵۲۷، ۶۸۲۷ و ۶۹۰۳ کیلوگرم در هکتار بهبود داد (جدول ۳). همچنین بیشترین عملکرد دانه در تیمار کودی ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار بدست آمد که با تیمار ۱۰۰ درصد نیاز گیاهی (۳۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار) تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد مصرف مقادیر بیشتر نیتروژن از طریق بهبود ویژگی‌هایی نظیر شاخص سطح برگ، دوام سطح برگ، جذب تشعشع و سرعت رشد محصول باعث افزایش میزان تجمع ماده خشک کل و همچنین تخصیص مواد فتوسنتزی بیشتر به سمت اندام‌های ذخیره‌ایی گیاه شده که این موضوع سبب بهبود ویژگی‌هایی نظیر تعداد دانه در سنبله می‌گردد که در نهایت، باعث افزایش عملکرد

دانه گندم می‌شود. اهدایی و وینز (Ehdaie & Waines, 2001) نیز نتیجه گرفتند با کاهش مقدار کود نیتروژن از ۱۷۰ به ۱۰۵ کیلوگرم در هکتار میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم نان، گندم دوروم و تریتیکاله حدود ۳۱ درصد کاهش یافت. همچنین صرف‌نظر از میزان مصرف کود نیتروژن رقم پیشگام با عملکرد ۶۱۲۵ کیلوگرم در هکتار نسبت به ارقام دیگر از عملکرد بالاتری برخوردار بود (جدول ۳). نتایج این تحقیق نشان داد که واکنش متفاوت ارقام نسبت به کود نیتروژن باعث معنی‌دار شدن برهمکنش شد (جدول ۲). مقایسه برهمکنش نیتروژن و رقم برای عملکرد دانه نشان داد که رقم پیشگام در شرایط مصرف ۳۰۰ و ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار دارای حداکثر عملکرد دانه بود و رقم اروم در شرایط کاربرد ۹۰ کیلوگرم اوره در هکتار دارای کمترین میزان عملکرد دانه بود (شکل ۶). در شرایط کاربرد ۹۰ کیلوگرم اوره در هکتار بین ارقام از نظر تولید دانه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، ولی در شرایط ۱۸۰ کیلوگرم اوره در هکتار ارقام در سطح پنج درصد با هم اختلاف داشتند که در این بین رقم پارسی از عملکرد دانه بیشتری برخوردار بود. همچنین ارقام در شرایط ۳۰۰ و ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار با یکدیگر در سطح یک درصد تفاوت معنی‌دار داشتند. رقم پیشگام با افزایش کود اوره از ۱۸۰ به ۳۰۰ و۳۶۰ کیلوگرم عملکرد بهتری نسبت به سایر ارقام داشت که یکی از دلایل آن شاید به خاطر تولید دانه در سنبله بیشتر نسبت به ارقام دیگر بود. وجود چنین اختلافی در عملکرد ارقام مختلف و اهمیت انتخاب ژنوتیپ مناسب برای هر منطقه مورد تأکید محققان دیگر نیز قرار گرفته است (Jafariani, 2010 Koocheki et al., 2015;).

همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص‌های کارایی نیتروژن

نتایج همبستگی بین عملکرد دانه و صفات مربوط به کارایی جذب، تبدیل و مصرف نیتروژن نشان داد که عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با درصد نیتروژن در زمان گلدهی و رسیدگی داشت (جدول ۴).

جدول ٤- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص‌های کارایی نیتروژن ارقام مختلف گندم

Table 4- Correlation coefficients between grain yield and nitrogen efficiency indicators of different wheat varieties

صفات Traits	عملکرد دانه Grain yield (1)	درصد نیتروژن در زمان گلدهی Nitrogen content of biomass at anthesis (2)	درصد نیتروژن در زمان رسیدگی Nitrogen content of biomass at maturity (3)	کارایی جذب نیتروژن Nitrogen uptake efficiency (4)	کارایی تبدیل نیتروژن Nitrogen utilization efficiency (5)	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency (6)
(1)	1					
(2)	0.76**	1				
(3)	0.79**	0.93**	1			
(4)	-0.76**	-0.71**	-0.65**	1		
(5)	0.02^{ns}	-0.34**	-0.37**	0.24^{ns}	1	
(6)	-0.64**	-0.70**	-0.60**	0.89**	0.63**	1

*و ** : به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns: غیر معنی‌دار.

* and **: are significant at the 5 and 1% probability levels, respectively and ns is non significant.

عملکرد دانه با کارایی جذب و مصرف نیتروژن همبستگی منفی و معنی‌دار داشت اما ارتباط بین عملکرد دانه و کارایی تبدیل نیتروژن مثبت و غیرمعنی‌دار بود (جدول ۴). همانطور که نتایج نشان داد با افزایش مصرف کود بر خلاف افزایش در عملکرد دانه، کارایی جذب، تبدیل و مصرف نیتروژن کاهش یافت. این بدان معنی است که ارتباط بین افزایش عملکرد دانه با صفات مرتبط با کارایی نیتروژن عکس یکدیگر بود. به عبارتی دیگر، در شرایط فعلی جهت دستیابی به عملکرد بالاتر به ناچار کارایی مصرف نیتروژن پائین می‌آید. با این وجود به نظر می‌رسد علت اصلی رابطه عکس بین عملکرد دانه و کارایی مصرف نیتروژن، پائین بودن کارایی جذب نیتروژن به‌علت ناکارامدی روش‌های مدیریت فعلی مصرف نیتروژن باشد (Ahmadi, 2015). کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2015) گزارش کردند که با افزایش کود نیتروژن، کارایی جذب و مصرف نیتروژن کاهش یافت. برخی از محققان کاهش کارآیی مصرف نیتروژن در

چنین شرایطی را به علت تصعید، دنیتریفیکاسیون، عدم جذب نیتروژن در اثر کاهش قابلیت محلول شدن آن و یا عدم استفاده مؤثر از این عنصر در مقادیر بالای نیتروژن به وسیله گندم گزارش کردند (Ahmadi, 2015; Khan et al., 2017).

نتیجه‌گیری

بطور کلی ارقام مورد بررسی در شرایط کاربرد مقادیر مختلف کود نیتروژن از نظر ویژگی‌های مورد ارزیابی واکنش متفاوتی از خود نشان دادند. با افزایش کاربرد کود نیتروژن علی‌رغم افزایش عملکرد دانه و ماده خشک کل، کارایی نیتروژن کاهش یافت که نشان می‌دهد علی‌رغم بهبود عملکرد در شرایط مصرف بالای نیتروژن، جهت جلوگیری از آلودگی‌های زیست محیطی و همچنین آبشویی، تصعید و فشردگی خاک در سیستم‌های زراعی، بهتر است از مصرف بیش از اندازه آن خودداری شود. بیشترین و کمترین عملکرد ماده خشک به ترتیب در ارقام پیشگام (۱۵۵۸۱) و اروم (۱۰۷۷۶) مشاهده شد و رقم پیشگام با ۶۱۲۵ کیلوگرم در هکتار نسبت به ارقام دیگر از عملکرد دانه بیشتری برخوردار بود. در بین ارقام مورد بررسی، بالاترین کارایی جذب نیتروژن مربوط به رقم پارسی بود، اگرچه این اختلاف با کارایی جذب نیتروژن ارقام زراع و پیشگام معنی‌دار نبود. با افزایش مصرف نیتروژن از ۹۰ به ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار کارایی جذب، تبدیل و مصرف نیتروژن ارقام گندم کاهش یافت، با این وجود رقم پیشگام در مقایسه با سایر ارقام دارای بیشترین کارایی تبدیل و مصرف نیتروژن بود. کارایی جذب نیتروژن در مقایسه با کارایی تبدیل نیتروژن تأثیر بیشتری بر کارایی مصرف نیتروژن داشت. علاوه بر این، عملکرد دانه با کارایی جذب و مصرف نیتروژن همبستگی منفی ولی با کارایی تبدیل نیتروژن رابطه مثبت و غیرمعنی‌دار داشت. با توجه به برآیند نتایج این تحقیق، به نظر می‌رسد در صورت تائید این نتایج در تحقیقات آتی، رقم پیشگام در مقایسه با سایر ارقام از نظر عملکرد دانه و کارایی نیتروژن دارای شرایط بهتری بود. بنابراین، اگرچه به‌نژادی ارقامی با کارایی تبدیل نیتروژن بالاتر می‌تواند گام مؤثری در افزایش کارایی مصرف نیتروژن ایفاء کند، ولی به نظر می‌رسد تمرکز بیشتر بر روش‌های مدیریت مصرف نیتروژن به ویژه مصرف به اندازه و به موقع آن می‌تواند اثر بیشتری بر کارایی مصرف نیتروژن داشته باشد.

منابع

Ahmadi, M. 2015. Evaluation of resource absorption and use efficiency in corn cultivars (*Zea mays*) under Kermanshah weather conditions. M.Sc. Thesis, Razi University, Kermanshah, Iran. (In Persian with English Summary)

Ahmadi, M., Mondani, F., Khoramivafa, M., Mohammadi, G., and Shirkhani, A. 2017. Evaluation of nitrogen efficiency in maize cultivars (*Zea mays* L.) under Kermanshah climate condition. Journal of Agroecology 10: 234-247. (In Persian with English Summary)

Alfred, E.H., Johnston, M., Sullivanc, J.N.O., and Polomad, S. 2000. Nitrogen use efficiency of taro and sweet potato in the humid lowlands of Papua New Guinea. Agriculture, Ecosystems and Environment 79: 271-280.

Ahmadinezhad, R., Najafi, N., Aliasgharzad, N., and Oustan, S. 2013. Effects of Organic and Nitrogen Fertilizers on Water Use Efficiency, Yield and the Growth Characteristics of Wheat (*Triticum aestivum* cv. Alvand). Water and Soil Science 23: 177-194. (In Persian with English Summary)

Asadi, G.A., Momen, A., Nurzadeh Namaghi, M., and Khorramdel, S. 2014. Effects of organic and chemical fertilizer rates on nitrogen efficiency indices of isabgol (*Plantago ovata* Forsk.). Journal of Agroecology 5: 373-382. (In Persian with English Summary)

Cerrato, M.E., and Blackmer, A.M. 1990. Relationship between grain nitrogen concentration and the nitrogen status of corn. Agronomy Journal 82: 744-749.

Emam, Y., Salimi Koochi, S., and Shekoofa, A. 2009. Effect of nitrogen levels on grain yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) under irrigation and rainfed conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 7: 321-332. (In Persian with English Summary)

Ehdaie, B., and Waines, J.G. 2001. Sowing date and nitrogen rate effects on dry matter and nitrogen partitioning in bread and durum wheat. Field Crop Research 73: 47-61.

FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Database). 2014. FAOSTAT Production Statistics of Crops. Available: http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E.

Garrido-Lestache, E., Lopez-Bellido, R.J., and Lopez-Bellido, L. 2005. Durum wheat quality under Mediterranean conditions as affected by N rate, timing and splitting, N form and S fertilization. European Journal of Agronomy 23: 265-278.

Guarda, G., Padovan, S., and Delogu, G. 2004. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. European Journal of Agronomy 21: 181-192.

Halvarson, A.D., Schweissing, F.C., and Reule, M.E. 2005. Corn response to nitrogen fertilization in a soil with high residual nitrogen. Agronomy Journal 97: 1222-1229.

Hosseini, R., Galeshi, S., Soltani, A., Kalateh, M., and Zahed, M. 2013. The effect of nitrogen rate on nitrogen use efficiency index in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Iranian Journal of Field Crops Research 11: 300-306. (In Persian with English Summary)

Khdemi, Z., Malakoti, M.G., and Lotfolahi, M.A. 1999. Optimal management of nitrogen in the wheat field to enhance performance and improve product quality. Journal of Soil and Water, especially a wheat, Institute of Soil and Water Research 12: 1-6.

Khan, A., Khan, A., Li, J., Ahmad, M.I., Sher, A., Rashid, A., and Ali, W. 2017. Evaluation of wheat varietal performance under different nitrogen sources. American Journal of Plant Sciences 8: 561-573.

Koocheki, A., Nasiri Mahallati, M., Moradi, R., and Alizadeh, Y. 2015. Evaluation of yield and nitrogen use efficiency of maize and cotton intercropping under different nitrogen levels. Iranian Journal of Field Crops Research 13: 1-13. (In Persian with English Summary)

MJA. 2014. Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. Iran annual agricultural statistics; www.maj.ir. (In Persian)

Moles, D.J., Rangai, S.S., Bourkeard, R.M., and Kasamani, C.T. 1984. Fertilizer responses of taro in Papua New Guinea In: S. Chandra (Ed), Edible Aroids Clarendon Press, Oxford, pp. 64-71.

Muurinen, S., Kleemola, J., and Peltonen-Sainio, P. 2007. Accumulation and translocation of nitrogen in spring cereal cultivars differing in nitrogen use efficiency. Agronomy Journal 99: 441-447.

Jafariani, M., Beheshti, A.R., and Taheri, G. 2010. Evaluation of nitrogen efficiency on grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) genotypes. Journal of Agroecology 2: 502-511. (In Persian with English Summary)

Ting, L.Z., Yang, J.Y., Drury, C.F., and Hoogenboom, G. 2015. Evaluation of the DSSAT-CSM for simulating yield and soil organic C and N of a long-term maize and wheat rotation experiment in the Loess Plateau of Northwestern China. Agricultural Systems 135: 90-104.

Sepehr, E., Malakouti, M.J., Kholdebarin, A., and Karimian, N. 2009. Genotypic variation in P efficiency of selected Iranian cereals in greenhouse experiment. International Journal of Plant Production 3: 17-28.

Sardana, V., and Sheoran, P. 2011. Production potential of canola oilseed rape (*Brassica napus*) cultivars in response to nitrogen and Sulphur nutrition. Indian Journal of Agricultural Science 81: 280-282.

Sheoran, P., Sardana, V., Singh, Sh., Kumar, A., Mann, A., and Sharma, P. 2016. Agronomic and physiological assessment of nitrogen use, uptake and acquisition in sunflower. International Journal of Plant Production 10: 110-121.

Timsina, T., Singh, U., Badaruddin, M., Meisner, C., and Amin, M.R. 2001. Cultivar, nitrogen, and water effects on productivity, and nitrogen-use efficiency and balance for rice–wheat sequences of Bangladesh. Field Crop Research 72: 143-161.

Zebarth, B.J., and Shcard, R.W. 1992. Influence of rate and timing of nitrogen fertilization application on yield and quality of hard red winter wheat. Canadian Journal of Plant Science 72: 13-19.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 87-102

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۰۲-۸۷

Evaluation of Nitrogen Uptake and Use Efficiency in Wheat Cultivars *(Triticum aestivum* L.) under Kermanshah Weather Conditions

F. Mondani[1*], A. Bozorgi Hossein Abad[2], M. Saeedi[3], A. Bagheri[4] and H. Heidari[5]

Submitted: 15-06-2017
Accepted: 30-08-2017

Mondani, F., Bozorgi Hossein Abad, A., Saeedi, M., Bagheri, A., and Heidari, H. 2019. Evaluation of nitrogen uptake and use efficiency in wheat cultivars *(Triticum aestivum* L.) under Kermanshah weather conditions. Journal of Agroecology. 11(1):87-102.

Introduction

Nitrogen is the most important mineral nutrient for crop growth and development that improve quality and quantity of yield. It is used in modern agroecosystems to maximize yields. In harvest time, about 40 to 60% of applied nitrogen to the fields must be compensated by different fertilizers. Nevertheless, only 30 to 50% of consumed nitrogen is taken up by the crops and high amount of it is lost. Improved economic cost and environmental concerns augmented managing use of fertilizers. Improvement of nitrogen use efficiency has become an urgent target in crop production for efficient nitrogen utilization, maximum energy saving and productivity. In the sustainable agriculture approaches, there are several ways for increasing nitrogen use efficiency such as selection of suitable varieties. There is about six million hectare of wheat in Iran. Kermanshah Province with 6.4% of cultivation area and 6.6% of wheat production is the fifth place in Iran. In this province consumes large amounts of N fertilizers annually in the wheat agroecosystem. Therefore, the aims of this study were evaluating nitrogen uptake and utilization efficiency, and final nitrogen use efficiency in the wheat production system under Kermanshah weather condition.

Materials and methods

A split-plot experiment based on the randomized complete block design with three replications was conducted in the Campus of Agriculture and Natural Resources Field at Razi University under Kermanshah weather condition during 2015-2016. The experiment treatments were four levels of nitrogen fertilizer rate (90, 180, 300, 360 kg ha^{-1} of urea) as main-plot and four wheat varieties (Parsi, Zare, Pishgam and Orum) as sub-plot. The evaluated traits were included total dry weight yield, grain yield, biomass nitrogen content, nitrogen uptake efficiency (NU_pE), nitrogen utilization efficiency (NU_tE) and nitrogen use efficiency (NUE). Data analysis was done by SAS software (ver. 9.4) and means comparison by LSD tests were also carried out at the level of 5%.

Results and discussion

The results showed that under nitrogen fertilizer rate treatments, Pishgam variety in comparison with other varieties had the most satisfying ecophysiological characteristics. Regardless of studied varieties, by increasing the rate of urea fertilizer from 90 to 360 kg ha^{-1} total dry weight yield (65.9%) and grain yield (73.1%) were improved. In this situation, Pishgam variety had the highest grain yield (37.4%) compared to other varieties. The highest and the lowest grain yield were related to Pishgam variety (8950 kg ha^{-1}) in 360 kg_{urea} ha^{-1} treatment and Orum variety (1264 kg ha^{-1}) in 90 kg_{urea} ha^{-1} treatment, respectively. The results also showed that the highest NU_pE observed in the lowest level of fertilizer rate for Zare variety (0.7 kg N_{uptake}/kg $N_{soil+applied}$) and the lowest NU_pE observed in the highest level of fertilizer rate for Orum variety (0.26 kg N_{uptake}/kg $N_{soil+applied}$). The greatest and the lowest NU_tE were for Pishgam variety (59 kg grain/kg N_{uptake}) in 90 kg_{urea} ha^{-1} treatment and Orum variety (37 kg grain/kg N_{uptake}) in 360 kg_{urea} ha^{-1} treatment, respectively. In relation to NUE, Pishgam variety had the highest value (36 kg grain/kg $N_{soil+applied}$) under 90 kg_{urea} ha^{-1} treatment and Orum variety had the lowest value (10 kg grain/kg $N_{soil+applied}$) under 36090 kg_{urea} ha^{-1} treatment. Our results also indicated that grain yield had a significant positive correlation with

1, 2, 4 and 5- Assistant Professor, M.Sc. Student and Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran, respectively.
3- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran.
(*- Corresponding Author Email: f.mondani@razi.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v11i1.65109

nitrogen content at anthesis and maturity while there was a significant negative correlation with NU_pE and NUE. The relation of grain yield with NU_tE was positive and no significant.

Conclusion

The results showed that most of traits of wheat varieties such as grain yield and total dry weight yield were improved by increased nitrogen fertilizer rate. But, evaluation of traits related to nitrogen efficiency showed that NUE reduced by increasing of nitrogen fertilizer rate for all wheat varieties. The NU_pE compare to NU_tE had more effect on NUE. The grain yield had a significant negative correlation with NU_pE and NUE but it had a positive correlation with NU_tE. Although, breeding of varieties with higher NU_tE can be cooperate an effective role in improvement of NUE but it seems that emphasis on nitrogen management consumption methods can be more effective.

Keywords: Biomass nitrogen content, Nitrogen uptake efficiency, Nitrogen utilization efficiency, Nitrogen use efficiency, Wheat varieties

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۲۲-۱۰۳

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 103-122

برآورد میزان ترسیب کربن در بوم‌نظام‌های زراعی ایران با استفاده از مدل‌های تجربی

الهه برومند رضازاده[۱]، علیرضا کوچکی[۲*]، پرویز رضوانی مقدم[۲]، مهدی نصیری محلاتی[۲] و امیر لکزیان[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۱۴

برومند رضازاده، ا.، کوچکی، ع.، رضوانی مقدم، پ.، نصیری محلاتی، م.، و لکزیان، ا. ۱۳۹۸. برآورد میزان ترسیب کربن در بوم‌نظام‌های زراعی ایران با استفاده از مدلهای تجربی. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱(۱): ۱۲۲-۱۰۳.

چکیده

ترسیب کربن به معنای افزایش دائمی ذخیره کربن در خاک، ماده گیاهی یا آب بوده و خاک به عنوان بزرگ‌ترین مخزن کربن در بوم‌نظام‌های خشکی دنیا، نقش مهمی در چرخه جهانی کربن دارد. هدف این مطالعه، مدل‌سازی رابطه سرعت تجزیه بقایای گیاهان زراعی با رژیم‌های رطوبتی خاک و نسبت کربن به نیتروژن بقایا و نیز محاسبه میزان کربن قابل ترسیب در کشت آبی پنج محصول زراعی عمده در ایران بود. به همین منظور تجزیه بقایای گیاهی گندم (*Triticum aestivum* L.)، ذرت (*Zea mays* L.)، کلزا (*Brassica napus* L.)، پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) و سویا (*Glycine max* L.) در رژیم‌های مختلف رطوبتی خاک طی ۳۹۰ روز انکوباسیون مورد مطالعه قرار گرفت و از داده‌های حاصله برای مدل‌سازی تجزیه بقایا استفاده گردید. همچنین محاسبه میزان کربن قابل ترسیب در این محصولات در پنج سال زراعی بر اساس عملکرد، شاخص برداشت و نسبت اندام‌های هوایی به ریشه در سه سناریوی بازگشت کامل بقایا، بازگشت ۵۰ درصد بقایا و حذف کامل بقایای اندام‌های هوایی و سه سناریوی رطوبتی ۱۰۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه انجام شد. مقایسه میزان کربن قابل ترسیب در استان‌های مختلف نشان داد که در کشت گندم: استان‌های کرمانشاه و سیستان و بلوچستان، ذرت: قزوین و خراسان جنوبی، کلزا: اصفهان و بوشهر، پنبه: آذربایجان شرقی و هرمزگان، سویا: اردبیل و آذربایجان شرقی به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار کربن قابل ترسیب را دارا بودند. با افزایش میزان رطوبت از ۳۰ به ۶۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه و همچنین با کاهش درصد برگشت بقایا به خاک از ۱۰۰ به ۵۰ درصد و حذف کامل بقایا، میزان کربن قابل ترسیب در خاک همه محصولات مورد مطالعه کاهش یافت. در بین محصولات مورد مطالعه، ذرت و سویا به ترتیب از بالاترین و پایین‌ترین میزان کربن قابل ترسیب برخوردار بودند. همچنین، در بین استان‌های مختلف از نظر مجموع کربن قابل ترسیب محصولات مورد مطالعه، استان اردبیل بیشترین و استان سیستان و بلوچستان کمترین مقدار کربن قابل ترسیب در خاک را دارا بودند.

واژه‌های کلیدی: بازگشت بقایا، درصد تجزیه، رطوبت خاک

مقدمه

افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای نظیر دی‌اکسیدکربن، متان، اکسیدهای نیتروژن، کلروفلوروکربن‌ها و ازن (Fishman, 2003; Hardy, 2003) سبب افزایش دمای سطح زمین یا به عبارتی پدیده گرمایش جهانی و تغییر اقلیم شده (Scorer, 2002) و در این بین، اهمیت گاز دی‌اکسیدکربن بیش از سایر گازها است، بطوری‌که حدود ۶۰ درصد اثر گلخانه‌ای به این گاز نسبت داده می‌شود. از آنجایی‌که در شرایط تغییر اقلیم، درجه‌حرارت جوّ و الگوی بارندگی تغییر یافته و این دو عامل بیشترین تأثیر را در بخش کشاورزی دارند، لذا پتانسیل کشاورزی مناطق مختلف به شدت تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار گرفته و این آثار در مناطق خشک و نیمه خشک جهان نظیر ایران محسوس‌تر است (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2006). نتایج بررسی‌های روزنویگ و پاری (Rosenzweig & Parry, 1994) حاکی از کاهش ۲۰ تا ۴۰ درصدی عملکرد غلات دیم در ایران تا سال ۲۰۸۰ میلادی می‌باشد.

به دلیل مشکلاتی که در نتیجه تغییرات اقلیمی در نظام‌های کشاورزی بوجود خواهد آمد (Menzel & Fabian, 1999; Nassiri Mahallati & Koocheki, 2006)، لزوم مقابله با شرایط تغییر اقلیم

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دکتری زراعت اکولوژی گیاهان زراعی، استاد گروه اگروتکنولوژی و استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: akooch@um.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v11i1.50344

و افزایش دی‌اکسیدکربن و نیز سازگاری نظام‌های کشاورزی به این شرایط به شدت احساس می‌شود. راهکارهایی که در این رابطه مطرح می‌باشد، در قالب کاهش تولید دی‌اکسیدکربن و یا حذف آن از اتمسفر است. کاهش تولید دی‌اکسیدکربن از طریق کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی در نتیجه بهبود کارآیی مصرف انرژی و نیز استفاده از منابع انرژی جایگزین نظیر سوخت‌های زیستی است. همچنین حذف کربن از اتمسفر از طریق ذخیره آن به شکل زیست‌توده در اندام‌های گیاهی و یا خاک به عنوان بزرگ‌ترین مخزن کربن بوم‌نظام‌های خشکی و وارد کردن کربن آلی به درون خاک در قالب بقایای گیاهی و استفاده از کودهای آلی در نظام‌های کشاورزی است که از آن تحت عنوان ترسیب کربن یاد می‌شود (Chen et al., 2007; Lal, 2002; Parshotam et al., 2001). تخمین زده شده است که سطح زیر کشت گیاهان زراعی در کل دنیا ۱/۷ میلیارد هکتار است که این سطح می‌تواند حدود ۱۷۰ پتا گرم[1] کربن در خود ذخیره کند (Paustian et al., 2000).

ترسیب کربن که بصورت بالقوه یا پتانسیل، قابل حصول و واقعی قابل بررسی می‌باشد، فرآیند پیچیده‌ای است که تحت تأثیر عوامل مختلف قرار دارد. در ترسیب کربن بالقوه حداکثر مقدار ممکن ذخیره کربن در خاک، در ترسیب کربن قابل حصول یا کربن قابل ترسیب عوامل محدود کننده میزان ورود کربن به خاک و در ترسیب کربن واقعی عوامل کاهش دهنده ذخیره کربن مدنظر است. از آنجایی‌که تفاوت کربن ورودی ناشی از بقایای گیاهی و شرایط اقلیمی بین مناطق مختلف زیاد است، بنابراین یکی از شیوه‌های منطقی تخمین ترسیب کربن در مقیاس وسیع، استفاده از روش‌های مدلسازی است که بتواند با در نظر گرفتن شرایط موجود اقلیمی و نوع گیاهان کشت شده، ترسیب کربن را در سطح منطقه‌ای یا ملی ارزیابی نماید.

هدف این مطالعه بررسی توانایی بقایای پنج محصول زراعی عمده، گندم (*Triticum aestivum* L.)، کلزا (*Brassica napus* L.)، ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.)، سویا (*Glycin max* L.) و پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) و بوم‌نظام‌های زراعی کشور در ترسیب کربن در خاک، مطالعه اثر رطوبت خاک بر سرعت تجزیه و مقایسه روند تجزیه بقایای گیاهان زراعی مختلف در طی زمان و یافتن رابطه بین سرعت تجزیه نسبی بقایای گیاهان زراعی با میزان رطوبت خاک و نسبت کربن به نیتروژن بقایا بود.

مواد و روش‌ها

مطالعه آزمایشگاهی

این مطالعه در سال ۱۳۸۷ در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد بصورت آزمایش کرت‌های خرد شده در زمان در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به اجراء در آمد. فاکتورهای آزمایش عبارت بودند از: ۱- پنج نوع بقایای گیاهی شامل گندم، کلزا، ذرت دانه‌ای، سویا و پنبه و شاهد بدون بقایا، ۲- رژیم رطوبتی خاک شامل سه سطح ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه و ۳- زمان نمونه‌گیری با فواصل ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۹۰، ۱۴۰، ۱۹۰، ۲۴۰، ۲۹۰، ۳۴۰ و ۳۹۰ روز پس از شروع انکوباسیون. بقایای گیاهی و رطوبت خاک بصورت فاکتوریل در کرت اصلی و زمان در کرت فرعی منظور شد.

بقایای گیاهی مورد استفاده در مرحله رسیدگی و پس از برداشت محصول از مزرعه جمع‌آوری گردید. بقایای گندم، ذرت و سویا از مزارع مشهد و بقایای کلزا و پنبه به ترتیب از مزارع نیشابور و جلگه رخ تهیه شد. برای بررسی تجزیه بقایای گیاهی از اندام‌های هوایی و ریشه گیاه به نسبتی که در جدول ۱ آورده شده است، استفاده شد (Li et al., 1994; Yan et al., 2007). محتوی نیتروژن بقایای گیاهی به روش هضم مرطوب با اسید سولفوریک (Bremner, 1970) و میزان کربن بقایای گیاهی به روش والکی و بلک (Walkley& Black, 1934) اندازه‌گیری شد.

روش اجرای آزمایش

به منظور بررسی میزان و روند تجزیه بقایای گیاهی از روش کیسه لاشبرگ[2] استفاده شد (Hemwong et al., 2008; Vazquez et al., 2003). بدین صورت که بقایای گیاهی به قطعاتی به طول یک سانتی‌متر خرد شده و سپس ۱۲۰۰ میلی‌گرم از آنها (شامل اندام هوایی و ریشه گیاه) در داخل کیسه‌هایی با منافذ ۰/۵ میلی‌متری ریخته شده و درون ظرف‌های پلاستیکی که حاوی ۱۰۰ گرم خاک عبور داده شده از الک دو میلی‌متری بود، قرار داده شدند. برای تیمار شاهد از کیسه بدون بقایا استفاده گردید. به منظور تهویه مناسب و در عین‌حال جلوگیری از خشک شدن سریع خاک روی در ظروف منافذی ایجاد و در ظرف‌ها بسته شد. سپس ظروف درون انکوباتور با دمای ثابت ۲۵ درجه سانتیگراد و شرایط تاریکی قرار گرفتند.

به منظور اطمینان از مرطوب شدن تمامی خاک داخل ظرف و بقایای گیاهی، در اولین آبیاری تمامی تیمارها به ظرفیت مزرعه رسانده شد و در مراحل بعدی کاهش رطوبت اعمال گردید. برای اعمال تیمارهای رطوبت خاک از روش وزنی استفاده شده و رطوبت مورد نیاز نمونه‌ها هر ۷-۵ روز یک‌بار تأمین شد. نمونه‌برداری طی

۱- پتا گرم= 10^{15} گرم

2- Litter bag

زمان صورت گرفت. در هر بار نمونه‌برداری کیسه لاشبرگ از خاک خارج شده و پس از خشک شدن در معرض هوا، جداسازی بقایای گیاهی صورت گرفت. مقدار وزن خشک بقایای تجزیه نشده پس از شستن بقایا و خشک کردن در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید.

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیائی و نسبت ریشه به ساقه در بقایای گیاهی
Table 1- Chemical properties and root: shoot ratio of plant residues

خصوصیات بقایا Parameters	پنبه Cotton	سویا Soybean	ذرت Maize	کلزا Rapeseed	گندم Wheat
کربن کل (گرم بر کیلوگرم) Total carbon ($g.kg^{-1}$)	412	405	409	400	393
نیتروژن کل (گرم بر کیلوگرم) Total nitrogen ($g.kg^{-1}$)	4.3	7	4.7	5.9	3
نسبت کربن به نیتروژن Carbon to nitrogen ratio	95.9	57.8	87.1	67.9	131
نسبت ریشه به اندام هوایی Root: shoot ratio	**0.49**	**0.39**	**0.35**	**0.35**	**0.43**

مدلسازی تجزیه بقایای گیاهی

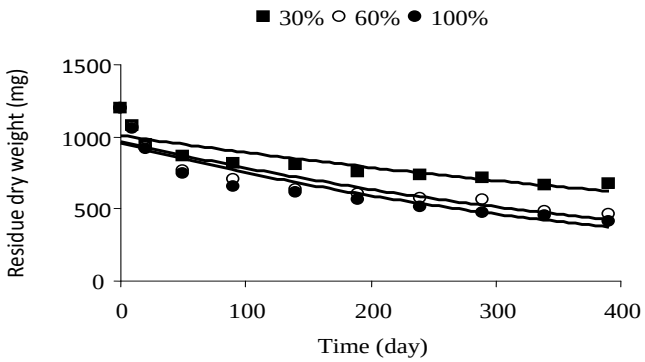
بقایای گیاهی داخل خاک به عنوان یک منبع همگن از مواد آلی فرض شده و سرعت تجزیه آن در داخل خاک از روند زوال نمایی (معادله ۱) تبعیت می‌نماید.

معادله (۱) $dY/dt = -kY \qquad Y_t = Y_0\, e^{(-kt)}$

Y_0 و Y_t: میزان بقایای گیاهی بر حسب گرم بر کیلوگرم خاک به ترتیب در زمان صفر و t و k: سرعت تجزیه نسبی بقایای گیاهی با واحد $^{1}/_{روز}$ است (Thorburn et al., 2001) که به عنوان تابعی از رطوبت، نسبت کربن به نیتروژن و نیز درجه حرارت بیان می‌گردد (معادله ۲).

معادله (۲) $k= k_{max}\, F_{C:N}\, F_m F_{temp}$

که در آن k_{max}: سرعت تجزیه نسبی حداکثر یا بالقوه و $F_{C:N}$، F_m و F_{temp} عواملی هستند که مقدار آنها بین صفر تا یک تغییر نموده و به ترتیب بیانگر محدودیت‌های ناشی از نسبت کربن به نیتروژن بقایا، رطوبت و درجه حرارت در تجزیه بقایای گیاهی می‌باشند.



شکل ۱- روند تجزیه بقایای گیاهی در خاک به عنوان تابعی از میزان رطوبت خاک (درصد از ظرفیت مزرعه)
Fig. 1- Residue decomposition in soil as a function of soil moisture (percentage of field capacity)

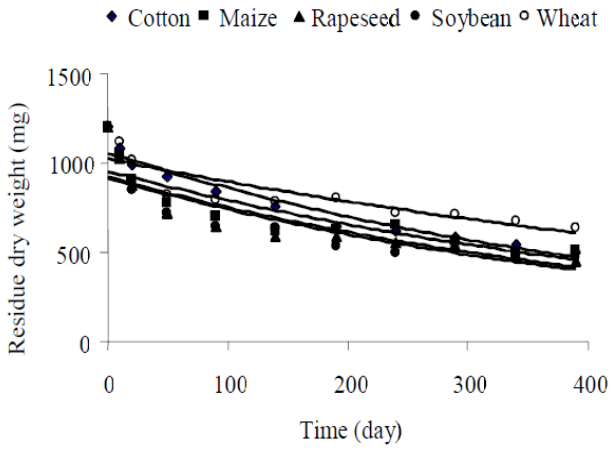
برای تعیین رابطه بین مقدار سرعت نسبی تجزیه بقایا با عامل رطوبت، ابتدا نمودار میزان تجزیه بقایا در طی زمان برای سه سطح رطوبتی ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه ترسیم و معادله زوال نمایی برای هریک برازش داده شد (شکل ۱). سپس مقادیر سرعت تجزیه نسبی و نیمه عمر بقایا (زمان لازم برای ۵۰ درصد کاهش وزن خشک) در مقادیر مختلف رطوبت خاک بر اساس معادلات نمایی برازش شده محاسبه گردید (جدول ۲). به منظور تعیین رابطه بین مقدار سرعت نسبی تجزیه بقایا به عنوان تابعی از نسبت کربن به نیتروژن بقایای گیاهی نیز ابتدا نمودار روند تجزیه بقایا طی زمان ترسیم، سپس معادله زوال نمایی برای هریک برازش داده شد (شکل

۲). پس از آن مقادیر سرعت تجزیه نسبی و نیمه عمر بقایا در نسبت‌های کربن به نیتروژن بقایا بر اساس معادلات نمایی برازش شده محاسبه گردید (جدول ۳).

جدول ۲- مقادیر سرعت تجزیه نسبی و نیمه عمر بقایا (زمان لازم برای ۵۰ درصد کاهش) در مقادیر مختلف رطوبت خاک بر اساس معادلات نمایی برازش شده در شکل ۱

Table 2- Residue relative decomposition rate and half-time (time needed for 50% reduction of residue dry weight) in different soil moisture regimes based on the fitted exponential equations in fig. 1

رطوبت خاک (درصد از ظرفیت مزرعه) Soil moisture (percentage of field capacity)	سرعت تجزیه نسبی ($1/$روز) Relative decomposition rate (1/day)	نیمه عمر بقایا (روز) Residue half-time (day)	ضریب تبیین (r^2)
30	0.0012	578	0.82
60	0.0021	330	0.87
100	0.0024	289	0.89



شکل ۲- روند تجزیه بقایای گیاهی در خاک به عنوان تابعی از نوع بقایا (با مقادیر مختلف کربن به نیتروژن)

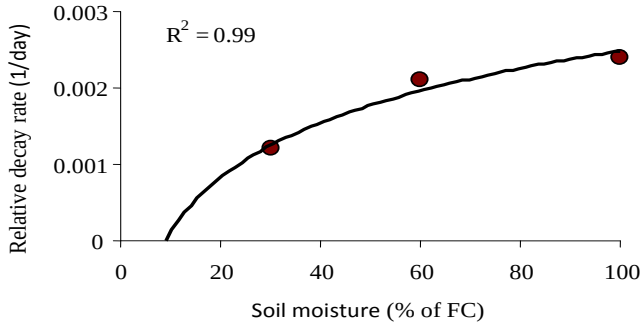
Fig. 2- Residue decomposition in soil as a function of residue type (with different C:N ratios)

جدول ۳- مقادیر سرعت تجزیه نسبی و نیمه عمر بقایا (زمان لازم برای ۵۰ درصد کاهش) برای انواع مختلف بقایای گیاهی با مقادیر مختلف نسبت کربن به نیتروژن بر اساس معادلات نمایی برازش شده در شکل ۲

Table 3- Residue relative decomposition rate and half-time for different residue types with different C:N ratios based on the fitted exponential equations in fig. 2

نوع بقایا (نسبت کربن به نیتروژن) Residue type (C:N ratio)	سرعت تجزیه نسبی ($1/$روز) Relative decomposition rate (1/day)	نیمه عمر بقایا (روز) Residue half-time (day)	ضریب تبیین r^2
سویا Soybesn (58)	0.0021	330	0.95
ذرت Maize (87)	0.0019	364	0.82
پنبه Cotton (96)	0.0020	346	0.82
کلزا Rapeseed (68)	0.0021	330	0.81
گندم Wheat (131)	0.0013	533	0.80

در مرحله بعد نمودار سرعت نسبی تجزیه بقایا در برابر مقادیر مختلف رطوبت خاک و نسبت‌های کربن به نیتروژن ترسیم و بهترین معادله رگرسیونی بر اساس ضریب تبیین به آن‌ها برازش داده شد (شکل‌های ۳ و ۴).

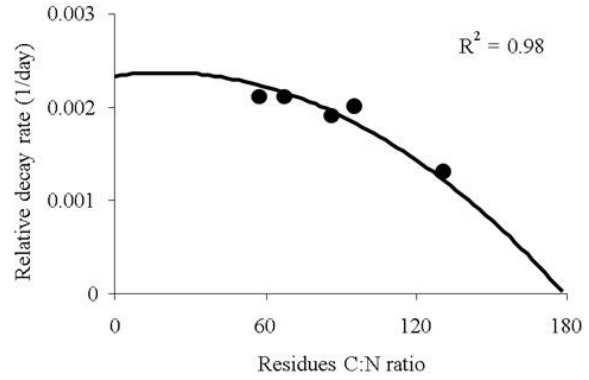


شکل ۳- رابطه سرعت تجزیه نسبی بقایای گیاهی در خاک (k) و رطوبت خاک

با کاهش رطوبت خاک به کمتر از ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه، سرعت تجزیه به شدت کاهش یافته و در رطوبت حدود نه درصد ظرفیت مزرعه، مقدار k صفر خواهد بود.

Fig. 3- Relationship between residue decomposition rate (k) and soil moisture

Decomposition rate sharply decreases as soil moisture falls below 60 percent and it will be equal to zero in soil moisture of nearly nine percent of field capacity.



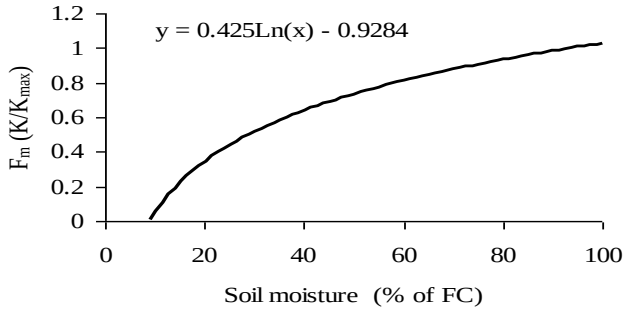
شکل ٤- رابطه سرعت تجزیه نسبی بقایای گیاهی در خاک (k) و نسبت کربن به نیتروژن بقایا

با افزایش نسبت کربن به نیتروژن به بیش از ۶۵، سرعت تجزیه به شدت کاهش یافته و در نسبت کربن به نیتروژنی حدود ۱۸۰، مقدار k صفر خواهد بود.

Fig. 4- Relationship between residue decomposition rate (k) and residue C:N

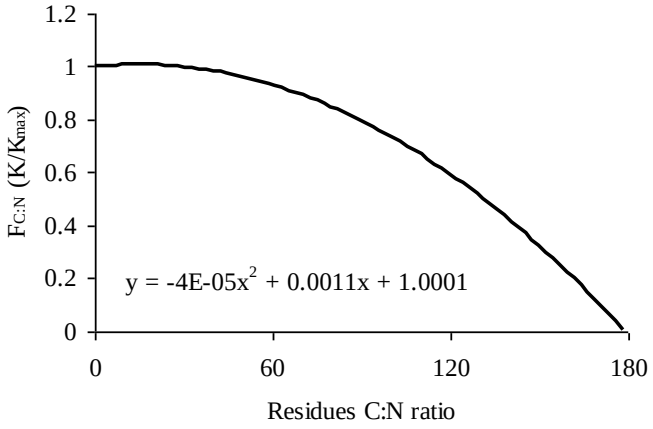
Decomposition rate sharply decreases as C:N increases to more than 65 and it will be equal to zero in C:N ratio of nearly 180.

در مرحله آخر، عامل رطوبت و نسبت کربن به نیتروژن بر اساس نسبت مقادیر سرعت تجزیه نسبی به سرعت تجزیه نسبی حداکثر (k/k_{max}) برای مقادیر مختلف رطوبت خاک و نیز نسبت کربن به نیتروژن محاسبه و نمودار آن ترسیم شد (شکل‌های ۵ و ۶).



شکل ۵- عامل رطوبت (F_m) به عنوان نسبت سرعت تجزیه نسبی به سرعت تجزیه نسبی حداکثر

Fig. 5- Moisture factor (F_m) as the ratio of relative decomposition rate (k) to maximum relative decomposition rate (k_{max})



شکل ٦- عامل نسبت کربن به نیتروژن ($F_{C:N}$) به عنوان نسبت سرعت تجزیه نسبی به سرعت تجزیه نسبی حداکثر

Fig. 6- C:N factor ($F_{C:N}$) as the ratio of relative decomposition rate (k) to maximum relative decomposition rate (k_{max})

از آنجایی که در این مطالعه اندازه‌گیری تجزیه بقایای گیاهی در دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام شده بود، برای عامل درجه حرارت از معادله ۳ (Thorburn et al., 2001) استفاده گردید.

معادله (۳) $F_{temp} = (T/T_{opt})^{2},\ T \le T_{opt}\ \ T_{opt} = 25\ °C$

که در آن F_{temp}: عامل درجه حرارت، T: درجه حرارت متوسط ماهیانه و T_{opt}: درجه حرارت بهینه برای تجزیه بقایای گیاهی است.

برای محاسبه نیمه عمر بقایا از معادله (۴) استفاده شد:

معادله (۴) $t_{(1/2)} = -Ln\ (0.5)/k$

که در آن $t_{(1/2)}$: مدت زمان لازم برای ۵۰ درصد کاهش وزن بقایای گیاهی و k: سرعت تجزیه نسبی بقایا می‌باشد.

ارزیابی میزان کربن قابل ترسیب در بوم‌نظام‌های گندم، کلزا، ذرت، سویا و پنبه در ایران: تعیین میزان تولید و برگشت بقایای گیاهی به خاک

در این بخش میزان کربن قابل ترسیب در بوم‌نظام‌های پنج محصول زراعی عمده در ایران محاسبه شد. محاسبه براساس آمار عملکرد و سطح زیر کشت سازمان جهاد کشاورزی برای تمامی استان‌هایی که کشت گیاهان مذکور در آنها صورت گرفته و آمار آنها برای حداقل سه سال از پنج سال زراعی ۸۳-۱۳۸۲ تا ۸۷-۱۳۸۶ موجود بود انجام شد.

در اولین گام، میزان تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی (ANPP[1]) و اندام‌های زیرزمینی (BNPP[2]) برای هر محصول بر اساس معادلات ۵ و ۶ محاسبه گردید (Bolinder et al., 2007).

معادله (۵) $ANPP = Y_P + Y_S$

معادله(۶) $BNPP = Y_R + Y_E$

ANPP: تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی ($gm^{-2}y^{-1}$)، BNPP: تولید خالص اولیه اندام‌های زیرزمینی ($gm^{-2}y^{-1}$)، Y_P: عملکرد اقتصادی ($gm^{-2}y^{-1}$)، Y_S: وزن اندام‌های هوایی باقیمانده پس از برداشت ($gm^{-2}y^{-1}$)، Y_R: وزن ریشه ($gm^{-2}y^{-1}$) و Y_E: وزن بقایای ریشه در خاک ($gm^{-2}y^{-1}$)

مقدار Y_S، Y_R و Y_E از طریق معادلات ۷ تا ۹ محاسبه شد (Bolinder et al., 2007).

معادله (۷) $Y_S = Y_P\ (1\text{-}HI)/\ HI$

معادله (۸) $Y_R = Y_P/\ (S{:}R \times HI)$

معادله (۹) $Y_E = Y_R \times 0.65$

S:R برابر با نسبت اندام‌های هوایی به ریشه و HI: شاخص برداشت است (شاخص برداشت برای گندم، کلزا، ذرت، سویا و پنبه به ترتیب ۰/۳۷، ۰/۲۵، ۰/۴۴، ۰/۴۴ و ۰/۳۸ در نظر گرفته شد) (Li et al., 1994; Yan et al., 2007).

سپس بر اساس نسبت بقایایی که از طریق اندام‌های مختلف گیاهی اضافه می‌شود، مقدار بقایای گیاهی وارد شده به خاک (Yi) با استفاده از معادله ۱۰ تعیین شد (Bolinder et al., 2007).

معادله (۱۰) $Yi = (Y_P \times S_P) + (Y_S \times S_S) + (Y_R \times S_R) + (Y_E \times S_E)$

که در آن، S_P، S_S، S_R و S_E: به ترتیب نسبت بقایای اضافه شده از طریق اضافه شدن دانه، سایر اندام‌های هوایی، ریشه و بقایای ریشه به خاک با مقادیر S_P=۰، S_R= ۱، و S_E = ۰/۶۵ می‌باشد.

سناریوهای میزان برگشت بقایا به خاک و رطوبت خاک

جهت بررسی تأثیر میزان بقایای وارد شده به خاک بر میزان کربن قابل ترسیب در خاک، سه سناریوی بازگشت بقایا در نظر گرفته شد. برای این منظور سه سطح بازگشت کامل، بازگشت ۵۰ درصد و حذف کامل بقایای اندام‌های هوایی در نظر گرفته شد و بر این اساس مقدار

1- Aboveground net primary production
2- Belowground net primary production

ضریب S_S (در معادله ۱۰) برای بازگشت کامل S_S=۱ و برای بازگشت ۵۰ درصد بقایا S_S = ۰/۵ لحاظ گردید. از آنجایی‌که در حالت حذف کامل بقایا، بخشی از اندام‌های هوایی به صورت برگ‌های ریخته شده و نیز کلش روی سطح زمین باقی می‌ماند، در این حالت مقدار S_S برای بقایای گندم و کلزا، ۰/۱۵ و برای ذرت، سویا و پنبه، ۰/۱ در نظر گرفته شد (Bolinder et al., 2007). همچنین جهت بررسی تجزیه بقایای گیاهی در رژیم‌های مختلف رطوبت خاک، سه سناریوی رطوبتی شامل ۳۰ و ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه و ظرفیت کامل مزرعه (۱۰۰ درصد) لحاظ گردید.

تعیین درصد تجزیه بقایای گیاهی و مقدار کربن قابل ترسیب در خاک

پس از اینکه میزان بازگشت بقایا (مقدار بقایای وارد شده به خاک) در سه سناریوی ذکر شده برای هر محصول برآورد گردید، مقدار تجزیه بقایای گیاهی در خاک طی یکسال پس از برداشت محصول محاسبه شد. برای این منظور از میانگین درجه حرارت ماهیانه هر استان و سناریوهای رطوبتی ذکر شده برای محاسبه مقدار F_t و F_m از مدل ساخته شده در بخش قبل استفاده گردید و میزان تجزیه برآورد شد. سپس تفاوت بین مقدار بقایای وارد شده به خاک و مقدار تجزیه شده در خاک به عنوان بقایای تجزیه نشده در نظر گرفته شد. از آنجایی که محتوای کربن مواد آلی ۴۵ درصد وزن خشک است (Yan et al., 2007)، لذا این ضریب در وزن خشک باقیمانده ضرب شده و حاصل آن به عنوان کربن قابل ترسیب در خاک در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که جداول داده‌های مربوط به زیست‌توده و نیز میانگین درجه حرارت ماهیانه استان‌های کشور ارائه نشده و فقط در مواردی که جهت بحث و تفسیر نتایج، این داده ها مورد نیاز بوده، اعداد مربوطه در متن مقاله آورده شده است.

جمع‌آوری اطلاعات و روش‌های آماری

برای محاسبه میانگین درجه حرارت ماهیانه هر استان، اطلاعات مربوط به درجه حرارت ماهیانه تمامی ایستگاه های کشور از سازمان هواشناسی کشور دریافت و سپس میانگین درجه حرارت ایستگاه‌های هر استان به عنوان درجه حرارت متوسط ماهیانه آن استان در بررسی تجزیه بقایای گیاهی منظور شد. اطلاعات مربوط به عملکرد و سطح زیر کشت گیاهان مورد مطالعه (از سال زراعی ۸۳-۱۳۸۲ تا ۸۷-۱۳۸۶) از بانک اطلاعات زراعت سازمان جهاد کشاورزی کشور دریافت شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های کربن قابل ترسیب در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار Minitab 16 انجام و میزان برگشت بقایا، رطوبت خاک و سال زراعی به عنوان فاکتورهای آزمایش لحاظ شد. مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۰/۰۵ صورت گرفت.

نتایج و بحث

کربن قابل ترسیب در کشت گندم

در بین استان‌های مختلف کشور استان‌های کرمانشاه، تهران و اصفهان بیشترین و استان‌های سیستان و بلوچستان، گیلان و بوشهر، کمترین کربن قابل ترسیب در خاک را در کشت گندم داشتند و اختلاف بین استان‌های دارای بیشترین (کرمانشاه) و کمترین (سیستان و بلوچستان) مقدار کربن قابل ترسیب در خاک ۶۱ درصد بود (جدول ۴).

میزان کربن قابل ترسیب در محصولات زراعی، ارتباط مستقیمی با مقدار تولید زیست‌توده گیاه زراعی داشته که مقدار زیست‌توده خود تحت تأثیر عوامل مختلف اقلیمی، به‌زراعی و به‌نژادی قرار دارد. محصولات زراعی در سطح کشور غالباً از نظر به‌نژادی در یک سطح قرار داشته و بیشترین دلیل اختلاف عملکرد و تولید آنها به مسائل به‌زراعی و شرایط اقلیمی محیط برمی‌گردد که در این نوع مطالعات عوامل به‌زراعی برای همه نقاط یکسان در نظر گرفته می‌شود. شرایط اقلیمی که خود از عوامل ایجاد تنش‌های محیطی مانند خشکی، درجه حرارت و غیره می‌باشد، سبب تفاوت عملکرد مناطق مختلف می‌گردد. به نظر می‌رسد اختلاف مقدار کربن قابل ترسیب در استان‌های مختلف کشور به دلیل شرایط متفاوت اقلیمی باشد. شرایط محیطی نامساعد همچون بارندگی کمتر و درجه حرارت بالاتر در استان سیستان و بلوچستان نسبت به استان کرمانشاه، سبب ایجاد زیست-توده کمتر و در نهایت کربن قابل ترسیب پایین‌تری گردید. این امر برای استان‌های دیگر با وضعیت مشابه اقلیمی نظیر بوشهر نیز مشاهده شد.

از طرف دیگر در شرایطی که میانگین درجه حرارت محیط بالا باشد، شرایط مساعدتری برای تجزیه بقایای گیاهی در خاک ایجاد می‌شود. استان‌های جنوبی کشور نظیر بوشهر و سیستان و بلوچستان با متوسط درجه حرارت به ترتیب ۲۵/۴ و ۲۳/۹ درجه سانتی‌گراد از درصد تجزیه بالاتری (۲۱/۴ و ۲۰/۳ درصد) نسبت به استان‌های غربی نظیر کرمانشاه (۱۳/۸ درصد) با متوسط درجه حرارت ۱۶/۲ درجه سانتی-گراد برخوردار بودند (جدول ۵). تأثیر درجه حرارت بر تجزیه بقایای گیاهی در مطالعات مختلف نشان داده شده (Hobbie, 1996; Zhou et al, 2007) و اعتقاد بر این است که اثر درجه حرارت بر افزایش تجزیه بقایای گیاهی بیش از اثر آن بر مقدار تولید اولیه محصول می‌باشد (Jenkinson et al., 1991; Kätterer et al., 1998; Kern & Johnson, 1993; Kirschbaum, 1995; Crohn & Valenzuela-Solano, 2003)

جدول ٤- میانگین کربن قابل ترسیب در کشت گندم (کیلوگرم در هکتار) در استان‌های مختلف کشور در طی پنج سال زراعی از ۸۳-۱۳۸۲ تا ۸۷-۱۳۸٦

Table 4- Attainable carbon sequestration in wheat (kg.ha^{-1}) in different Iran's provinces in five years from 2002-2003 to 2006-2007

استان Province	درصد تجزیه بقایا Decomposition (%)	استان Province	درصد تجزیه بقایا Decomposition (%)	استان Province	درصد تجزیه بقایا Decomposition (%)
کرمانشاه Kermanshah	19.7 m*	خراسان شمالی North Khorasan	23.9 l	آذربایجان شرقی East Azarbaijan	16.0 t
کهگیلویه و بویر احمد Kohgiluye and Boyer-Ahmad	27.8 h	خوزستان Khouzestan	35.5 c	آذربایجان غربی West Azarbaijan	15.6 u
گلستان Golestan	28.0 gh	زنجان Zanjan	Zanjan	اردبیل Ardebil	13.0 v
گیلان Gilan	24.9 k	سمنان Semnan	27.2 i	اصفهان Isfahan	19.3 o
لرستان Lorestan	17.4 r	سیستان و بلوچستان Sistan and Balouchestan	36.0 b	ایلام Ilam	23.6 l
مازندران Mazandaran	17.9 q	فارس Fars	28.3 g	بوشهر Bushehr	28.8 f
مرکزی Markazi	18.7 p	قزوین Qazvin	16.8 s	تهران Tehran	18.6 p
هرمزگان Hormozgan	38.2 a	قم Qom	27.7 h	چهار محال و بختیاری Chahar mahal and Bakhtiari	15.5 u
همدان Hamedan	16.4 st	کردستان Kordestan	19.9 n	خراسان جنوبی South Khorasan	22.1 m
یزد Yazd	29.7 e	کرمان Kerman	30.3 d	خراسان رضوی Razavi Khorasan	25.6 j

میانگین‌های دارای حرف مشترک بر اساس آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد هستند.

Means with the same letter are not significantly different at 5% level of probability.

پژوهشگران گزارش کردند که اقلیم می‌تواند عامل تعیین‌کننده‌ای در میزان تجزیه در مقیاس جغرافیایی باشد (Meentemeyer, 1978; Berg et al., 1993; Aerts, 1997). گستره دمایی بهینه موجودات تجزیه کننده خاک بسیار متفاوت بوده (Paul & Clark, 1996) و در اغلب موارد تجزیه بقایا با افزایش دما همبستگی مثبتی نشان می‌دهد (Swift et al., 1979). بیلی- تدلا و همکاران (Belay-Tedla et al., 2009) اظهار داشتند که درجه حرارت می‌تواند سبب افزایش فعالیت ریزجانداران خاک و در نتیجه افزایش سرعت و مقدار تجزیه بقایا گردد. یانگ و همکاران (Yang et al., 2007) نیز اظهار داشتند که درجه حرارت مهمترین عامل محیطی است که می‌تواند بر فعالیت جامعه میکروبی خاک و در نتیجه تجزیه ماده آلی تأثیرگذار باشد. نتایج مطالعه کوتکس و همکاران (Couteautx et al., 1995) نشان داد که درجه حرارت‌های بالاتر در مناطق جنوبی ایالات متحده، سبب تسریع تجزیه بقایا و مواد آلی مقاوم‌تر شد.

نتایج آزمایش‌هایی که در آنها گرمای لایه‌های بقایا بصورت مصنوعی کنترل شد، نشان داد که افزایش دما سبب افزایش دی‌اکسیدکربن متصاعد شده و تجزیه بقایا گردید ($Q_{۱۰}$>۲) (Hobbie, 1996; PeterJohn, 1993; Winkler, 1996). ویتوسک و همکاران (Vitousek et al., 1994) گزارش کردند که در طی شیب کاهش ارتفاع در مائونالوآی، هاوائی میزان تجزیه بقایا افزایش یافت. آنها دریافتند که تغییر ده درجه‌ای میانگین درجه حرارت سالانه، با افزایش ۱۱-۴ برابری تجزیه بقایای گیاهی یک گونه غالب در منطقه همراه بود.

جدول ۵- میانگین درصد تجزیه بقایای گندم در استان‌های مختلف کشور در طی یکسال پس از برداشت محصول

Table 5- Wheat residue decomposition percentage in different provinces during one year after harvest

استان Province	درصد تجزیه بقایا Decomposition (%)	استان Province	درصد تجزیه بقایا Decomposition (%)	استان Province	درصد تجزیه بقایا Decomposition (%)
کرمانشاه Kermanshah	13.8 g*	خراسان شمالی North Khorasan	13.0gh	آذربایجان شرقی East Azarbaijan	11.0 j-l
کهگیلویه و بویر احمد Kohgiluye and Boyer-Ahmad	15.3 e	خوزستان Khouzestan	20.0 b	آذربایجان غربی West Azarbaijan	10.6 j-l
گلستان Golestan	15.2 e	زنجان Zanjan	11.1 i-k	اردبیل Ardebil	8.9m
گیلان Gilan	13.3 g	سمنان Semnan	14.9 ef	اصفهان Isfahan	13.5g
لرستان Lorestan	10.2 kl	سیستان و بلوچستان Sistan and Balouchestan	20.3 b	ایلام Ilam	13.0gh
مازندران Mazandaran	10.3 kl	فارس Fars	15.6 de	بوشهر Bushehr	21.4a
مرکزی Markazi	10.0 l	قزوین Qazvin	11.5 ij	تهران Tehran	10.0 l
هرمزگان Hormozgan	21.8 a	قم Qom	15.3 e	چهار محال و بختیاری Chahar mahal and Bakhtiari	8.2 m
همدان Hamedan	8.7 m	کردستان Kordestan	10.6 j-l	خراسان جنوبی South Khorasan	12.0 hi
یزد Yazd	16.4 cd	کرمان Kerman	16.9 c	خراسان رضوی Razavi Khorasan	13.9 fg

*میانگین‌های دارای حرف مشترک بر اساس آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد هستند.

*Means with the same letter are not significantly different at 5% level of probability.

کربن قابل ترسیب در کشت ذرت

در بین استان‌های مختلف کشور گروه استان‌های قزوین، کردستان و همدان بیشترین و گروه استان‌های خراسان جنوبی، سمنان، سیستان و بلوچستان و گلستان کمترین مقدار کربن قابل ترسیب در خاک در کشت ذرت را دارا بودند. استان قزوین نسبت به استان خراسان جنوبی حدود ۶۰ درصد کربن قابل ترسیب بیشتری در کشت ذرت داشت (جدول ۶).

در استان‌هایی که از کربن قابل ترسیب بیشتری برخوردار بودند، میزان زیست‌توده بالاتر از سایر استان‌ها بود (۱۲۴۲۱، ۱۰۴۳۵ و ۱۰۲۳۵ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در استان‌های قزوین، کردستان و همدان) و (۴۹۲۶، ۵۴۰۷، ۵۲۶۹ و ۶۱۷۹ به ترتیب در استان‌های خراسان جنوبی، سمنان، سیستان و بلوچستان و گلستان). از طرف دیگر بررسی متوسط درجه حرارت طی سال‌های مورد مطالعه نشان داد که میانگین درجه حرارت ماه‌های پس از برداشت در استان‌های قزوین و کردستان نسبت به خراسان جنوبی و سمنان پایین‌تر بود (به ترتیب ۱۲/۸، ۱۲/۱، ۱۸ و ۱۷/۳ درجه سانتی‌گراد). احتمالاً در استان‌های خراسان جنوبی، سمنان و سیستان و بلوچستان، زیست‌توده پایین و درجه حرارت بالا و به دنبال آن درصد تجزیه بیشتر (جدول ۷) در کاهش میزان کربن قابل ترسیب تأثیرگذار بوده است.

کربن قابل ترسیب در کشت کلزا

در کشت کلزا، استان‌های اصفهان، قزوین، اردبیل، همدان و فارس بیشترین و استان‌های بوشهر، سیستان و بلوچستان و یزد، کمترین مقدار کربن قابل ترسیب در خاک را دارا بودند (جدول ۸). مقدار زیست‌توده کلزا در استان اصفهان به عنوان استانی با بیشترین کربن قابل ترسیب در خاک نسبت به استان بوشهر با کمترین کربن قابل ترسیب در خاک، ۴۷۵۱ کیلوگرم در هکتار بیشتر بود (داده‌های مربوط به زیست‌توده ارائه نشده‌اند). از طرف دیگر، متوسط درجه حرارت ماه‌های پس از برداشت کلزا در استان اصفهان، ۹/۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به استان بوشهر کمتر بود و استان بوشهر ۱۵/۱ درصد تجزیه بیشتری نسبت به استان اصفهان داشت (جدول ۹). با توجه به تأثیر درجه حرارت بر میزان تجزیه بقایا و همچنین میزان

زیست‌توده اولیه، بالاتر بودن کربن قابل ترسیب در خاک در استان اصفهان نسبت به بوشهر قابل توجیه است.

جدول ٦- میانگین میزان کربن قابل ترسیب در کشت ذرت (کیلوگرم در هکتار) در استان‌های مختلف کشور در طی پنج سال زراعی از ۸۳-۱۳۸۲ تا ۸۷-۱۳۸٦

Table 6- Attainable carbon sequestration in maize (kg.ha^{-1}) in different Iran's provinces in five years from 2002-2003 to 2006-2007

استان Province	کربن قابل ترسیب Attainable carbon sequestration	استان Province	کربن قابل ترسیب Attainable carbon sequestration	استان Province	کربن قابل ترسیب Attainable carbon sequestration
گلستان Golestan	3311 m-p*	خوزستان Khouzestan	3571 l-o	آذربایجان شرقی East Azarbaijan	4297 h-k
گیلان Gilan	4154 i-l	سمنان Semnan	Semnan	آذربایجان غربی West Azarbaijan	4828 d-i
لرستان Lorestan	4993 d-g	سیستان و بلوچستان Sistan and Balouchestan	2946 n-p	اردبیل Ardebil	4588 e-j
مازندران Mazandaran	4466 f-k	فارس Fars	5169 c-e	اصفهان Isfahan	4936 d-h
مرکزی Markazi	4360 g-k	قزوین Qazvin	6457 a	ایلام Ilam	3909j-m
هرمزگان Hormozgan	3868 j-m	کردستان Kordestan	6009 ab	بوشهر Bushehr	5091 c-f
همدان Hamedan	5874 ab	کرمان Kerman	4968 d-h	چهار محال و بختیاری Chahar mahal and Bakhtiari	3695 k-n
یزد Yazd	5329 b-d	کرمانشاه Kermanshah	5756 bc	خراسان جنوبی South Khorasan	2596 p
		کهگیلویه و بویر احمد Kohgiluye and Boyer-Ahmad	4913 d-h	خراسان رضوی Razavi Khorasan	4283 g-l

*میانگین‌های دارای حرف مشترک بر اساس آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد هستند.

*Means with the same letter are not significantly different at 5% level of probability

کربن قابل ترسیب در کشت پنبه

استان‌های آذربایجان شرقی، اصفهان و تهران بیشترین و استان‌های هرمزگان و گلستان کمترین مقدار کربن قابل ترسیب در خاک را در کشت پنبه نشان دادند (جدول ۱۰) که ناشی از زیست‌توده تولیدی بیشتر در استان‌های گروه اول بود (به ترتیب ۵۵۱۱، ۵۴۸۶ و ۵۳۵۱ کیلوگرم در هکتار در استان‌های گروه اول و ۳۵۶۹ و ۳۴۲۲ کیلوگرم در هکتار در استان‌های گروه دوم).

از طرف دیگر متوسط درجه حرارت ماه‌های پس از برداشت در استان‌هایی که کربن قابل ترسیب در آنها بالا بود، نسبت به استان‌هایی با کربن قابل ترسیب کمتر، بسیار کمتر بود. در استان آذربایجان شرقی متوسط درجه حرارت در ماه‌های پس از برداشت، حدود ۱۲/۴ درجه سانتی‌گراد بود، در صورتی‌که متوسط درجه حرارت در استان هرمزگان ۲۵/۴ درجه سانتی‌گراد بود. نکته قابل توجه در این محصول میزان پایین کربن قابل ترسیب در استان گلستان بود که احتمالاً ناشی از عملکرد کم پنبه در این استان می‌باشد.

کربن قابل ترسیب در کشت سویا

در ایران کشت آبی سویا در پنج استان اردبیل، گلستان، مازندران، آذربایجان شرقی و لرستان صورت می‌گیرد. در این بین، استان‌های اردبیل و گلستان به ترتیب با ۱۶۳۸ و ۱۶۶۰ کیلوگرم در هکتار بالاترین و استان‌های آذربایجان شرقی و لرستان با حدود ۱۴۵۰ کیلوگرم در هکتار پایین‌ترین میزان کربن قابل ترسیب را به خود اختصاص دادند (جدول ۱۱).

مقایسه میزان زیست‌توده تولیدی در استان‌های اردبیل و آذربایجان شرقی نشان داد که مقدار این ویژگی در کشت سویا در استان اردبیل نسبت به استان آذربایجان شرقی ۱۳۳۷ کیلوگرم در هکتار بیشتر بود. از طرف دیگر درصد تجزیه بقایا در استان آذربایجان شرقی ۳/۶ درصد بیش از استان اردبیل بود (جدول ۱۲). با توجه به زیست‌توده بالاتر استان اردبیل و نیز کمتر بودن درصد تجزیه در این استان نسبت به استان آذربایجان شرقی می‌توان بیشتر بودن کربن قابل ترسیب در استان اردبیل را توجیه کرد.

در تمامی گیاهان مورد مطالعه با کاهش میزان رطوبت خاک از ۱۰۰ به ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه، مقدار کربن قابل ترسیب در خاک

افزایش یافت و درصد افزایش در کشت گندم، ذرت، کلزا، پنبه و سویا به ترتیب ۱۱/۴، ۱۹/۳، ۲۶، ۱۷/۲ و ۱۸/۷ درصد بود (جدول ۱۳).

اقلیم و کیفیت بقایا عوامل اصلی تعیین‌کننده مقدار اولیه تجزیه بقایای گیاهی هستند (Swift et al., 1979).

جدول ۷- میانگین درصد تجزیه بقایای ذرت در استان‌های مختلف کشور در طی یکسال پس از برداشت محصول

Table 7- Maize residue decomposition percentage in different provinces during one year after harvest

استان Province	درصد تجزیه بقایا Decomposition (%)	استان Province	درصد تجزیه بقایا Decomposition (%)	استان Province	درصد تجزیه بقایا Decomposition (%)
گلستان Golestan	25.2 f*	خوزستان Khouzestan	32.1 b	آذربایجان شرقی East Azarbaijan	18.0jk
گیلان Gilan	21.7hi	سمنان Semnan	24.6 f	آذربایجان غربی West Azarbaijan	17.7k
لرستان Lorestan	21.6 g-i	سیستان و بلوچستان Sistan and Balouchestan	32.6 b	اردبیل Ardebil	14.8 l
مازندران Mazandaran	21.3 i	فارس Fars	25.5 ef	اصفهان Isfahan	22.3 g-i
مرکزی Markazi	21.2 i	قزوین Qazvin	19.3 j	ایلام Ilam	27.6 c
هرمزگان Hormozgan	35.0 a	کردستان Kordestan	17.8 jk	بوشهر Bushehr	25.1 f
همدان Hamedan	18.5 jk	کرمان Kerman	27.1 cd	چهار محال و بختیاری Chahar mahal and Bakhtiari	12.3 m
یزد Yazd	26.8 c-e	کرمانشاه Kermanshah	22.9 gh	خراسان جنوبی South Khorasan	25.8 d-f
		کهگیلویه و بویر احمد Kohgiluye and Boyer-Ahmad	24.9 f	خراسان رضوی Razavi Khorasan	22.9 g

*میانگین‌های دارای حرف مشترک بر اساس آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد هستند.

*Means with the same letter are not significantly different at 5% level of probability.

با وجود اینکه فعالیت ریزجانداران خاک به عنوان یک عامل کنترل کننده تجزیه بقایا شناخته شده است (Lavelle et al., 1993; Couteautx et al., 1995)، اما به عقیده برخی پژوهشگران، مقدار فعالیت میکروبی به عنوان مکانیسمی است که تأثیر اقلیم و کیفیت بقایا را منعکس می‌سازد. وجود رطوبت یکی از عوامل محیطی مهم و اساسی برای فعالیت موجودات زنده خاکزی و ریزجانداران است (Kabba & Aulakh, 2004; Lupwayi, 2007). هر چه شرایط رطوبتی خاک برای فعالیت این موجودات مناسب‌تر باشد، فعالیت آنها بالاتر بوده و لذا تجزیه بقایای گیاهی در خاک بیشتر صورت می‌گیرد (Luna-Orea et al., 1996; Dijkstra & Cheng, 2007). نتایج تحقیقات مختلف (Luna-Orea et al., 1996; Hemwong et al., 2008) نشان داده است که بهترین وضعیت رطوبتی خاک در حالت ظرفیت مزرعه اتفاق افتاده (Howard & Howard, 1993; Paul & Clark, 1996) و بنابراین بیشترین میزان تجزیه بقایای گیاهی نیز در این شرایط حاصل می‌شود. هرچه خاک خشک‌تر شده و درصد رطوبت آن از ظرفیت مزرعه پایین‌تر بیاید، میزان و سرعت تجزیه بقایا در طی زمان نیز کاهش یافته و لذا بقایای گیاهی برای مدت زمان بیشتری در خاک باقی مانده و ماندگاری آنها در خاک بالاتر است. بطور کلی مقدار رطوبت کمتر از ۳۰ درصد (بر مبنای وزن خشک بقایا) سبب کاهش سرعت تجزیه می‌شود (Haynes, 1986). در این محدوده در صورت مناسب بودن شرایط دمایی، سرعت تجزیه با افزایش میزان رطوبت افزایش می‌یابد (Bunnell et al., 1977). در مناطقی با شرایط دمایی و ارتفاع یکسان، عموماً میزان تجزیه در مناطق خشک کمتر است (Vitousek, 1994).

درصد افزایش کربن قابل ترسیب در گندم به دنبال کاهش رطوبت خاک، از سایر محصولات زراعی پایین‌تر بود. در واقع بقایای گندم که در بین بقایای مورد بررسی از نسبت کربن به نیتروژن بالاتری برخوردار بودند، حتی در شرایط بهینه رطوبتی (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه) تجزیه کمتری نسبت به سایر بقایای گیاهی داشت.

جدول ۸- میانگین میزان کربن قابل ترسیب در کشت کلزا(کیلوگرم در هکتار) در استان های مختلف کشور درطی پنج سال زراعی از ۸۳-۱۳۸۲ تا ۸۷-۱۳۸۶

Table 8- Attainable carbon sequestration in rapeseed (kg.ha^{-1}) in different Iran's provinces in five years from 2002-2003 to 2006-2007

استان Province	کربن قابل ترسیب Attainable carbon sequestration	استان Province	کربن قابل ترسیب Attainable carbon sequestration	استان Province	کربن قابل ترسیب Attainable carbon sequestration
کرمانشاه Kermanshah	2950 d-h	خراسان شمالی North Khorasan	1765 k-o	آذربایجان شرقی East Azarbaijan	2146 j-l
کهگیلویه و بویر احمد Kohgiluye and Boyer-Ahmad	2684 f-i	خوزستان Khouzestan	1464 n-o	آذربایجان غربی West Azarbaijan	2942 d-h
گلستان Golestan	2818 e-i	زنجان Zanjan	2869 e-h	اردبیل Ardebil	3594 a-c
گیلان Gilan	1498 m-o	سمنان Semnan	2024 j-m	اصفهان Isfahan	3812 a
لرستان Lorestan	2332 i-k	سیستان و بلوچستان Sistan and Balouchestan	1334 op	ایلام Ilam	1584 m-o
مازندران Mazandaran	3024 c-h	فارس Fars	3306 a-e	بوشهر Bushehr	925 p
مرکزی Markazi	2975 d-g	قزوین Qazvin	3682 ab	تهران Tehran	3182 b-f
هرمزگان Hormozgan	1521 m-o	قم Qom	2011 j-n	چهار محال و بختیاری Chahar mahal and Bakhtiari	2545 g-j
همدان Hamedan	3416 a-d	کردستان Kordestan	2317 i-k	خراسان جنوبی South Khorasan	2407 h-j
یزد Yazd	1349 op	کرمان Kerman	1729 l-o	خراسان رضوی Razavi Khorasan	1655 l-o

با کاهش درصد بازگشت بقایا به خاک از ۱۰۰ به ۵۰ درصد و حذف کامل بقایا، میزان کاهش کربن قابل ترسیب در خاک به ترتیب در گندم ۲۰/۴ و ۴۰/۲، ذرت ۲۴/۶ و ۴۱/۹، کلزا ۲۸/۵ و ۴۰/۵، پنبه ۲۱/۸ و ۳۹/۱ و سویا ۲۳/۷ و ۴۲/۶ درصد بود. در حالت حذف کامل بقایا، تنها اندام‌های زیرزمینی و ریشه گیاه و نیز بخشی از ساقه که در زیر سطح برداشت قرار دارد در خاک باقی مانده و سایر اندام‌های گیاهی به طرق مختلف از سطح مزرعه حذف می‌شود. اما در حالت ۱۰۰ درصد بازگشت بقایا به خاک، فرض بر این است که تنها عملکرد اقتصادی (دانه) برداشت شده و سایر اندام‌های هوایی گیاه در مزرعه باقی مانده و با خاک اختلاط می‌یابد. از آنجایی که کربن قابل ترسیب در خاک نزدیک به نیمی از بقایای گیاهی را شامل می‌شود، لذا هرچه میزان بازگشت بقایا به خاک بیشتر باشد، مقدار کربن قابل ترسیب در خاک نیز بالاتر است. به همین دلیل در سناریوهای مختلف بازگشت بقایا به خاک ملاحظه می‌شود که با افزایش درصد بازگشت بقایای گیاهی میزان کربن قابل ترسیب نیز افزایش می‌یابد. لال و کیمبل (Lal & Kimble, 1997) اظهار داشتند که بقایای گیاهی منبع اصلی ورود کربن به بوم‌نظام بوده و لذا افزایش تولید بقایا از طریق عملیات مدیریتی می‌تواند میزان کربن آلی خاک را افزایش دهد. دو (Dou, 2005) بیان کرد که در صورت یکسان بودن شرایط، خاک‌هایی که ماده آلی ورودی بیشتری دارند از کربن آلی بالاتری نیز برخوردار خواهند بود. همچنین مطالعه لارسون و همکاران (Larson et al., 1972) نشان داد که میزان کربن آلی خاک در بوم‌نظام‌های زراعی همبستگی مثبتی با میزان کربن وارد شده به خاک داشت.

جدول ۹- میانگین درصد تجزیه بقایای کلزا در استان‌های مختلف کشور در طی یکسال پس از برداشت محصول

Table 9- Rapeseed residue decomposition percentage in different provinces during one year after harvest

استان Province	درصد تجزیه بقایا Decomposition (%)	استان Province	درصد تجزیه بقایا Decomposition (%)	استان Province	درصد تجزیه بقایا Decomposition (%)
کرمانشاه Kermanshah	19.7 n*	خراسان شمالی North Khorasan	23.9 l	آذربایجان شرقی East Azarbaijan	16.0 t
کهگیلویه و بویر احمد Kohgiluye and Boyer-Ahmad	27.8 h	خوزستان Khouzestan	35.5 c	آذربایجان غربی West Azarbaijan	15.6 u
گلستان Golestan	28.0 gh	زنجان Zanjan	Zanjan	اردبیل Ardebil	13.0 v
گیلان Gilan	24.9 k	سمنان Semnan	27.2 i	اصفهان Isfahan	19.3 o
لرستان Lorestan	17.4 r	سیستان و بلوچستان Sistan and Balouchestan	36.0 b	ایلام Ilam	23.6 l
مازندران Mazandaran	17.9 q	فارس Fars	28.3 g	بوشهر Bushehr	28.8 f
مرکزی Markazi	18.7 p	قزوین Qazvin	16.8 s	تهران Tehran	18.6 p
هرمزگان Hormozgan	38.2 a	قم Qom	27.7 h	چهار محال و بختیاری Chahar mahal and Bakhtiari	15.5 u
همدان Hamedan	16.4 st	کردستان Kordestan	19.9 n	خراسان جنوبی South Khorasan	22.1 m
یزد Yazd	29.7 e	کرمان Kerman	30.3 d	خراسان رضوی Razavi Khorasan	25.6 j

میانگین‌های دارای حرف مشترک بر اساس آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد هستند.

Means with the same letter are not significantly different at 5% level of probability.

مقایسه مقدار کربن قابل ترسیب در محصولات زراعی مورد مطالعه در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در بین محصولات زراعی، ذرت و سویا به ترتیب از بالاترین و پایین‌ترین مقدار کربن قابل ترسیب برخوردار بودند. نوع گونه گیاهی بر میزان ذخیره کربن آلی خاک تأثیر داشته و محصولاتی که زیست‌توده بیشتری تولید می‌کنند، کربن بیشتری نیز به خاک اضافه می‌نمایند. از طرف دیگر، میزان بقایایی که از طریق ریشه به خاک بازگردانده می‌شود در میزان کربن خاک تأثیر زیادی دارد. ورما و همکاران (Verma et al., 2005) گزارش کردند که ذرت و سویا از تولید کربن متفاوتی برخوردار بوده و برآورد نمودند که تولید خالص بوم‌نظام (تفاوت مقدار دی‌اکسیدکربن تثبیت شده در ترکیبات آلی با تنفس بوم‌نظام) در محصول ذرت نسبت به سویا بسیار بالاتر بود.

پاستیان و همکاران (Paustian et al., 1997) گزارش کردند که مقدار کربن وارد شده به خاک از طریق ذرت ۱/۵ تا ۱/۸ برابر سویا بود. بویانوفسکی و واگنر (Buyanovsky& Wagner, 1986) نیز گزارش کردند که میزان کربن وارد شده به خاک از طریق ریشه ذرت سه برابر سویا بود. در این مطالعه مقدار کربنی که از طریق ذرت ۲/۸ برابر بیشتر از سویا بود (شکل ۷). دو (Dou, 2005) گزارش کرد که خاک‌های زیر کشت گندم نسبت به خاک‌های دارای کشت سویا کربن بیشتری ترسیب نمودند که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد.

جدول ۱۰- میانگین میزان کربن قابل ترسیب در کشت پنبه (کیلوگرم در هکتار) در استان‌های مختلف کشور در طی پنج سال زراعی از ۸۳-۱۳۸۲ تا ۸۷-۱۳۸٦

Table 10- Attainable carbon sequestration in cotton (kg.ha^{-1}) in different Iran's provinces in five years from 2002-2003 to 2006-2007

استان Province	کربن قابل ترسیب Attainable carbon sequestration	استان Province	کربن قابل ترسیب Attainable carbon sequestration	استان Province	کربن قابل ترسیب Attainable carbon sequestration
گلستان Golestan	2167 fg*	خراسان شمالی North Khorasan	2654 d	آذربایجان شرقی East Azarbaijan	3760 a
مازندران Mazandaran	2275 f	سمنان Semnan	2517 de	اردبیل Ardebil	3202 b
مرکزی Markazi	2681 d	فارس Fars	2963 c	اصفهان Isfahan	3578 a
هرمزگان Hormozgan	1989 g	قزوین Qazvin	2944 c	تهران Tehran	3556 a
یزد Yazd	2650 d	قم Qom	2362 ef	خراسان جنوبی South Khorasan	2248 f
		کرمان Kerman	2220 f	خراسان رضوی Razavi Khorasan	2560 de

* میانگین‌های دارای حرف مشترک بر اساس آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند.

* Means with the same letter are not significantly different at 5% level of probability

جدول ۱۱- میانگین میزان کربن قابل ترسیب در کشت سویا در استان‌های مختلف در طی پنج سال زراعی از ۸۳-۱۳۸۲ تا ۸۷-۱۳۸٦

Table 11- Attainable carbon sequestration in soybean (kg.ha^{-1}) in different Iran's provinces in five years from 2002-2003 to 2006-2007

استان Province	کربن قابل ترسیب Attainable carbon sequestration
آذربایجان شرقی East Azarbaijan	1450^{b*}
اردبیل Ardebil	1638^{a}
گلستان Golestan	1660^{a}
لرستان Lorestan	1449^{b}
مازندران Mazandaran	1601^{ab}

*میانگین‌های دارای حرف مشترک بر اساس آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد هستند.

*Means with the same letter are not significantly different at 5% level of probability.

مجموع میزان کربن قابل ترسیب در بوم‌نظام‌های زراعی پنج محصول مورد بررسی در استان‌های مختلف کشور در جدول ۱۴ ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در کشور استان‌های اردبیل و سیستان و بلوچستان به ترتیب از بالاترین و پایین‌ترین میزان کربن قابل ترسیب در خاک برخوردار بودند. یک دلیل عمده این تفاوت به تعداد محصولات کشت شده در این استان‌ها برمی‌گردد. در استان اردبیل تمامی پنج محصول ذکر شده کشت می‌شود اما در استان سیستان و بلوچستان تنها سه محصول گندم، ذرت و کلزا کشت می‌گردد. علاوه بر این همانطور که پیشتر گفته شد، در استان سیستان و بلوچستان به دلیل شرایط نامساعد محیطی، میزان عملکرد و زیست‌توده کمتر و درجه حرارت و در نتیجه میزان تجزیه بالاتر است که مجموع این عوامل به کربن قابل ترسیب کم در این استان منتهی می‌شود.

جدول ۱۲- میانگین درصد تجزیه بقایای سویا در استان‌های مختلف کشور در طی یکسال پس از برداشت محصول

Table 12- Maize residue decomposition percentage in different provinces during one year after harvest

استان Province	درصد تجزیه بقایا Decomposition (%)
آذربایجان شرقی East Azarbaijan	20.8 c*
اردبیل Ardebil	17.2 d
گلستان Golestan	28.9 a
لرستان Lorestan	24.8 b
مازندران Mazandaran	24.5 b

*میانگین‌های دارای حرف مشترک بر اساس آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد هستند.

*Means with the same letter are not significantly different at 5% level of probability.

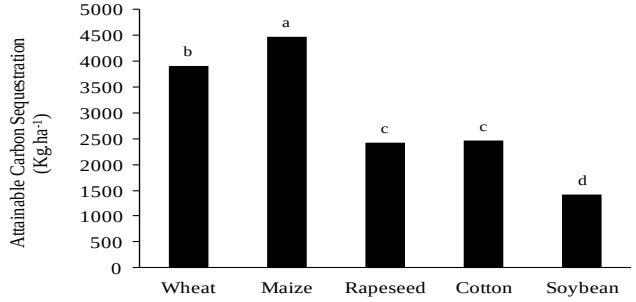
جدول ۱۳- میانگین کربن قابل ترسیب در پنج محصول زراعی در سناریوهای مختلف رطوبتی و بازگشت بقایا

Table 13- Attainable carbon sequestration of five crops in different moisture and residue retention scenarios

تیمار Treatment	پنبه Cotton	کلزا Rapeseed	ذرت Maize	گندم Wheat	سویا Soybean
رطوبت (درصد از ظرفیت مزرعه) **Moisture (percentage of Field capacity)**					
100	2518c	2127c	4133c	3698c*	1441c
60	2707b	2458b	4462b	3907b	1554b
30	2950a	2683a	4934a	4119a	1749a
بازگشت بقایا (درصد) **Residue retention (percentage)**					
100	3419a	3260a	5795a	4903a	2020a
50	2674b	2329b	4367b	3901b	1520b
0	2082c	1679c	3367c	2920c	1173c

*میانگین‌های دارای حرف مشترک در هر ستون و برای هر گروه از تیمارها بر اساس آزمون LSD فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد هستند.

*Means with the same letter in each column and each treatment are not significantly different at 5% level of probability.



شکل ۷- میزان کربن قابل ترسیب در محصولات زراعی مورد مطالعه

Fig.7- Attainable carbon sequestration in studied crops

جدول ١٤- مجموع کربن قابل ترسیب در بوم‌نظامهای پنج محصول گندم، ذرت، کلزا، پنبه و سویا در استان‌های مختلف کشور

Table 14- Total attainable carbon in five major crops of wheat, maize, rapeseed, cotton and soybean in different Iran's provinces

استان Province	کربن قابل ترسیب Attainable carbon sequestration	استان Province	کربن قابل ترسیب Attainable carbon sequestration	استان Province	کربن قابل ترسیب Attainable carbon sequestration
کرمانشاه Kermanshah	13254	خراسان شمالی North Khorasan	8616	آذربایجان شرقی East Azarbaijan	16226
کهگیلویه و بویر احمد Kohgiluye and Boyer-Ahmad	9767	خوزستان Khouzestan	8734	آذربایجان غربی West Azarbaijan	11818
گلستان Golestan	14481	زنجان Zanjan	9941	اردبیل Ardebil	18379
گیلان Gilan	9585	سمنان Semnan	10936	اصفهان Isfahan	15799
لرستان Lorestan	11186	سیستان و بلوچستان Sistan and Balouchestan	6579	ایلام Ilam	9779
مازندران Mazandaran	15844	فارس Fars	15882	بوشهر Bushehr	8437
مرکزی Markazi	11429	قزوین Qazvin	17342	تهران Tehran	10806
هرمزگان Hormozgan	11439	قم Qom	9347	چهار محال و بختیاری Chahar mahal and Bakhtiari	9532
همدان Hamedan	12573	کردستان Kordestan	13454	خراسان جنوبی South Khorasan	10134
یزد Yazd	13377	کرمان Kerman	14185	خراسان رضوی Razavi Khorasan	11615

نتیجه‌گیری

بطور کلی، نتایج این مطالعه نشان داد که در کشت گندم، استان‌های کرمانشاه و سیستان و بلوچستان، ذرت: قزوین و خراسان جنوبی، کلزا: اصفهان و بوشهر، پنبه: آذربایجان شرقی و هرمزگان، سویا: اردبیل و آذربایجان شرقی به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار کربن قابل ترسیب را دارا بودند. با افزایش میزان رطوبت از ۳۰ به ۶۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه و همچنین با کاهش درصد برگشت بقایا به خاک از ۱۰۰ به ۵۰ درصد و حذف کامل بقایا میزان کربن قابل ترسیب در خاک همه محصولات مورد مطالعه کاهش یافت. در بین محصولات مورد مطالعه ذرت و سویا در به ترتیب از بالاترین و پایین‌ترین میزان کربن قابل ترسیب برخوردار بودند. همچنین در بین استان‌های مختلف از نظر مجموع کربن قابل ترسیب محصولات مورد مطالعه، بیشترین و کمترین مقدار کربن قابل ترسیب در خاک به ترتیب در استان‌های اردبیل و استان سیستان و بلوچستان مشاهده شد.

با توجه به ابهاماتی که ممکن است در بخش برآورد کربن ورودی حاصل از اندام‌های زیرزمینی گیاه به خاک وجود داشته باشد و نیز متفاوت بودن ضرایب مربوط به نسبت بخش‌های مختلف گیاه در هر منطقه اقلیمی، انجام مطالعات آتی به منظور تعیین دقیق‌تر میزان کربن ورودی به خاک مفید خواهد بود.

منابع

Aerts, R. 1997. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. Oikos 79: 439–449.

Belay-Tedla, A., Zhou, X., Su, B., Shiqiang Wan, S., and Luo, Y. 2009. Labile, recalcitrant, and microbial carbon and nitrogen pools of a tallgrass prairie soil in the US Great Plains subjected to experimental warming and clipping. Soil Biology and Biochemistry 41: 110–116.

Berg, B., Berg, M.P., Bottner, P., Box, E., Breymeyer, A., Calvan De Anta, R., Couteaux, M.M., Esudero, A., Gallardo, A., Kratz, W., Madeira, M., Malkonen, E., McClaugherty, C.A., Meentemeyer, V., Munoz, F., Piussi, P., Remacle, J.,

and Virzo de Santo, A. 1993. Litter mass loss in pine forests of Europe and Eastern United States as compared to actual evapotranspiration on a European scale. Biogeochemistry 20: 127–153.

Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A., and VandenBygaart, A.J. 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. Agriculture, Ecosystems and Environment 118: 29–42.

Bremner, J.M. 1970. Nitrogen total, regular kjeldahl method, In: Methods of Soil Analysis, Part II: Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. Agronomy 9(1). A.S.A. Ins., S.S.S.A. Inc., Madison Publisher, Wisconsin., USA, pp. 610-616.

Bunnell, F.L., Tait, D.E.N., Flanagan, P.W., and Van Cleve, K. 1977. Microbial respiration and substrate weight loss. I. A general model of the influences of abiotic variables. Soil Biology and Biochemistry 9: 33–40.

Buyanovsky, G.A., and Wagner, G.H. 1986. Post-harvest residue input to cropland. Plant and Soil 93: 57-65.

Chen, H., Billen, N., Stahr, K., and Kuzyakov, Y. 2007. Effects of nitrogen and intensive mixing on decomposition of ^{14}C-labelled maize (*Zea mays* L.) residue in soils of different land use types. Soil and Tillage Research 96: 114–123.

Couteautx, M., Bottner, P., and Berg, B. 1995. Litter decomposition, climate and litter quality. Trends in Ecology and Evolution 10: 63-66.

Crohn, D.M., and Valenzuela-Solano, C. 2003. Modeling temperature effects on decomposition. Journal of Environmental Engineering 129: 1149-1156.

Dijkstra, F.A., and Cheng, W. 2007. Moisture modulates rhizosphere effects on C decomposition in two different soil types. Soil Biology and Biochemistry 39: 2264–2274.

Dou, F. 2005. Long-term tillage, cropping sequence, and nitrogen fertilization effects on soil carbon and nitrogen dynamics. PhD thesis. Texas A & M University.

Fishman, J. 2003. Overview: Atmospheric Chemistry. In: Potter, T.D. and Colman, B.R. (Eds.), Handbook of Weather, Climate and Water, Atmospheric Chemistry, Hydrology and Social Impacts. A John Wiley and Sons, Inc., Publication. Pp. 966.

Hansen, E.M., Christensen, B.T., Jensen, L.S., and Kristensen, K. 2004. Carbon sequestration in soil beneath long-term *Miscanthus* plantations as determined by ^{13}C abundance. Biomass and Bioenergy 26: 97-105.

Hardy, J.T. 2003. Climate Change, Causes Effects and Solutions. John Wiley and Sons Ltd. pp. 247.

Haynes, R.J. 1986. Mineral nitrogen in the plant-soil system. Academic Press, Toronto.

Hemwong, S., Cadisch, G., Toomsan, B., Limpinuntana, V., Vityakon, P., and Patanothai, A. 2008. Dynamics of residue decomposition and N_2 fixation of grain legumes upon sugarcane residue retention as an alternative to burning. Soil and Tillage Research 99: 84–97.

Hobbie, S.E. 1996. Temperature and plant species control over litter decomposition in Alaskan tundra. Ecological Monographs 66: 503–522.

Howard, D.M., and Howard, P.J.A. 1993. Relationships between CO_2 evolution, moisture content and temperature for a range of soil types. Soil Biology and Biochemistry 25: 1537–1546.

Jenkinson, D.S., Adams, D.E., and Wild, A. 1991. Model estimates of CO_2 emissions from soil in response to global warming. Nature 351: 304–306.

Kabba, B.S., and Aulakh, M.S. 2004. Climatic conditions and crop residue quality differentially affect N, P, and S mineralization in soils with contrasting P status. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 167: 596–601.

Kätterer, T., Reichstein, M., André, O., and Lomander, A. 1998. Temperature dependence of organic matter decomposition: a critical review using literature data analyzed with different models. Biology and Fertility of Soils 27: 258–262.

Kirschbaum, M.U.F. 1995. The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage. Soil Biology and Biochemistry 27: 753–760.

Lal, R. 2002. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. Environmental Pollution 116: 353–362.

Lal, R., and Kimble, J.M. 1997. Conservation tillage for carbon sequestration. Nutrient Cycling in Agroecosystems 49: 243-253.

Larson, W.E., Clapp, C.E., Pierre, W.H., and Morachan, Y.B. 1972. Effects of increasing amounts of organic residues on continuous corn: II. Organic carbon, nitrogen, phosphorus and sulfur. Agronomy Journal 64: 204-208.

Lavelle, P., Blanchart, E., Martin, A., Martin, S., Spain, A., Toutan, F., Barois, I., and Schaefer, R. 1993. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soils of the humid tropics. Biotropica 25: 130–150.

Li, C., Frolking, S., and Harriss, R.C. 1994. Modeling carbon biogeochemistry in agricultural soils. Global Biochemistry Cycles 8: 237-254.

Luna-Orea, P., Wagger, M.G., and Gumpertz, L.M. 1996. Decomposition and nutrient release dynamics of two tropical legume cover crops. Agronomy Journal 88: 758–764.

Lupwayi, N.Z., Clayton, G.W., O'Donovan, J.T., Harker, K.N., Turkington, T.K., and Soon, Y.K. 2007. Phosphorus release during decomposition of crop residues under conventional and zero tillage. Soil and Tillage Research 95: 231–239.

Meentemeyer, V. 1978. Macroclimatic and lignin control of litter decomposition rates. Ecology 59: 465–472.
Menzel, A. and Fabian, P. 1999. Growing season extended in Europe. Nature 397: 659.
Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2006. Analysis of agroclimatic indices of Iran under future climate change scenarios. Iranian Journal of Field Crops Research 4: 169-182. (In Persian with English Summary)
Parshotam, A., Saggar, S., Tate, K., and Parfitt, R. 2001. Modelling organic matter dynamics in New Zealand soils. Environment International 27: 111–119.
Paul, E.A., and Clark, F.E. 1996. Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press, San Diego pp 340..
Paustian, K., Collins, H.P., and Paul, E.A. 1997. Management controls on soil carbon. In: Paul, E.A., Paustian, K., Elliot, E.T., Cole, C.V. (Eds) Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems: Long-term Experiments in North America. CRC Press, Boca Raton, Florida.
Paustian, K., Six, J., Elliott, E.T., and Hunt, H.W. 2000. Management options for reducing CO_2 emissions from agricultural soils. Biogeochemistry 48(1): 147–163.
PeterJohn, W.T., Melillo, J.M., Bowles, F.P., and Steudler, P.A. 1993. Soil warming and trace gas fluxes: experimental design and preliminary flux results. Oecologia 93: 18–24.
Rosenzweig, C., and Parry, M.L. 1994. Potential Impacts of climate change on world food supply. Nature 367: 133-138.
Scorer, R.S. 2002. Air Pollution Meteorology. Horwood Publishing. pp. 150.
Swift, M.J., Heal, O.W., and Anderson, J.M. 1979. Decomposition in Terrestrial Ecosystems. Blackwell, Oxford. Pp 372.
Thorburn, P.J., Probert, M.E., and Robertson, F.A. 2001. Modelling decomposition of sugar cane surface residues with APSIM-Residue. Field Crops Research 70: 223-232.
Vazquez, R.I., Stinner, B.R., and McCartney, D.A. 2003. Corn and weed residue decomposition in northeast Ohio organic and conventional dairy farms. Agriculture, Ecosystems and Environment 95: 559–565.
Verma, S.B., Dobermann, A., Cassman, K.G., Walters, D.T., Knops, J.M., Arkebauer, T.J., Suyker, A.E., Burba, G.G., Amos, B., Yang, H., Ginting, D., Hubbard, K.G., Gitelson, A.A., and Walter-Shea, E.A. 2005. Annual carbon dioxide exchange in irrigated and rainfed-based agroecosystems. Agriculture and Forest Meteorology 131: 77-96.
Vitousek, P.M., Turner, D.R., Parton, W.J., and Sanford, R.L. 1994. Litter decomposition on the Mauna Loa environmental matrix, Hawai'i: patterns, mechanisms, and models. Ecology 75: 418–429.
Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. Soil Science 63: 251-263.
Winkler, J.P., Cherry, R.S., and Schelsinger, W.H. 1996. The Q_{10} relationship of microbial respiration in a temperate forest soil. Soil Biology and Biochemistry 28: 1067–1072.
Yan, H., Cao, M., Liu, J., and Tao, B. 2007. Potential and sustainability for carbon sequestration with improved soil management in agricultural soils of China. Agriculture, Ecosystems and Environment 121: 325-335.
Yang, L., Pan, J., Shao, Y., Chen, J.M., Ju, W.M., Shi, X., and Yuan, S. 2007. Soil organic carbon decomposition and carbon pools in temperate and sub-tropical forests in China. Journal of Environmental Management 85: 690–695.
Zhou, X., Wan, S., and Luo, Y. 2007. Source components and interannual variability of soil CO_2 efflux under experimental warming and clipping in a grassland ecosystem. Global Change Biology 13: 761–775.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 103-122

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۲۲-۱۰۳

Estimation of Carbon Sequestration in Iran Agroecosystems using Empirical Models

E. Boroumand Rezazadeh[1*], A. Koocheki, P. Rezvani Moghaddam, M. Nassiri Mahallati[2] and A. Lakzian[3]

Submitted: 05-10-2015
Accepted: 04-02-2016

Boroumand Rezazadeh, E., Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., Nassiri Mahallati, M., and Lakzian, A. 2019. Estimation of Carbon Sequestration in Iran Agroecosystems using Empirical Models. Journal of Agroecology. 11(1):103-122.

Introduction

Carbon sequestration is defined as the permanent gain of carbon by soil, plant or water. Soil as the largest terrestrial carbon pool plays an important role in the global carbon cycle. Due to the role of agricultural systems in CO_2 emission, attention to the carbon cycle in agricultural systems is of prime importance. So, the interest in agricultural soils and plant biomass as a carbon sink and an operational mechanism for reducing the atmospheric CO_2 level, is increasing. It is estimated that world's crop-based agriculture occupies 1.7 billion hectares, which can store up to 170 Pg carbon. Thus, the aims of this study were to simulate the relationship between crop residue decomposition rate with carbon to nitrogen ration (C:N) (an index of residue quality) as well as soil moisture regimes (the most important factors in residue decomposition) and also estimation of the attainable carbon sequestration in irrigated systems of five major crops in Iran based on the simulated model.

Materials and Methods

Residue decomposition rate of wheat (*Triticum aestivum* L.), maize (*Zea mays* L.), rapeseed (*Brassica napus* L.), cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and soybean (*Glycine max* L.) (with C:N ratios of 131, 69.7, 87.1, 57.8 and 95.9 , respectively) in different soil moisture regimes (100, 60 and 30 percentage of field capacity) was studied in a 390-day incubation experiment. Study data was used for simulation of residue decomposition and relative decomposition rate was defined as a function of moisture (f_m), C:N ($f_{C:N}$) and temperature (f_{temp}). The simulated model was used to evaluate attainable carbon sequestration of the studied crops in five years from 2002-2003 to 2006-2007 based on yield, harvest index and shoot to root ratio in three scenarios of residue retention (100, 50 and 0 percentage of total residue produced) as well as three scenarios of soil moisture regimes of 100, 60 and 30 percentage of field capacity for different provinces of Iran. In this step, residue decomposition during one year after harvest was calculated using f_m, $f_{C:N}$ and f_t. The difference between proportions of the residue returned to the soil and decomposed residues were considered as un-decomposed residue which was multiplied by 0.45 to gain attainable carbon sequestration. Data of attainable carbon sequestration was analyzed as factorial experiment based on completely randomized design.

Results and Discussion

Results indicated that higher C:N and therefore lower residue quality caused lower residue decomposition rate. This parameter was also decreased in soils with lower moisture. Effects of soil moisture on reside decomposition was more pronounced than residue quality. Comparison of attainable carbon sequestration in Iran's provinces revealed that in wheat cropping systems: Kermanshah and Sistan and Balouchestan, in maize: Qazvin and Southern Khorasan, in rapeseed: Isfahan and Boushehr, in cotton: Eastern Azarbaijan and Hormozgan and in soybean cropping system: Ardebil and Eastern Azarbaijan provinces had the highest and lowest attainable carbon sequestration, respectively. Attainable carbon sequestration in all crops was decreased with increasing soil moisture from 30 to 60 and 100% of FC and decreasing residue retention from 100 to 50 and 0 % of total crop residue production. Maize and soybean showed the highest and lowest capability of carbon sequestration, respectively.

Conclusion

1, 2 and 3- Ph.D in Crop Ecology and Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture and Professor, Department of Soil Sciences, Ferdowsi Uinversity of Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: akooch@um.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v11i1.50344

Results of the present study highlight the effects of environmental factors such as soil moisture as well as inherent properties of plant residues on residue decomposition. Climate and residue quality are the main determining factors of soil microorganisms activity and residue decomposition and therefore soil attainable carbon sequestration. Better soil moisture condition and temperature, also higher residue quality increases microorganisms activity resulting in more residue decomposition. Furthermore, plant biomass and residue management affects attainable carbon sequestration. Resultant of the mentioned factors determines attainable carbon sequestration in soils of agroecosystems. Regarding to the total carbon sequestration of afore-mentioned crops, Ardebil and Sistan and Balouchestan provinces showed the highest and lowest carbon sequestration, respectively.

Keywords: Air temperature, Residue decomposition, Residue retention, Soil moisture

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۳۵-۱۲۳

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 123-135

بررسی عملکرد و اجزاء عملکرد دانه گیاه علف قناری (*Phalaris canariensis* L.) در پاسخ به سطوح مختلف آبیاری، کودهای آلی و شیمیایی

ویدا ورناصری قندعلی[۱]، پرویز رضوانی مقدم[۲*] و سرور خرم دل[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۱۱

ورناصری قندعلی، و.، رضوانی مقدم، پ.، و خرم دل، س. ۱۳۹۸. بررسی عملکرد و اجزاء عملکرد دانه گیاه علف قناری (*Phalaris canariensis* L.) در پاسخ به سطوح مختلف آبیاری، کودهای آلی و شیمیایی. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱(۱):۱۳۵-۱۲۳.

چکیده

به منظور بررسی اثر مقادیر مختلف آب آبیاری و مدیریت تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد و اجزاء عملکرد دانه گیاه علف قناری (*Phalaris canariensis* L.)، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. رژیم‌های مختلف آبیاری در سه سطح (۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) در کرت‌های اصلی و تیمارهای کودی در شش سطح (کود شیمیایی (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپر فسفات تریپل)، کود ورمی‌کمپوست (۶ تن در هکتار)، کود دامی (۳۰ تن در هکتار)، کود شیمیایی+کود ورمی‌کمپوست، کود شیمیایی+کود دامی و شاهد) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج آزمایش نشان داد سطوح مختلف آب آبیاری اثر معنی‌داری بر روی تمامی صفات مورد بررسی به جز شاخص برداشت داشت. ارتفاع، تعداد پنجه، تعداد سنبله، تعداد دانه و وزن دانه در بوته، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک، پروتئین دانه و عملکرد پروتئین دانه به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای کودی قرار گرفتند. اثر متقابل رژیم‌های مختلف آبیاری و تیمارهای کودی اثر معنی‌داری بر صفات ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته داشت. بیشترین ارتفاع بوته در تیمار آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی + کود ورمی‌کمپوست و بیشترین تعداد پنجه در بوته در تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی+کود ورمی‌کمپوست مشاهده شد. همچنین در تیمار آبیاری۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۸۰ درصد نیاز آبی بیشترین تعداد دانه در بوته و بیشترین عملکرد بیولوژیک مشاهده شد. تعداد دانه در بوته و عملکرد بیولوژیک در تیمار مصرف کود دامی و کود ورمی‌کمپوست بیشترین مقدار را دارا بودند. تیمارهای کود دامی و ورمی‌کمپوست نسبت به تیمار کود شیمیایی و شاهد عملکرد بهتری داشتند. در مجموع اکثر صفات مورد مطالعه تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری با آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی نداشت و مصرف کود آلی نیز تأثیر مناسب‌تری بر رشد و عملکرد گیاه بر جای گذاشت.

واژه‌های کلیدی: عملکرد بیولوژیک، کود دامی، کود ورمی‌کمپوست، مدیریت تلفیقی عناصر غذایی

مقدمه

علف قناری (*Phalaris canariensis* L.) گیاهی یکساله از خانواده Poaceae می‌باشد. این گیاه بومی نواحی مدیترانه‌ای است و در کشورهای ایسلند، ایتالیا و شمال آفریقا از دانه به عنوان غذا برای انسان و پرندگان استفاده می‌شود. افزون بر این از براکته‌های گل‌آذین این گیاه در درمان سرطان مری استفاده می‌شود (Hodson et al., 1994). تأمین نیاز آبی بهینه یکی از عوامل مهم برای دستیابی به رشد و عملکرد بالای محصول مطرح می‌باشد. با توجه به این‌که کشور ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان واقع شده است، لذا تعیین مقدار مناسب آب آبیاری می‌تواند علاوه بر جلوگیری از اتلاف آب، باعث بهبود کارایی مصرف آب گردد. استفاده از رژیم‌های کم-آبیاری با هدف صرفه‌جویی در مصرف آب می‌تواند به عنوان مدیریت آب در مزرعه در افزایش سطح زیرکشت و تعیین الگوی کشت بهینه کمک نماید. کم‌آبیاری به عنوان یک استراتژی سودمند اقتصادی در محدودیت آبیاری و با هدف حداکثر استفاده از واحد حجم آب مصرفی مطرح است (Rezadost & Roshdi, 2003). روش‌های کم‌آبیاری از

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، استاد و دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email:rezvani@um.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v11i1.45399

جمله روش‌های آبیاری با دیدگاه افزایش تولید به ازای واحد مصرف آب می‌باشد. برتری این روش‌ها در اراضی وسیع و در سال‌هایی که به‌دلیل کاهش نزولات جوی، منابع آب محدود می‌گردد، بیشتر است و معمولاً در مناطقی که با کمبود آب آبیاری مواجه هستند، از کم‌آبیاری به‌عنوان روشی جهت افزایش کارایی مصرف استفاده می‌شود (Howell et al., 2004).

جانستون و فولر (Johnston & Flowler, 1992) گزارش کردند که وزن دانه در خوشه گندم (*Triticum aestivum* L.) به طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری قرار گرفت، آنها مراحل گرده‌افشانی و پر شدن دانه را جزء بحرانی‌ترین مراحل نمو نسبت به تنش رطوبتی بیان کردند. ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2008) گزارش کردند که کمبود شدید آب خاک، عملکرد دانه گندم زمستانه را کاهش داد؛ در حالی‌که کمبود ملایم آب خاک در فاصله زمانی بین زمان از سرگیری رشد فعال در بهار تا زمان پر شدن دانه سبب کاهش عملکرد دانه یا کارایی مصرف آب نشد و از طرفی، کارایی مصرف آب در شرایط کم‌آبیاری به میزان قابل توجهی افزایش یافت. نتایج سایر مطالعات صورت گرفته در دانه گندم در این خصوص نیز حاکی از افزایش انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از ساقه به دانه در شرایط تنش خشکی است در شرایط تنش خشکی کاهش هورمون جیبرلین و افزایش هورمون آبسزیک اسید باعث افزایش انتقال مجدد ذخایر کربنی و در نهایت، منجر به افزایش سرعت پر شدن دانه می‌گردد (Sachdev & Deb, 1990).

یکی از ضرورت‌ها در برنامه‌ریزی زراعی به منظور حصول عملکرد بالا و با کیفیت مطلوب در گیاهان، ارزیابی سیستم‌های مختلف تغذیه گیاه است. با روش‌های صحیح تغذیه خاک و گیاه می‌توان ضمن حفظ محیط‌زیست، بهینه کردن مصرف آب، کاهش فرسایش و حفظ تنوع زیستی، کارایی مصرف نهاده‌ها را افزایش داد. همچنین با اجتناب از کاربرد غیرضروری و بی‌رویه مصرف عناصر غذایی هزینه تولید را به حداقل کاهش داد که این امر می‌تواند راهی به سوی کشاورزی پایدار باشد (Mallanagouda, 1995; Rezaiei Najad & Afyoni, 1999). در دهه‌های اخیر تولید محصولات کشاورزی معمولاً متکی به مصرف نهاده‌های شیمیایی بوده که منجر به مشکلات عمده زیست‌محیطی شده است. تخریب منابع آب و خاک، زوال تنوع زیستی کشاورزی، آلودگی هوا و آب به وسیله کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها، تنها بخشی از مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کشاورزی رایج مبتنی بر مصرف نهاده‌های شیمیایی هستند (Chatterjee, 2002). لذا جایگزینی تدریجی کودهای شیمیایی با کودهای بیولوژیک و آلی ضمن تأمین نیازهای غذایی گیاهان مزایای دیگری مانند: بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و کاهش عوارض مضر زیست‌محیطی حاصل از کاربرد نهاده‌های شیمیایی را نیز بدنبال خواهد داشت (Dursun et al., 2002).

کودهای آلی، از جمله کودهای حیوانی، قادر به افزایش نگهداری آب توسط خاک، کاهش تنش‌ها از جمله تنش خشکی (Macilwain, 2004) افزایش تنوع میکروبی خاک (Ohel et al., 2004)، بهبود ساختمان فیزیکی خاک (Pulleman et al., 2003) و جلوگیری از فرسایش خاک می‌باشد (Pinamonti, 1998) که به همراه تأمین بخشی از مواد غذایی مورد نیاز (Turgut et al., 2005)، رشد و عملکرد را بهبود (Kramer et al., 2002) و کیفیت و سلامت محصول را افزایش می‌دهد (Gilesm, 2004). کودهای آلی با تولید هوموس عوارض نامطلوب کودهای شیمیایی را کاهش و در تلفیق با کودهای شیمیایی، کارایی مصرف کودهای شیمیایی را افزایش می‌دهند (Shata et al., 2007). همچنین استفاده از کود ورمی‌کمپوست در کشاورزی پایدار سبب افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک، در جهت افزایش عناصر غذایی مورد نیاز گیاه عمل نموده و سبب بهبود رشد و عملکرد گیاه زراعی می‌شود (Arancon et al., 2004). مندل و همکاران (Mendal et al., 2006) بیان کردند که مصرف توأم کودهای شیمیایی و کود حیوانی نسبت به مصرف کودهای شیمیایی به تنهایی، علاوه بر افزایش عملکرد، منجر به کاهش آب مصرفی در زراعت ذرت (*Zea mays* L.) گردید. ابراهیم و همکاران (Ibrahim et al., 2010) نیز با بررسی پاسخ گندم به سطوح مختلف کمپوست و کود دامی گزارش کردند که مصرف کود دامی و کمپوست ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته، طول سنبله و عملکرد کاه و دانه گندم را نسبت به شاهد به طور معنی‌داری افزایش داد. آنان این افزایش را به بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و افزایش فراهمی عناصر غذایی در اثر کاربرد کودهای آلی نسبت دادند.

با توجه به اینکه علف قناری از پتانسیل بالایی جهت بهره‌وری در دانه برخوردار بوده و تاکنون در ایران تحقیقات مناسبی بر روی این گیاه مهم علوفه‌ای صورت نگرفته است، هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر کم‌آبیاری و مدیریت منفرد و تلفیقی استفاده از کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد و اجزاء عملکرد دانه علف قناری، به منظور نیل به کشاورزی پایدار بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق بصورت کرت‌های خرده شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، واقع در۱۰ کیلومتری شرق مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. در این آزمایش تأثیر دو عامل کم‌آبیاری (به عنوان

عامل اصلی) و مدیریت کودی (به عنوان عامل فرعی) مورد بررسی قرار گرفتند. تیمارهای آبیاری در سه سطح (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی) و تیمارهای مدیریت کودی در شش سطح (کود شیمیایی نیتروژن، کود ورمی‌کمپوست، کود دامی، کود شیمیایی+کود ورمی-کمپوست، کود شیمیایی+کود دامی و شاهد) در نظر گرفته شد.

مقادیر کودهای شیمیایی نیتروژن (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپر فسفات تریپل) براساس توصیه‌ی کودی شرکت زرآوند خراسان، در کرت‌های مربوطه اعمال شد. مقادیر کودهای گاوی (۳۰ تن در هکتار) و ورمی‌کمپوست (شش تن در هکتار) بر اساس مقدار نیتروژن توصیه شده برآورد و اعمال شد، با توجه به اینکه از کل عناصر موجود بر کود دامی مقدار ۴۰-۵۰ درصد در سال اول آزاد می‌شود، مقدار بدست آمده برای کود دامی دو برابر مقادیر نیتروژن توصیه شده در نظر گرفته شد. برای تیمار تلفیقی براساس توصیه کودی مقادیر کود شیمیایی + کود دامی، با نسبت برابر۵۰:۵۰ و نیز کود شیمیایی+کود ورمی‌کمپوست با نسبت برابر ۵۰:۵۰ در نظر گرفته شد.

نیاز آبی علف قناری توسط نرم‌افزار (Alizadeh & Optiwat Kammali, 2007) در شرایط اقلیمی مشهد برآورد شد و سپس مقادیر آب آبیاری برای تیمارهای آبیاری بر اساس ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی برآورد و در هر دور آبیاری توسط کنتور اعمال شد. آماده‌سازی زمین شامل شخم اولیه در آذر ماه و عملیات خاک‌ورزی ثانویه شامل دو دیسک عمود بر هم، تسطیح زمین توسط لولر و همچنین ایجاد جوی و پشته توسط فاروئر در اواسط بهمن ماه انجام شد. پس از عملیات آماده‌سازی زمین نمونه خاک جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و توصیه کودی، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک برداشت شد که نتایج تجزیه آن در جدول ۱ آمده است. کودهای دامی و ورمی‌کمپوست به صورت یک‌جا دو هفته قبل ازکاشت به کرت‌های مربوطه افزوده شد و تا عمق ۱۵ سانتی‌متری با خاک مخلوط شدند. کود سوپرفسفات به صورت یک‌جا و یک سوم کود اوره هم همزمان با کاشت به خاک داده شد. مابقی کود اوره به صورت سرک در مراحل چهار برگی و مرحله ساقه‌دهی به زمین داده شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و خصوصیات شیمیایی کود های آلی خاک (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)

Table 1- Physical and chemical criteria of organic fertilizers soil properties (0-30 cm depth)

نمونه Sample	بافت Texture	نیتروژن کل Total N (%)	کربن آلی Total C (%)	شاخص واکنش pH	پتاسیم قابل استفاده Available K (%)	فسفرقابل استفاده Available P (%)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)
خاک Soil	لومی Loamy	0.05	0.57	7.70	0.02	0.57	2.74
کود دامی Animal manure	-	0.48	-	6	6.8	1.1	0.08
ورمی‌کمپوست Vermi-compost	-	1.3	-	5	6.9	-	1.3

ابعاد کرت‌های آزمایشی ۳ ×۱/۸ متر بود. در هر کرت تعداد سه پشته ۶۰ سانتی‌متری ایجاد شد. بذور بصورت ردیفی در دو طرف هر پشته کشت شدند. به نحوی‌که هر کرت دارای شش ردیف کاشت به فاصله ۳۰ سانتی‌متر بود. فاصله کرت‌های فرعی ۶۰ سانتی‌متر و فاصله‌ی بلوک‌ها یک متر بود. بذور علف قناری با تراکم بالا در ۲۱ اسفند ۱۳۹۲ بصورت دستی کاشته شد. تراکم بوته در مرحله چهار برگی به تراکم مطلوب ۲۰۰ بوته در متر مربع (با فاصله روی ردیف دو سانتی‌متر) رسانده شد و اولین آبیاری یک روز پس از کاشت به طور مساوی برای همه کرت‌ها انجام شد و اعمال تیمارهای آبیاری پس از تنک کردن صورت پذیرفت. آبیاری‌ها با فاصله هر ۱۰ روز یکبار انجام شد و آخرین آبیاری نیز ۱۷ روز قبل از برداشت دانه (۹۳/۰۴/۱۰) انجام گرفت. کنترل علف‌های هرز بوسیله دست در طول فصل رشد انجام شد.

قبل از برداشت نهایی دانه، تعداد ۱۰ بوته به صورت تصادفی از هر کرت انتخاب شد و صفاتی از جمله ارتفاع بوته، تعداد پنجه در هر بوته، تعداد پنجه بارور یا تعداد سنبله در هر بوته، تعداد دانه در هر سنبله، وزن دانه در هر سنبله و بوته، وزن هزار دانه و شاخص برداشت تعیین شد. آنگاه با در نظر گرفتن حاشیه از سطحی معادل ۱/۴ متر مربع گیاهان از ارتفاع ۵-۳ سانتی‌متری برداشت شده و زیست توده تولیدی در هر کرت ثبت شد. در نهایت آنگاه دانه‌ها از کاه جدا شده و عملکرد دانه در هر کرت تعیین شد. اندازه‌گیری نیتروژن با روش

کجلدال (AOAC) انجام شد، در نهایت، برای براورد پروتئین خام در ۶/۲۵ ضرب شد.

در پایان داده‌های حاصل با نرم‌افزار SAS 9.1 تجزیه و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و با نرم‌افزار MSTAT-C در سطح احتمال پنج درصد انجام پذیرفت. لازم به توضیح است، در مواردی‌که اثرات متقابل تیمارها بر صفات مورد مطالعه در جدول تجزیه واریانس معنی‌دار شد، اثرات ساده این صفات مورد بررسی قرار نگرفت و در مواردی‌که اثرات متقابل تیمارها بر صفات مورد مطالعه معنی‌دار نبود، اثرات ساده مورد بررسی و تجزیه تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرتیمارهای آبیاری و مصرف منابع کودی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه علف قناری

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for effects of irrigation treatments and fertilizer management on yield and yield components of Canary seed

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد پنجه در بوته Number of tiller per plant	تعداد سنبله در بوته Number of spike per plant	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	وزن دانه در بوته Seed weight per plant	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	پروتئین دانه Seed protein	عملکرد پروتئین دانهSeed protein yield
بلوک Block	2	16330.80**	3.22^{ns}	0.0005 ^{ns}	1876.15^{ns}	0.0005 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.005 ^{ns}	3.59 **	40.49 ^{ns}	1.33**	2.18^{ns}
حجم آبیاری Irrigation	2	1427.86**	1.28 **	0.002 **	926.59 **	0.08 **	1.78 **	0.79 **	17.05 **	5.34 ^{ns}	8.11**	57.98**
خطای اصلی Main error	4	136.17 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.0002^{ns}	8.36 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.52 *	0.01 ^{ns}	0.48 ^{ns}	1.06 ^{ns}	0.13^{ns}	3.73^{ns}
کود Fertilizer	5	329.56 **	1.68 **	0.001 *	288.87*	0.01 **	0.16^{ns}	0.14 **	2.80 **	10.54^{ns}	89.53**	123.5**
حجم آبیاری×کود Irrigation volume× fertilizer	10	183.02 *	0.06 **	0.0004 ^{ns}	16.09^{ns}	0.002 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.02^{ns}	0.45^{ns}	12.93 ^{ns}	0.17*	2.59^{ns}
خطای فرعی Sub error	30	135.65	0.17	0.0006	34.25	0.003	0.14	0.03	0.45	14.1^{ns}	0.07	4.93
ضریب تغییرات C.V. (%)		8.16	4.36	7.12	18.62	17.53	6.40	17.52	12.18	19.68	2.34	18.29

**، * و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد، عدم وجود اختلاف معنی‌دار

*,**: and are significant at the 0.01 and 0.05 levels of probability and no significant, respectively.

صفات مورفولوژی

اثر متقابل تیمارهای کودی و آبیاری بر ارتفاع بوته و تعداد پنجه در بوته به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). به طوری‌که در تیمار I_{80} +کود دامی و I_{80} + ورمی‌کمپوست بیشترین ارتفاع بوته مشاهده گردید که البته تفاوت معنی‌داری با تیمارهای آبیاری I_{100} + کود دامی و ورمی‌کمپوست و تیمار آبیاری I_{80} و کود شیمیایی نداشت. بیشترین تعداد پنجه در بوته نیز در تیمار آبیاری I_{100} + کود ورمی‌کمپوست و تیمار I_{100} + کود دامی و نیز تیمار I_{100} + کود دامی+ شیمیایی و تیمار I_{80} + کود دامی و تیمار I_{80} + ورمی‌کمپوست مشاهده گردید. کمترین ارتفاع بوته در تیمارآبیاری I_{60} + کود شیمیایی و تیمار آبیاری I_{60} + تیمار بدون کود (شاهد) و کمترین تعداد پنجه در بوته در سطح آبیاری I_{80} + شاهد و I_{60} + شاهد مشاهده گردید (جدول ۳). نتایج نشان داد در تیمارهای کودهای

دامی و ورمی‌کمپوست در۸۰ در صد نیاز آبی، اثر کم‌آبیاری تاحدی در صفت‌های ارتفاع بوته و تعداد پنجه در بوته جبران شد در حالی‌که تیمارهای کود شیمیایی و شاهد اثر کم‌آبیاری را تشدید کردند.

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد علف قناری تحت تأثیر اثر متقابل مقادیر مختلف آبیاری و تیمارهای مختلف کودی

Table 3- Mean comparison for yield and yield components of Canary seed affected by interaction between different irrigation volumes and different fertilizer treatments

آبیاری Irrigation	منبع کودی Fertilizer sources	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد پنجه در بوته Number of tiller per plant	پروتئن دانه Seed protein (%)
۱۰۰٪ نیاز آبی 100% water requirement	کود دامی Animal manure	117.13^{ab*}	3.70^{a}	9.25^{n}
	ورمی‌کمپوست+کود شیمیایی Vermi-compost+Chemical fertilizer	113.10^{bc}	3.20^{b}	13.58^{e}
	ورمی‌کمپوست Vermi-compost	116.53^{ab}	3. 76^{a}	8.69^{n}
	کود شیمیایی Chemical fertilizer	111.50^{c}	3.20^{b}	12.42^{h}
	دامی+کود شیمیایی Animal manure+Chemical	110.93^{c}	3.56^{a}	14.52^{c}
	شاهد Control	99.90^{f}	2.80^{c}	6.77^{q}
۸۰٪ نیاز آبی 80% water requirement	کود دامی Animal manure	118.50^{a}	3.70^{a}	9.96^{k}
	ورمی‌کمپوست+کود شیمیایی Vermi-compost+Chemical fertilizer	112.63^{bc}	3.23^{b}	14.31^{d}
	ورمی‌کمپوست Vermi-compost	118.30^{a}	3.73^{a}	9.62^{l}
	کود شیمیایی Chemical fertilizer	114.03^{abc}	2.90 ^{c}	13.00^{g}
	دامی+کود شیمیایی Animal manure+Chemical	94.40^{g}	3.16^{b}	15.71^{b}
	شاهد Control	106.96^{de}	2.20^{d}	7.37^{p}
۶۰٪ نیاز آبی 60% water requirement	کود دامی Animal manure	100.53^{f}	3.20^{b}	10.31^{j}
	ورمی‌کمپوست+کود شیمیایی Vermi-compost+Chemical fertilizer	97.76^{fg}	2.80^{c}	14.56^{c}
	ورمی‌کمپوست Vermi-compost	102.26^{ef}	3.26^{b}	10.52^{i}
	کود شیمیایی Chemical fertilizer	84.53^{h}	2.73^{c}	13.47^{a}
	دامی+کود شیمیایی Animal manure+Chemical	110.56^{cd}	2.80^{c}	16.56^{a}
	شاهد Control	86.03 ^{h}	2.23 ^{d}	7.81o

*میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تقاوت معنی‌داری براساس آزمون دانکن($p\leq 5\%$) از نظر آماری ندارند.

*Means followed by similar letters in each column are not significantly different at the 5%level of probability level based on Dancan's test.

پنجه‌دهی زیاد تحت شرایط خشکی بدلیل مصرف بیهوده رطوبت خاک یک صفت نامطلوب محسوب می‌شود (Arazmjoo, 2008). با توجه به اینکه استفاده از کودهای دامی و ورمی کمپوست باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب بیشتر در خاک می‌شود به نظر می‌رسد استفاده از این‌گونه منابع کودی می‌تواند اثرات نامطلوب افزایش تعداد پنجه در شرایط کم‌آبیاری را جبران نماید. نتایج آزمایش‌های افوسو و همکاران (Ofosu-Anim & Leitch, 2009) در غنا نشان داد که کود دامی باعث افرایش ارتفاع بوته، ماده خشک و محتوای کلروفیل

برگ‌های جو بهاره (*Hordeum vulgare* L.) شد. همچنین طالعی و بهرام نژاد (Taleei & Bahram Nejad, 2003) با مطالعه روی گندم گزارش کردند که بین عملکرد دانه و اجزاء آن با ارتفاع بوته در شرایط نامساعد محیطی رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد. در هر حال، محدودیت دسترسی به آب در گیاه توسعه و رشد مریستم‌های انتهایی و میانی را که در میانگره ساقه فعال است کاهش داده، در نتیجه ارتفاع نهایی بوته کوچک باقی می‌ماند. مطالعات متعددی مشابه با نتایج آزمایش کنونی، کاهش ارتفاع بوته ذرت را در اثر کاهش مقدار آب مورد نیاز گزارش کرده‌اند (Gavloski et al., 1992; Traore et al., 2000). بر اساس نتایج حاصله در بررسی حاضر، به نظر در شرایط محدودیت رطوبت اعمال مدیریت‌هایی از جمله اضافه کردن کودهای آلی به خاک، باقی گذاشتن بقایای محصول قبلی در خاک و یا اضافه کردن کاه و کلش به خاک می‌تواند از اثرات نامطلوب خشکی یا کم‌آبیاری در بروز صفات مورفولوژیکی و کمی گیاهان مؤثر واقع گردد.

اجزای عملکرد

طبق نتایج تجزیه واریانس اثر ساده مدیریت آبیاری و مصرف منابع کودی بر اجزای عملکرد معنی‌دار نبود (جدول ۲).

تعداد سنبله در بوته: تعداد سنبله در بوته در تیمار آبیاری I_{100}، افزایش را نشان داد. تعداد سنبله در بوته در تیمار آبیاری I_{80} و I_{60} به ترتیب روند کاهش را نشان داد (جدول ۴). تعداد سنبله در بوته تیمار کود دامی و ورمی‌کمپوست و ورمی‌کمپوست + شیمیایی و دامی + شیمیایی و شیمیایی نسبت به تعداد سنبله در بوته در شاهد افزایش یافت (جدول ۵).

جدول ٤- نتایج مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد علف قناری تحت تأثیر مقادیر مختلف آب آبیاری

Table 4- Results of mean comparison for yield and yield component of Canary seed affected by different irrigation volumes

آبیاری Irrigation	ارتفاع بوته Plant height(cm)	تعداد پنجه در بوته Number of tiller per plant	تعداد سنبله در بوته Number of spike per plant	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	وزن دانه در بوته Seed weight per plant (g)	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield ($t.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($t.ha^{-1}$)	شاخص برداشت Harvest index (%)	پروتئین دانه Seed protein (%)	عملکرد پروتئین دانه Seed protein yield
۱۰۰٪ نیاز آبی 100% water requirement	112.23 a*	3.37 a	0.23 a	73.48a	0.40 a	6.21a	1.22a	6.24 a	19.83 a	10.87c	13.19a
۸۰٪ نیاز آبی 80% water requirement	112.18 a	3.15 b	0.22 b	66.55a	0.37 a	5.93 b	1.10a	5.96 a	18.76 a	11.66b	13.15a
۶۰٪ نیاز آبی 60% water requirement	96.78 b	2.83 c	0.21 b	59.13c	0.27 b	5.58 c	0.81b	4.47 b	18.50 a	12.20a	10.06b

*میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری براساس آزمون دانکن($p\leq 5\%$) از نظر آماری ندارند.

*Means followed by similar letters in each column are not significantly different at the 5%level of probability level based on Dancan's test.

وزن دانه در بوته: در تیمارهای آبیاری I_{100} و I_{80} افزایش وزن دانه در بوته و کاهش وزن دانه در بوته در تیمار آبیاری I_{60} مشاهده شد (جدول ۳). افزایش وزن دانه در بوته در تیمار کود ورمی‌کمپوست و دامی مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کود ورمی‌کمپوست + شیمیایی و کود دامی + کود شیمیایی نداشت. کاهش وزن دانه در بوته در تیمار شاهد مشاهده شد.

تعداد دانه در بوته: تیمارهای کودی و آبیاری اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در بوته داشت. بیشترین تعداد دانه در بوته در تیمارهای آبیاری I_{100} و I_{80} مشاهده شد کمترین مقدار این شاخص نیز در تیمار آبیاری I_{60} به دست آمد (جدول ۴). همچنین اثر تیمارهای کودی بر روی تعداد دانه در بوته در تیمارهای کود دامی و ورمی‌کمپوست بیشترین مقدار بود که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کود دامی + شیمیایی و کود ورمی‌کمپوست+ شیمیایی نداشت که این دو تیمار با تیمار کود شیمیایی تفاوت معنی‌دار نداشتند.

شارما و همکاران (Sharma et al., 2006) کشاورزی پایدار از طریق مصرف تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی به این صورت که گیاه

بخشی از نیاز خود به نیتروژن را از کود آلی و بخشی را از کود شیمیایی تأمین می‌کند بنابراین مصرف تلفیقی کودها، می‌تواند راهکار مؤثری برای تولید و حفظ عملکرد در سطح مطلوب باشد. علاوه بر این کودهای آلی باعث افزایش مواد آلی خاک می‌توانند در شرایط مواجهه گیاهان با تنش‌های محیطی از جمله خشکی، نقش بسیار مهمی در بهبود اجزای عملکرد آنها داشته باشد. بیشترین و کمترین وزن هزار دانه به ترتیب در تیمارهای آبیاری I_{100} و I_{60} مشاهده شد که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. رمضانی و آساد (Ramezani & Asad, 2002) بیان داشتند که به دلیل تابعیت بیشتر وزن هزار دانه از عامل‌های ژنتیکی نسبت به متغیرهای محیطی، افزایش سطح کود اوره تأثیری در بیشتر شدن وزن هزار دانه گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) نداشت که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. ساتوره و اسلافر (Satorre & Slafer, 1999) نیز بیان کردند که وزن هزار دانه بر خلاف تعداد دانه در واحد سطح، ارتباط اندکی با عملکرد دانه در گندم دارد و معمولاً کمتر تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی و زراعی واقع می‌گیرد.

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد علف قناری تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی

Table 5- Results of mean comparison for yield and yield component of Canary seed affected by different fertilizer treatments

منبع کودی Fertilizer sources	ارتفاع بوته Plant height(cm)	تعداد پنجه در بوته Number of tiller per plant	تعداد سنبله در بوته Number of spike per plant	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	وزن دانه در بوته Seed weight per plant (g)	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield ($t.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($t.ha^{-1}$)	شاخص برداشت Harvest index (%)	پروتئین دانه Seed protein (%)	عملکرد پروتئین دانه Seed Protein yield
کود دامی (M) Animal manure (M)	114.03^{a}	3.53^{a}	0.23^{a}	73.55^{a}	0.38^{a}	6.04^{a}	1.15^{a}	6.23^{a}	18.53^{a}	9.84^{d}	11.23^{b}
V+ C	107.83^{a}	3.07^{b}	0.22^{a}	66.34 ^{ab}	0.36^{ab}	5.93^{a}	1.08^{ab}	5.65^{ab}	19.84^{a}	14.15^{b}	12.32^{a}
ورمی‌کمپوست (V) Vermi-compost (V)	112.36^{a}	3.58^{a}	0.23^{a}	72. 50^{a}	0.39^{a}	5.95^{a}	1.17^{a}	6.15^{a}	19.30^{a}	9.61^{d}	11.16^{b}
کود شیمیایی (C) Chemical fertilizer (C)	104.68^{ab}	2.93^{c}	0.22^{a}	60.43^{bc}	0.32 ^{bc}	5.95^{a}	0.95 ^{bc}	5.13^{bc}	18.45 ^{a}	12.96^{c}	12.37^{b}
M+C	106.41^{ab}	3.17^{b}	0.22^{a}	64.96 ^{ab}	0.35 ^{ab}	5.81 ^{a}	1.07^{ab}	5.31^{bc}	20.51^{a}	15.59^{a}	16.64^{a}
شاهد Control	97.04^{b}	2.40^{d}	0.19^{b}	60.53^{c}	0.28^{c}	5^{a}	0.84^{c}	4.87^{c}	17.53^{a}	7.31^{e}	6.10^{c}

*میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی‌داری براساس آزمون دانکن($p\leq 5\%$) از نظر آماری ندارند.

*Means followed by similar letters in each column are not significantly different at the 5%level of probability level based on Dancan's test.

عمکرد بیولوژیکی و دانه

عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری I_{100} (۱/۲۲ تن در هکتار) و I_{80} (۱/۱۰تن در هکتار) بیشترین مقدار بود. با کاهش ۲۰ درصدی در عملکرد دانه در تیمار I_{60} به ۰/۸۱ تن در هکتار کاهش یافت. موسوی فضل و همکاران (Mousavi Fazl et al., 2014) در بررسی اثرات کم‌آبیاری بر سورگوم علوفه‌ای (*Sorghum bicolor* L.) گزارش کردند کم‌آبیاری باعث کاهش خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد بیولوژیکی ارقام مختلف سورگوم علوفه‌ای شد. عملکرد دانه در آبیاری I_{100} و I_{80} به این دلیل بالا بود که وزن هزار دانه و تعداد دانه در بوته نیز در این دو نیز بیشترین بود. بروز کم‌آبی در طی مراحل مختلف نموی به ویژه در مرحله زایشی به علت کاهش طول دوره فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی جاری به دانه و همچنین کاهش انتقال مجدد مواد ذخیره شده در ساقه به دانه، موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Patra et al., 1999).

تیمارهای کود ورمی‌کمپوست و دامی بیشترین عملکرد دانه را دارا بودند که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کود دامی+شیمیایی و کود ورمی‌کمپوست+شیمیایی نداشتند. کمترین عملکرد دانه در تیمار شاهد مشاهده شد که با تیمار کود شیمیایی تفاوت معنی‌داری نداشت. در

بررسی روی گندم گزارش شد که عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر کودهای آلی و شیمیایی قرار گرفت، بطوری‌که کاربرد کود دامی باعث افزایش قابل توجه عملکرد دانه شد (Sachdev & Deb, 1990) که با نتایج ما مطابقت داشت. قوش و شارما (Ghosh & Sharma, 1999) گزارش کردند که در شرایط مزرعه، کاربرد ۱۰ تن کود دامی در هکتار به تنهایی یا به همراه کود اوره اثر مفیدی بر رشد و عملکرد گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) داشت. اولسن و همکاران (Olesen et al., 2009) نیز با بررسی اثر تیمارهای مختلف کودی بر عملکرد جو گزارش کردند که کاربرد کود آلی به ویژه در مقادیر زیاد باعث بهبود کلیه صفات و در نهایت، عملکرد بیشتر گردید. ورود مواد آلی به خاک باعث افزایش عناصر غذایی خاک و قابلیت جذب آنها توسط گیاه، افزایش تعادل نیتروژنی و کارآیی جذب عناصر غذایی می‌شود. نتایج آزمایش مارکوتی و همکاران (Marcote et al., 2001) نیز در مورد تأثیر کودهای دامی و شیمیایی بر روی جو نشان داد که کاربرد کود دامی عملکرد مشابه و یا حتی بیشتری نسبت به تیمار کود شیمیایی داشت. در این رابطه رضادوست و رشدی (Rezadost & Roshdi, 2003) در آزمایشات خود گزارش کردند که اعمال تنش رطوبتی یا همان کم‌آبیاری باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود. بیشترین عملکرد دانه در تیمار کودی ورمی‌کمپوست و کمترین عملکرد دانه در تیمار بدون کوددهی مشاهده گردید که در این رابطه احمدی‌نژاد و همکاران (Ahmadinezhad et al., 2012) افزایش معنی‌دار شاخص برداشت در رابطه با کودهای آلی گزارش کردند. بنابراین نتایج این محققان با نتایج ما مطابقت داشت. از این‌رو می‌توان بیان کرد که کم‌آبیاری در ۸۰ درصد نیاز آبی و کاربرد کودهای آلی به صورت منفرد و یا به صورت تلفیقی با کود شیمیایی برای عملکرد دانه و بیولوژیک در گیاه علف قناری نتیجه مثبتی داشت و سبب افزایش صفت‌های ذکر شده بود.

عملکرد بیولوژیکی تحت تأثیر اثرات ساده تیمارهای آبیاری و مصرف منابع مختلف کودی قرار گرفت ($p\leq0.01$). عملکرد بیولوژیکی در تیمار آبیاری I_{100} (بدون کم‌آبیاری) و تیمار I_{80} به‌ترتیب با ۶/۲۴ و ۵/۹۶ بیشترین بود. عملکرد بیولوژیک با کاهش ۳۰ درصدی با ۴/۴۷ در تیمار آبیاری۶۰ درصد کمترین بدست آمد. در بین تیمارهای کودی نیز بیشترین عملکرد بیولوژیکی در تیمار مصرف کود ورمی‌کمپوست و کود دامی با ۶/۲۳ و ۶/۱۵ مشاهده شد که با تیمار ورمی‌کمپوست+شیمیایی تفاوت معنی‌داری نداشت. عملکرد بیولوژیک با کاهش ۲۲ درصدی با مقدار ۴/۸۷ در تیمار بدون کود (شاهد) کمترین بود. مجیدیان و همکاران (Majidian et al., 2006) گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه در کشت ذرت دانه‌ای تحت تأثیر کودهای تلفیقی و آبیاری ۱۰۰ درصد بدست آمد که با مصرف منفرد تیمار کود دامی تفاوت معنی‌دار نداشت. همچنین نتایج کیتر و همکاران (Kitterer et al., 1997) نشان داد عملکرد بیولوژیک گیاه فالاریس قرمز (*Phalaris arundinacea* L.) تحت تأثیر کودهای آلی مورد استفاده قرار نگرفت، ولی از تیمارهای مدیریت آبیاری تأثیر پذیرفت. اوسبورون و همکاران (Osborne et al., 2002) گزارش کردند در اثر تنش خشکی عملکرد بیولوژیکی ذرت دانه‌ای کاهش یافت که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت داشت. عملکرد بیولوژیکی بیانگر این است که گیاه زراعی چه مقدار از فتوسنتز حقیقی خود را قادر است به صورت فتوسنتز خالص در آورد. کاهش فتوسنتز حقیقی و افزایش تنفس گیاه دو عاملی هستند که فتوسنتز خالص و در نتیجه عملکرد بیولوژیکی گیاه را کاهش‌می‌دهند. یکی از اثرات اولیه تنش خشکی روی فرایند فتوسنتز، افزایش مقاومت مزوفیلی می‌باشد، لذا از میزان ۱۲ درصد کاهش در مقدار فتوسنتز دو سوم مربوط به مقاومت مزوفیلی و یک سوم باقیمانده مربوط به افزایش مقاومت روزنه‌ای است (Greenway & Munns, 1980). کاهش رشد گیاهان زراعی و در نتیجه کاهش عملکرد بیولوژیک در شرایط کم‌آبیاری بواسطه محدود شدن فتوسنتز صورت می‌گیرد. عوامل محدودکننده فتوسنتز به دو دسته عوامل روزنه‌ای و غیرروزنه‌ای تقسیم می‌شود. فیشر و همکاران (Fischer et al., 1998) بیان کردند که عوامل اصلی محدود کننده فتوسنتز، کاهش هدایت مزوفیلی است. بنابراین در شرایط کم‌آبیاری ۶۰ درصد، کاهش عملکرد بیولوژیک را می‌توان به کاهش محدود شدن فتوسنتز و در نتیجه کاهش هدایت مزوفیلی نسبت داد.

شاخص برداشت

شاخص برداشت تحت تأثیر هیچ یک از تیمارهای سطوح آبیاری و مدیریت مصرف منابع کودی قرار نگرفت. حداکثر مقدار شاخص برداشت در تیمار آبیاری I_{100} مشاهده گردید کمترین مقدار آن در تیمار آبیاری I_{60} مشاهده شد. با اینکه در شرایط کم‌آبیاری عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه کاهش پیدا کرد، اما در این شرایط کم‌آبیاری کاهش عملکرد بیولوژیک کمتر از کاهش عملکرد دانه بود. که در این رابطه پنگ و همکاران (Peng et al., 2006) در بررسی‌های خود گزارش کردند شاخص برداشت تحت تأثیر کودهای آلی قرار نگرفت. پژوهش‌های الوار و همکاران (Kannani Alvar et al., 2012) برروی گیاه جو بهاره تحت تأثیر کودهای آلی و شیمیایی، شاخص برداشت تحت تأثیر هیچ یک از کودها قرار نگرفت.

درصد پروتئین و عملکرد پروتئین

درصد پروتئین دانه تحت تأثیر اثر متقابل تیمارهای آبیاری و مدیریت مصرف منابع کودی قرار گرفت ($p\leq0.05$) (جدول ۳). بیشترین درصد پروتئین دانه در تیمارهای I_{60} + کود شیمیایی و I_{60} + کود شیمیایی+ کود دامی بدست آمد. عملکرد پروتئین دانه در تیمار

I_{100} و I_{80} بیشترین مقدار بود و کمترین عملکرد پروتئین دانه نیز در تیمار آبیاری I_{60} مشاهده شد. همچنین عملکرد پروتئین دانه در تیمارهای کود شیمیایی+ کود ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی+ کود دامی بیشترین مقدار بود و در تیمار بدون کود کمترین عملکرد پروتئین دانه مشاهده شد. ساخته شدن پروتئین نسبت به تنش آب و کمبود رطوبت بسیار حساس می‌باشد (Hsiao, 1973)؛ بطوری‌که کمبود رطوبت درصد پروتئین دانه را افزایش می‌دهد. مطالعات زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد کاهش پتانسیل آب برگ در اثر تنش رطوبتی باعث شده است که مجموع پروتئین‌های محلول کاهش چشمگیری داشته باشد (Gusta & Chen, 1987). در شرایط خشکی جذب و تثبیت دی‌اکسید کربن بر اثر بسته شدن نسبی روزنه‌ها و یا کاهش درجه گشودگی آنها کاهش می‌یابد، بنابراین میزان کل مواد پرورده برای پر شدن دانه کاهش می‌یابد، ولی تنش خشکی انتقال مجدد نیتروژن از برگ‌ها به دانه را کاهش نمی‌دهد و این امر سبب افزایش پروتئین دانه می‌شود (Jalilian et al., 2010). بنابراین عملکرد پروتیئن در دانه گیاه علف قناری در شرایط کم‌آبیاری و کود شیمیایی افزایش یافته بود.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی تأثیر کم‌آبیاری و نیز مصرف توام و منفرد کودهای آلی و شیمیایی بر روی رشد و عملکرد گیاه علف قناری نشان داد که تیمارهای I_{100} و در اکثر موارد I_{80} بیشترین عملکرد دانه را تولید کردند. همچنین بیشترین عملکرد دانه در تیمار مصرف کود دامی و ورمی‌کمپوست مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کود دامی + کود شیمیایی و کود ورمی‌کمپوست + کود شیمیایی نداشت. استفاده از سیستم تلفیقی کود دامی و شیمیایی باعث می‌شود کود شیمیایی در ابتدای دوره رشد، عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد گیاه را فراهم کند و پس از آن در طول دوره رشد با معدنی شدن تدریجی نیترات کود دامی، گیاه از نیتروژن آزاد شده در طول دوره رشد استفاده نماید. کود دامی محتوی اکثر عناصر مورد نیاز گیاه برای رشد می‌باشد بنابراین، در مجموع، می‌توان گفت که استفاده از سیستم تغذیه‌ای با ترکیب کود دامی و کود شیمیایی باعث افزایش عملکرد محصول می‌شود.

تشکر و قدرانی

بدینوسیله نویسندگان از همکاری معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد بابت تأمین هزینه‌های پایان‌نامه از پژوهانه شماره ۳۱۴۴۱ /۳ مصوب تاریخ ۹۳/۰۲/۰۷ کمال تشکر و امتنان را دارند.

منابع

Ahmadinezhad, R., Najafi, N., Aliasgharzad, N., and Oustan, S. 2012. Effects of organic and nitrogen fertilizers on water use efficiency, yield and the growth characteristics of wheat (*Triticum aestivum* cv. Alvand). Journal Water and Soil Science 23(2): 177-194. (In Persian With English Summary)

Alizadeh, A., and Kamali, G. 2007. Water Use of Plants in Iran. Astan Qods Publication, Mashhad, Iran. 228 pp. (In Persian)

Kanaani Alvar, A., Raei, Y., Zehtab Salmasi, S., and Nasrollazadeh, 2012. Study the effects of biological and nitrogen fertilizers on yield and some morphological traits of two spring barley (*Hodeum vulgare* L.) varieties under rainfed conditions. Sustainable Agriculture and Production Science 23(1): 20-29. (In Persian with English Summary)

AOAC. 2000. Official Methods of Analysis, 17th Ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland, USA.

Arancon, N., Edwards, C. A. Bierman, P., Welch, C., and Metzger, J.D. 2004. Influence of vermicompost on field strawberries. I: Effects on Growth and Yields. Bioresearch Technology 93: 145-153.

Arazmjoo, E. 2008. Effect of drought stress and different fertilizers on quantitative and qualitative yield of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) case study: Sistan. MSc dissertation, Faculty of Agriculture, Zabol University, Iran. (In Persian with English Summary)

Chatterjee, S.K. 2002. Cultivation of medicinal and aromatic plants in India a commercial approach. Proceedings of an International Conference on MAP. Acta Horticulture (ISHS) 576: 191-202.

Dursun, A., Guvenc, I., and Turan, M. 2002. Effect of different levels of humic acid on seedling growth and macro and micronutrient contents of tomato and eggplant. ACTA Agrobotanical 56: 81-88.

Fischer, R.A., Rees, D., Sayre, K.D., Lu, Z.M., Candon, A.G., and Saavedra, A.L. 1998. Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. Crop Science 38: 1467-1475.

Gavloski, J.E., Whitfield, G.H., and Ellis, C.R. 1992. Effect of restricted watering on sap flow and growth in corn (*Zea mays* L.). Canadian Journal of Plant Science 72: 361–368.

Ghosh, A., and Sharma, A.R. 1999. Effect of combined use of organic manure and nitrogen fertilizer on the performance of rice under flood-prone lowland condition. Journal of Agricultural Science 132: 461-465.

Gilesm, J. 2004. Is organic food better for us? Nature 428: 796-797.

Greenway, H., and Munns, R. 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. Annual Review of Plant Physiology 31: 149-190.

Gusta, L.V., and Chen, T.H.H. 1987. The physiology of water and temperature stress. In: E. G. Heyne (Ed.) Wheat and Wheat Improvement. Agronomy Monograph 13, p. 115-150. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI 53711, USA.

Hodson, M.J., Smith, R.J., Van Blaaderen, A., Crafton, T., and O'neill, C.H. 1994. Detecting plant silica fibres in animal tissue by confocal fluorescence microscopy. Annals of Occupational Hygiene 38(2): 149-160.

Howell, T.A., Evett, S.R., Tolk, J.A., and Schneider, A.D. 2004. Evapotranspiration of full and deficit-irrigated, and dryland cotton on the Northern Texas High Plains. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 130(4): 277-285.

Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. Annual Review of Plant Physiology 24: 519-570.

Ibrahim, M., Hassan, A.U., Arshad, M., and Tanveer, A. 2010. Variation in root growth and nutrient element concentration in wheat and rice: effect of rate and type of organic materials. Soil and Environment 29: 47-52.

Jalilian, A., Ghobadi, R., and Farnia, A. 2010. The effect of different levels of drought stress and nitrogen fertilizer on quality of grain traits of corn [hybrid 704]. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 8(4): 747-756. (In Persian with English Summary)

Johnston, A.M., and Fowler, D.B. 1992. Response of no till winter wheat to nitrogen fertilization and drought stress. Canadian Journal of Plant Science 72: 1075-1089.

Kitterer, T., Andrn, O., and Pettersson, R. 1997. Growth and nitrogen dynamics of reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) subjected to daily fertilization and irrigation in the field. Field Crops Research 55: 153-164.

Kramer, A.W., Doane, T.A., Horwath, W.R., and Van Kessel, C. 2002. Combining fertilizer and organic inputs to synchronize N supply in alternative cropping system in California. Agriculture, Ecosystems and Environment 91: 233-243.

Macilwain, C. 2004. Is organic farming better for the environment? Nature 428: 797-798.

Majidian, M., Ghalavand, A., Kamgar haghighi, A.A., and Karimian, N. 2006. Effects of water stress, nitrogen fertilizer and manure in during different growth stages on agronomic characteristics of corn (*Zea mays* L.). Electronic Journal of Crop Production 1(2): 67-85. (In Persian with English Summary)

Mallanagouda, B. 1995. Effects of N, P, K and FMY on growth parameters of onion, garlic and coriander. Journal of Medic and Aromatic Plant Science 4: 916-918.

Marcote, I., Hernandez, T., Garcia, C., and Polo, A. 2001. Influence of one or two successive annual applications of organic fertilizers on the enzyme activity of a soil under barley cultivation. Bioresource Technology 79(2): 147-151.

Mendal, K.G., Hati, K.M., Misra, A.K., and Bandyopadhyay, K.K. 2006. Assessment of (*Brasscia juncea*) in central irrigation and nutrient effects on growth, yield and water use efficiency of Indian mustard India. Agricultural Water Management 85: 276-286.

S.H. Mousavi Fazl, S.H., Alizadeh, A., Ansari, N., and Rezvani Moghaddam, P. 2014. Effect of different levels of irrigation water and potassium fertilizer on root and shoot growth of forage sorghum. Iranian Journal of Irrigation Drainage 4(8): 747-756. (In Persian with English Summary)

Oehl, F., Sieverding, E., Mäder, P., Dubois, D., Ineichen, K., Boller, T., and Wiemken, A. 2004. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. Oecologia 138: 574-583.

Ofosu-Anim, J., and Leitch, M. 2009. Relative efficacy of organic manures in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) production. Australian Journal of Crop Science 3(1): 13-19.

Olesen, J.E., Askegaard, M., and Rasmussen, I.A. 2009. Winter cereal yields as affected by animal manure and green manure in organic arable farming. European Journal of Agronomy 30: 119-128.

Osborne, S.L., Scheppers, J.S., Francis, D.D., and Schlemmer, M.R. 2002. Use of spectral radiance to in – season biomass and grain yield in nitrogen and water stressed corn. Crop Science 42: 165-171.

Patra, D.D., Anwar, M., Singh, S., Prasad, A., and Singh, D.V. 1999. Aromatic and medicinal plants for salt and moisture stress condition. Recent Advances in management of arid ecosystem. Proceeding of Symposium Held in Indian, March 1997. pp. 347-350.

Peng, S., Buresh, R. J., Huang, J., Yang, J., Zou, Y., Zhong, X., Wang, G., and Zhang, F. 2006. Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigated rice system in China. Field Crops Research 96: 37-47.

Pinamonti, F. 1998. Compost mulch effects on soil fertility, nutritional status and performance of grapevine. Nutrition Cycling Agro-ecosystem 51: 239-248.

Pulleman, M.A., Jongmans, J., and Bouma, J. 2003. Effects of organic versus conventional arable farming on soil structure and organic matter dynamics in a marine loam in the Netherlands. Soil Use and Management 19: 157-165.

Ramazani, S.H.R., and Taghi Assad, M. 2002. Genetic changes in grain yield and associated traits in improved barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. Pajouhesh and Sazandegi 79: 2-9. (In Persian with English Summary)

Rezadost, S., and Roshdi, M. 2003. New cultivar wheat reactions towards insufficient irrigation systems. Journal of Agricultural Sciences Islamic Azad University 12(1): 124-131. (In Persian with English Summary)

Rezaei Nejad, Y., and Afyoni, M. 1999. Effect of organic manure on soil chemical characters, nutrient uptake and yield in corn. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 4(4): 19-27. (In Persian with English Summary)

Sachdev, P., and Deb, D.L. 1990. Influence of gypsum and farmyard manure on fertilizer zinc uptake by wheat and its residual effect on succeeding rice and wheat crops in sodic soil. Journal of Nuclear Agriculture and Biology 9: 173-178.

Satorre, E.H., and Slafer, G.A. 1999. Wheat, Ecology and Physiology of Yield Determination. Food Product Press, New York ISBN: 1-56022-874-1, p. 503.

Schnyder, H. 1993. The role of carbohydrate and redistribution in the source-sink relation of wheat and barley during grain filling- a review. New Phytologist 123: 233–245.

Sharma, RK, Agrawal, M., and Marshall, FM. 2006. Heavy metal contamination in vegetables grown in wastewater irrigated areas of Varanasi, India. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 77: 312–318.

Shata, S.M., Mahmoud, A., and Siam, S. 2007. Improving calcareous soil productivity by integrated effect of intercropping and fertilizer. Research Journal Agriculture and Biological Science 3(6): 733-739.

Taleei, A., and Bahram-Nejad, B. 2003. A study of relationship between yield and its components in landrace populations of wheat from western parts of Iran using multivariate analysis. Iranian Journal of Agricultural Sciences 34(4): 949-959. (In Persian with English Summary)

Traore, S.B., Carlson, R.E., Pilcher, C.D., and Rice, M.E. 2000. *Bt* and Non-*Bt* maize growth and development as affected by temperature and drought stress. Agronomy Journal 92: 1027–1035.

Turgut, I., Bilgili, U., Duman, A., and Acikgoz, E. 2005. Effect of green manuring on the yield of sweet corn. Agronomy Sustainable Development 25: 1-5.

Zhang, Y.J., Zhou, Y.R., Du, B., and Yang, J.C. 2008. Effects of nitrogen nutrition on grain yield of upland and paddy rice under different cultivation methods. Acta Agronomica Sinica 34: 1005-1013.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 123-135

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۳۵-۱۲۳

Investigation of Growth Indices, Grain yield and Yield Components of Canary seed (*Phalaris canariensis*) in Response to the Different Levels of Irrigation, Organic and Chemical Fertilizers

V. Varnaseri Ghandali[1], P. Rezvani Moghaddam[2*] and S. Khorramdel[3]

Submitted: 18-03-2015
Accepted: 02-06-2015

Varnaseri Ghandali,V., Rezvani Moghaddam, P and Khorramdel, S. 2019. Investigation of Growth Indices, Grain yield and Yield Components of Canary seed (*Phalaris canariensis*) in response to the different levels of irrigation, organic and chemical fertilizers. Journal of Agroecology. 11(1):

Introduction

Canary seed (*Phalaris canariensis* L.) from poaceae family is a drought tolerant plant. Canary seed originally is native to Mediterranean region, and can be grown commercially in several parts of the world.

Evaluation of different systems of plant feeding to achieve a high yield and desirable quality is one of the important requirements in agricultural planning. Therefore, gradually replacing chemical fertilizers with biological and organic fertilizers will result in providing nutrient requirements of plants, improvement of physical, chemical and biological conditions of soil and reduction of adverse environmental effects. Therefore, the aim of this research is to study the effect of deficit irrigation and managing the use of chemical and organic fertilizers individually or combined on yield and yield components of canary seed.

Materials and Methods

To investigate the effects of different levels of irrigation water and integrated management of chemical and organic fertilizers on growth indices, yield and yield components of Canary seed plant, an experiment was conducted as split plot based on a randomized complete block design with three replications at Agricultural Research Station, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran during growing season of 2013-2014.

Main plots considered different irrigation regimes with three levels (60, 80 and 100 percent of water requirement) and sub-plots considered for fertilizer treatments in six levels (chemical fertilizer, vermi-compost fertilizer, manure, chemical fertilizer + vermi-compost fertilizer, chemical fertilizer + manure and control). The amounts of treatment of nitrogen chemical fertilizer (200 $kg.ha^{-1}$ of urea source and 150 $kg.ha^{-1}$ of triple super phosphate) were applied in related plots. The amounts of manure fertilizers (30 $t.ha^{-1}$) and vermi-compost (6 $t.ha^{-1}$) were determined and applied based on recommended amount of nitrogen. Water requirement of Canary seed was estimated by the OPTIWAT software under general condition of Mashhad

Before final harvest of the grain, 10 bushes were randomly chosen from each plot and traits such as bush height, the number of tillers per bush, the number of prolific tillers in each bush, the number of spikes in each bush, the number of grains in each spike, the grain weight in each spike and bush, 1000-grain weight and harvest index were determined. Then, considering margin from a surface equivalent to 1.4 m^2, plants were harvested from the height 3-5 cm and the produced biomass in each plot was recorded. Then, grains were separated from straw and the grain yield was determined in each plot.

Finally, recorded data were analyzed by SAS software ver. 9.1 and mean comparison based on Duncan multiple-range test was conducted by MSTAT-C software in the probability level of 5 percent.

Result and Discussion

1, 2 and 3- M.Sc Graduate Student in Agroecology, Professor and Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: rezvani@um.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v11i1.45399

This study results indicated that different levels of water irrigation had significant impact on all studied traits except harvest index. All studied traits except harvest index and 1000-grain weight had been significantly influenced by fertilizer treatments. Interaction of different irrigation regimes and fertilizer treatments had significant effect on the traits including plant height, the number of tillers per plant. The maximum height of plant was observed in irrigation treatment of 80 percent of water requirement and the maximum number of tillers per plant was observed in irrigation treatment of 100 percent of water requirement. In addition, under the irrigation treatment of 100 percent water requirement and 100 percent water requirement, the maximum number of grains per plant and the maximum biological yield was observed. The maximum grains per plant and biological yield was observed under animal manure and vermi-compost treatments. Animal manure and vermi-compost treatments had higher yield than control and chemical fertilizer treatments. In most of the studied traits, irrigation treatment of 100 percent water requirement was not significantly different from 80 percent water requirement irrigation.

Acknowledgements

The authors acknowledge the financial support of the project (grant number 31441, 09 July 2014) Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

Key words: Cow manure, Growth indices, Integrated management, Vermi-compost, Organic fertilizers.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۵۳-۱۳۷

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 137-153

برآورد سهم نسبی عوامل بهنژادی و به‌زراعی در افزایش عملکرد در نظام‌های تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) کشور

علیرضا کوچکی[1*]، مهدی نصیری محلاتی[1]، افسانه امین غفوری[2] و منصوره محلوجی راد[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۲۴

کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م.، امین غفوری، ا.، و محلوجی راد، م. ۱۳۹۸. برآورد سهم نسبی عوامل به‌نژادی و به‌زراعی در افزایش عملکرد در نظام‌های تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) کشور. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱(۱) :۱۵۳-۱۳۷.

چکیده

به منظور تفکیک سهم عوامل به‌نژادی و به‌زراعی و ارزیابی روند تغییرات آنها داده‌های تولید، سطح زیر کشت و عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) آب کشور در طی دوره ۴۰ ساله ۹۰-۱۳۵۰ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. میزان تولید گندم در طی این دوره با متوسط رشد سالانه حدود هشت درصد ۳/۲۵ برابر شده درحالی‌که میانگین رشد سطح زیر کشت تا پایان دهه ۷۰ در حدود ۲/۸ درصد در سال بوده و در طی دهه ۸۰ بطور متوسط سالانه یک درصد کاهش یافته است. عملکرد گندم نیز بطور متوسط سالانه ۵۸ کیلوگرم در هکتار (۳/۵ درصد در سال) افزایش داشته است، البته نتایج نشان داد که نوسان سالانه آب و هوایی در طی دوره تحت بررسی باعث شده تا نرخ رشد عملکرد ۲۱ درصد کمتر از مقدار قابل حصول آن باشد. در طی این دوره ۴۰ ساله میانگین سهم عملکرد و سطح زیر کشت در تولید به ترتیب ۵۶ و ۴۴ درصد بوده و برآورد می‌شود که در دهه ۹۰ سهم عملکرد تا ۷۰ درصد افزایش یابد. پتانسیل ژنتیکی عملکرد ارقام گندم در فاصله سال‌های ۹۰-۱۳۴۷ سالانه در حدود ۵۷ کیلوگرم در هکتار افزایش یافته که معادل ۱/۱۸ درصد در سال می‌باشد. بر اساس نتایج این تحقیق در طی دوره تحت بررسی ۳۴/۸ درصد از رشد سالانه عملکرد گندم آبی کشور مربوط به عوامل به‌نژادی (اصلاح ارقام) و بقیه مربوط به عملیات به‌زراعی بوده است. سهم کودهای شیمیایی نیتروژنی و فسفره در رشد عملکرد گندم به ترتیب ۲۵/۴ و ۸/۸ درصد برآورد شد و سایر عملیات به‌زراعی سهمی معادل ۳۱ درصد در افزایش سالانه عملکرد گندم کشور داشتند. البته سهم عوامل به‌نژادی و به‌زراعی در طی این دوره ۴۰ ساله متغیر بوده و بالاترین سهم عوامل ژنتیکی و کودهای شیمیایی در عملکرد مربوط به دهه ۷۰ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز روند، بازده ژنتیکی، پتانسیل ژنتیکی، شاخص اصلاح ارقام

مقدمه

در فاصله سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۶۱ میلادی (۱۳۹۰-۱۳۴۰ شمسی) جمعیت جهان با ۱۳۰ درصد افزایش از ۳ به ۷ میلیارد نفر بالغ شده است. در طی این دوره ۵۰ ساله تولید محصولات زراعی نیز ۳ برابر رشد داشته در حالی‌که مساحت کل اراضی زیر کشت گیاهان زراعی از ۷/۲ به ۸/۷ میلیون کیلومتر مربع رسیده یعنی تنها ۲۰ درصد افزایش یافته است (Bruinsma, 2009). بنابراین، در مقیاس جهانی بخش عمده افزایش تولید ناشی از مجموعه عوامل به‌نژادی و به‌زراعی می‌باشد. محققین این موفقیت را مرهون سه عامل اصلی می‌دانند: اصلاح واریته‌های پر محصول (برای مثال، برنج (*Oryza sativa* L.) و گندم‌های پاکوتاه (*Triticum aestivum* L.) و هیبریدهای ذرت (*Zea mays* L.))، مصرف نهاده‌های شیمیایی (تکنولوژی انقلاب سبز) و بهبود روش‌های آبیاری (Fischer et al., 2009).

از سوی دیگر، برای تأمین نیازهای غذایی جمعیت ۹ میلیاردی جهان در سال ۲۰۵۰ میلادی تولیدات کشاورزی باید بطور قابل توجهی افزایش یابد، برآوردها نشان می‌دهد طی ۳۵ سال آینده به ۵۰ (Smil, 2005) تا ۷۰ درصد (FAO, 2009) غذای بیشتر نیاز خواهد بود. افزایش سطح زیر کشت به دلیل محدودیت اراضی بکر زراعی راهکار پذیرفته شده‌ای برای تحقق نیازهای آینده محسوب نمی‌شود. برای مثال در آسیا، آمریکای جنوبی و برخی مناطق آفریقا پیش‌بینی

۱و ۲- به ترتیب استاد و دانشجوی دکتری، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: akooch@um.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v11i1.48702

شده که هنوز امکان افزایش سطح زیرکشت بین ۲۰ تا ۳۰ درصد وجود دارد، ولی اغلب این اراضی حاشیه‌ای و کم‌بازده بوده و هزینه‌های زیست‌محیطی نظیر جنگل‌زدایی و تخریب خاک و به مخاطره افتادن تنوع زیستی را بدنبال دارند (Jaggard et al., 2010). بعلاوه کمبود آب نیز امکان افزایش سطح زیرکشت را محدود می‌سازد. بر اساس برآورد «ارزیابی جامع مدیریت مدیریت آب در کشاورزی» (CAWMA, 2007) در سال ۲۰۰۰ کل آب لازم برای تأمین نیاز آبی محصولات کشاورزی ۷۱۳۰ کیلومتر مکعب بوده که تا سال ۲۰۵۰ به ۱۳۵۰۰–۱۲۰۵۰ کیلومتر مکعب می‌رسد یعنی بطور متوسط ۸۰ درصد افزایش می‌یابد. بنابراین افزایش عملکرد در واحد سطح اصلی‌ترین راهکار برای تأمین نیازهای آینده خواهد بود.

در بین گیاهان زراعی، غلات و در بین غلات گندم به دلیل نقش مهمی که در تغذیه حال و آینده مردم جهان دارند بیش از سایر محصولات مورد توجه قرار گرفته‌اند. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۵۰ میلادی تقاضا برای غلات بیشترین رشد را در بین محصولات کشاورزی خواهد داشت و برای تحقق این نیاز تولید جهانی غلات طی چهار دهه آینده باید ۴۹ درصد نسبت به سال ۲۰۰۰ یعنی بین ۱/۱۶ تا ۱/۳۱ درصد در سال افزایش یابد (Hafner, 2003; Hall & Richards, 2014). در مورد گندم نیز وضعیت مشابهی وجود دارد، در حال حاضر تولید جهانی این محصول از ۲۰۰ میلیون هکتار اراضی زیر کشت ۶۰۰ میلیون تن است و تقاضای جهانی آن تا سال ۲۰۲۵ میلادی به ۸۴۰ میلیون تن خواهد رسید (FAO, 2011) که باید از طریق افزایش عملکرد تأمین شود.

عملیات به‌نژادی (اصلاح ژنتیکی ارقام پر محصول) و به‌زراعی (مصرف نهاده‌ها و مدیریت آن) دو راهکار اصلی برای افزایش عملکرد در واحد سطح محسوب می‌شوند. در سال‌های اخیر ارزیابی میزان افزایش پتانسیل ژنتیکی عملکرد ارقام گندم در طی برنامه‌های اصلاحی موضوع بسیاری از تحقیقات بوده است (Brancourt-Hulmel et al., 2003; Zhou et al., 2007; Graybosch & Peterson, 2010; Esmaeilzadeh Moghaddam et al., 2014; Sadras & Lawson, 2011; Sanchez-Garcia et al., 2012). با وجودی‌که میزان موفقیت برنامه‌های اصلاحی در کشورهای مختلف متفاوت می‌باشد، ولی میانگین جهانی افزایش پتانسیل عملکرد گندم (یعنی عملکرد در شرایط بهینه رشد) معادل ۱–۰/۹ درصد در سال برآورد شده است (Fischer & Edmeades, 2010). علی‌رغم پیشرفت‌های ژنتیکی در زمینه افزایش پتانسیل عملکرد گندم، در سال‌های اخیر افزایش عملکرد مشابه دهه‌های میانی قرن گذشته نیست. شواهد حاکی از آن است که عملکرد گندم در اروپا ازاواسط دهه ۹۰ میلادی به ثبات رسیده و افزایش معنی‌داری در روند آن مشاهده نمی‌شود (Fischer et al., 2009; Brisson et al., 2010). این وضعیت در مناطقی از آمریکا، مکزیک و در مورد غلات اصلی قاره آسیا (Kalra et al., 2008). نیز در دوره زمانی مشابه با اروپا گزارش شده است. البته محققین معتقدند که این امر به دلیل عدم وجود پتانسیل ژنتیکی نبوده بلکه ناشی از عدم کارآیی نظام‌های تولید در استفاده از منابع و رسیدن به عملکرد پتانسیل است (Fischer & Edmeades, 2010)، بعلاوه نوسانات سالانه آب و هوایی (Lobell et al., 2009) و تغییر اقلیم (Liu et al., 2010) نیز در آن دخیل می‌باشند.

بنابراین برنامه‌ریزی جهت افزایش تولید از طریق عملکرد مستلزم آگاهی از سهم نسبی عوامل ژنتیکی، به‌زراعی و آب و هوایی در روند دراز مدت عملکرد می‌باشد. در این ارتباط محققین مطالعاتی را برای تفکیک سهم اصلاح ارقام از سهم عملیات زراعی در عملکرد و در طی زمان ارائه کرده‌اند. در مورد گندم برآورد افزایش ژنتیکی عملکرد از ۲۵ درصد (Feyerherm & Paulsen, 1981) تا ۳۳ (O' Brien, 1982)، ۴۳ درصد (Feyerherm et al., 1988) و ۴۹ درصد (Jensen, 1978) برآورد شده است، اسلافر و همکاران (Slafer et al., 1993) روش‌ها و نتایج این نوع مطالعات را مورد بررسی قرار داده‌اند. البته طلاعات موجود در مورد سهم عوامل به‌زراعی در افزایش عملکرد گندم محدود می‌باشد، در فاصله سال‌های ۱۹۹۶–۱۹۶۰ تولید غلات در جهان سالانه ۴/۱ درصد افزایش یافته که ۴۰ درصد از آن مربوط به کودهای شیمیایی نیتروژنی می‌باشد (Cassman et al., 2003).

در ایران تحقیق جامعی جهت تفکیک کمی سهم عوامل مؤثر بر عملکرد محصولات زراعی انجام نشده است، بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش سهم عوامل به‌نژادی و به‌زراعی در روند تغییرات عملکرد گندم کشور در طی دوره ۴۰ ساله ۹۰–۱۳۵۰ مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

آنالیز روندها

روند تغییرات سطح زیرکشت، عملکرد و میزان کل تولید گندم آبی کشور با برازش رگرسیون خطی به داده‌های دوره ۴۰ ساله (۹۰–۱۳۵۰) برآورد گردید، شیب این خط تغییرات سالانه هر متغیر را در طی دوره زمانی تحت بررسی مشخص می‌سازد. در مورد سطح زیرکشت به دلیل افزایش معنی‌دار ضریب تبیین، از مدل رگرسیون خطی دو قطعه‌ای[1] استفاده شد، روش برازش مدل‌های رگرسیون قطعه‌ای توسط نصیری و کوچکی (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2014) توصیف شده است.

1- Bi-linear

داده‌های مربوط به سطح زیرکشت و عملکرد گندم آبی برای دوره ۴۰ ساله تحت بررسی از پایگاه اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی (MJA, 2013) استخراج گردید و تولید گندم از حاصلضرب این دو متغیر بدست آمد.

تفکیک سهم اجزای تولید

سطح زیرکشت و عملکرد دو جزء تعیین‌کننده میزان تولید می‌باشند البته به دلیل اینکه تولید حاصلضرب این دو جزء است تعیین سهم هر جزء در تولید سالانه گندم مستلزم خطی کردن این رابطه می‌باشد. به این منظور از روش تفکیک اجزاء[1] (Moll et al., 1982) استفاده شد. جهت تفکیک اجزاء ابتدا رابطه تولید با سطح زیر کشت و عملکرد (معادله ۱) بصورت خطی درآورده شد (معادله ۲):

$$P_i = A_i \times Y_i \quad (۱)$$

$$\log(P_i) = \log(A_i) + \log(Y_i) \quad (۲)$$

که در آن، P_i، A_i، و Y_i: به‌ترتیب میزان تولید، سطح زیرکشت و عملکرد در سال i ام می‌باشند. در ادامه مجموع مربعات میزان تولید $(\sum \log(P_i)^2)$ و جمع حاصلضرب تولید در سطح زیرکشت $(\sum \log(P_i) \times \log(A_i))$ و تولید در عملکرد $(\sum \log(P_i) \times \log(Y_i))$ محاسبه شد. به این ترتیب با تقسیم کردن جمع حاصلضرب تولید در هر یک از اجزا بر مجموع مربعات تولید، سهم هر جزء تعیین شد، برای مثال سهم سطح زیرکشت (C_A) از معادله ۳ بدست آمد:

$$C_A = \frac{\sum \log(P_i) \times \log(A_i)}{\sum \log(P_i)^2} \quad \text{معادله (۳)}$$

تفکیک اجزای تولید به روش فوق برای کل دوره ۴۰ ساله و نیز برای هشت دوره پنج ساله انجام شد تا الگوی تغییرات سهم این اجزاء مشخص گردد.

تصحیح عملکرد برای تغییرات سالانه آب و هوایی

نوسانات سالانه آب و هوایی باعث تغییرات قابل توجهی در عملکرد گندم شده و در نتیجه روند بدست آمده برای رشد عملکرد به دلیل این نوسانات کمتر از مقدار قابل حصول آن در غیاب تغییرات آب و هوایی خواهد بود، بنابراین حذف اثر آب و هوا تصویر دقیق‌تری را از روند تغییرات عملکرد ارائه خواهد کرد.

با برازش مدل رگرسیون خطی به داده‌های عملکرد در طی دوره ۴۰ ساله روند تغییرات آن برآورد شد. به لحاظ آماری باقیمانده[2] این معادله رگرسیون یعنی اختلاف بین عملکردهای واقعی و پیش‌بینی شده در هر سال، نشان‌دهنده تأثیر شرایط سالانه آب و هوایی بر عملکرد می‌باشد (Calderini & Slafer, 1998)، لذا پایین بودن مقادیر باقیمانده حاکی از تأثیر کمتر آب و هوا و بالا بودن آن نشانه تشدید اثر آب و هوا بر عملکرد است. بر این اساس باقیمانده معادله روند عملکرد به روش توصیف‌شده توسط نصیری و کوچکی (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2014) بر آورد و این مقادیر به عملکرد تصحیح‌نشده[3] سالانه اضافه شد تا عملکرد تصحیح شده[4] (با حذف اثر آب و هوا) بدست آید. سپس معادله روند مجدداً به مقادیر تصحیح شده عملکرد برازش داده شد تا شیب تغییرات عملکرد در غیاب تغییرات سالانه آب و هوا برآورد گردد.

برآورد تغییرات پتانسیل ژنتیکی ارقام گندم آبی

جهت مطالعه روند افزایش پتانسیل عملکرد ارقام گندم آبی معرفی‌شده در طی دوره ۴۰ ساله تحت بررسی از دو مجموعه داده استفاده شد. مجموعه اول داده‌های مربوط به آزمایش فیروزجایی (Firozjaee, 2015) بود که در آن ۱۸ رقم گندم آبی که در فاصله سال‌های ۹۰-۱۳۴۸ آزاد شده‌اند در شرایط آب و هوایی مشهد و در شرایط مطلوب رشد از نظر تأمین آب، کود و سایر عملیات به‌زراعی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مجموعه دوم از داده‌های ارائه شده توسط خدارحمی و وزان (Khodarahmi & Vazan, 2010) استخراج گردید که در آن ۱۴ رقم گندم آبی معرفی شده در سال‌های ۸۶-۱۳۴۷ در شرایط آب و هوایی کرج و در شرایط بهینه رشد مقایسه شده‌اند. اسامی ارقام دو آزمایش و سال آزادسازی آنها در جدول ۱ ذکر شده، سایر جزییات مربوط به اجرای آزمایش توسط فیروزجایی (Firozjaee, 2015) و خدارحمی و وزان (Khodarahmi & Vazan, 2010) ارائه شده است.

تغییرات زمانی افزایش پتانسیل عملکرد ارقام با برازش رگرسیون خطی به داده‌های عملکرد (Y) و سال آزادسازی آنها (X) بدست آمد، شیب این خط رگرسیون نشان‌دهنده افزایش سالانه پتانسیل عملکرد ارقام گندم می‌باشد (Fischer & Edmeades, 2010; Austin et al., 1980).

برآورد سهم اصلاح نباتات (به‌نژادی) در افزایش عملکرد

چنانچه ذکر شد شیب معادله روند عملکرد میزان رشد آن را بر حسب کیلوگرم در هکتار در سال بیان می‌کند. این رشد حاصل مجموعه عملیات به‌نژادی (معرفی ارقام اصلاح‌شده) و به‌زراعی می‌باشد. به منظور تعیین سهم به‌نژادی در رشد عملکرد گندم آبی در طی دوره ۴۰ ساله تحت بررسی از روش ارائه شده توسط سیلوی (Silvey, 1981) استفاده شد. داده‌های لازم برای اجرای این روش

1- Component analysis
2- Residuals
3- Unadjusted yield
4- Weather-adjusted yield

عبارتند از: سطح زیر کشت ارقام گندم در هر سال از دوره تحت بررسی، عملکرد هر یک از ارقام در شرایط مطلوب رشد و عملکرد رقم مرجع که در سال شروع دوره تحت بررسی بیشترین سطح زیر کشت را داشته است. بر اساس این داده‌ها برای هر سال نسبت سطح زیر کشت هر رقم (A_c) از کل سطح زیر کشت گندم آبی در آن سال (A_t) در نسبت عملکرد هر رقم (Y_c) به عملکرد رقم مرجع (Y_{ref}) ضرب می‌شود تا نوعی شاخص اصلاح ارقام[1] (CI) بدست آید (معادله ۴):

$$CI = \frac{A_C}{A_t} \times \frac{Y_C}{Y_{ref}} \quad \text{معادله (۴)}$$

با ضرب کردن این شاخص در میانگین عملکرد گندم در سال شروع دوره (۱۳۵۰)، بازده ژنتیکی[2] اصلاح ارقام (کیلوگرم در هکتار) برای هر سال بدست آمد و شیب معادله روند بازده ژنتیکی سهم معرفی ارقام در طی دوره تحت بررسی را مشخص می‌سازد.

داده‌های مربوط به سطح زیرکشت ارقام در سال‌های گذشته معمولا در دسترس نمی‌باشند و باید برآورد شوند. در این مطالعه سطح زیر کشت ارقام در طی دوره ۴۰ ساله تحت بررسی بر اساس داده‌های مربوط به میزان توزیع بذر گواهی‌شده ارقام در سال‌های مختلف (زارع فیض آبادی، مکاتبات شخصی) و مقدار بذر لازم برای کاشت یک هکتار برآورد گردید.

مجموع سطح زیرکشت ارقام در هر سال که به روش فوق برآورد شد از سطح کل زیر کشت گندم آبی کمتر بود که دلیل آن بذر نگهداری شده توسط زارعین[3] برای کشت بعدی است و میزان آن در سال‌های مختلف متغیر و بین ۲۳ تا ۳۰ درصد از کل سطح زیر کشت گندم بود، ماکای و همکاران (Mackay et al., 2011) نیز مقدار بذر گندم زارعین در کشور انگلستان را در حدود ۲۵ درصد سطح زیرکشت این کشور برآورد کردند. البته نوع رقم انتخاب شده توسط زارعین مشخص نمی‌باشد، بنابراین، با این فرض که کشاورزان بذر ارقام پر محصول را برای کشت بعدی نگهداری می‌کنند مساحت مربوط به این نوع بذر در هر سال بر اساس سطح ارقام کشت شده در سال قبل که بالاترین عملکرد را داشته‌اند تعیین گردید. جهت محاسبه CI از معادله ۴ رقم بزوستایا بعنوان رقم مرجع (Y_{ref}) در نظر گرفته شد، این رقم که در سال ۱۳۴۸ معرفی شده در طی دهه ۵۰ و تا اوایل دهه ۶۰ در سطح وسیع در کشور کشت شده است و میانگین عملکرد آن در شرایط بهینه رشد ۴۴۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. عملکرد ارقام معرفی شده در طی دوره ۴۰ ساله (Y_c در معادله ۴) نیز از داده‌های ارائه شده توسط محمدرضا جلال کمالی (مکاتبات شخصی) استخراج شد.

برآورد سهم روش‌های به‌زراعی در افزایش عملکرد

تفاضل شیب معادله روند عملکرد از شیب معادله روند بازده ژنتیکی نشان‌دهنده سهم عوامل به‌زراعی در افزایش عملکرد می‌باشد. از بین عوامل مختلف به‌زراعی در مورد گندم آبی داده‌های مربوط به میزان مصرف سالانه کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر در طی دوره ۴۰ ساله تحت بررسی در دسترس می‌باشد و اطلاعات دقیقی از شاخص‌های مکانیزاسیون، مقدار مصرف آب و سموم شیمیایی برای این دوره موجود نمی‌باشد لذا از بین عوامل به‌زراعی تنها سهم این دو نوع کود مورد ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس، تغییرات سالانه عملکرد گندم آبی بر حسب کیلوگرم در هکتار در سال (dY = شیب معادله روند عملکرد) را می‌توان با معادله ۵ توصیف کرد (Bell et al., 1995):

$$dY = dG + dN + dP + dO \quad \text{معادله (۵)}$$

که در آن dG، dN، dP و dO (همگی بر حسب کیلوگرم در هکتار در سال): به ترتیب افزایش عملکرد ناشی از عوامل ژنتیکی، کودهای نیتروژنی، کودهای فسفره و سایر عوامل به‌زراعی می‌باشند، بنابراین $dY - dG$ معادل سهم عوامل به‌زراعی می‌باشد.

تغییرات عملکرد ناشی از کودهای شیمیایی (dN و dP) به روش توصیف *شده* توسط نصیری و کوچکی (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2017) برآورد شد. بطور خلاصه در این روش ابتدا مقدار عملکرد دانه حاصل از مصرف هر کیلوگرم کود شیمیایی ($kg_{grain}/kg_{fertilizer}$) محاسبه شده و از حاصلضرب این مقدار در میزان کود مصرفی ($kg_{fertilizer}/ha$) بازده کود شیمیایی (kg_{grain}/ha) بدست خواهد آمد. شیب معادله روند بازده کودهای شیمیایی سهم هر نوع کود ($kg_{grain}/ha/yr$) را در طی دوره تحت بررسی مشخص می‌سازد. باید توجه داشت که بر اساس معادله ۵ پس از محاسبه سهم کودهای نیتروژنی (dN) باید این مقدار از تغییرات عملکرد کسر شده و محاسبات مربوط به کود فسفره بر روی باقیمانده ($dY - dG - dN$) انجام شود. به این ترتیب پس از محاسبه سهم کودهای شیمیایی مجموع سهم سابر عوامل به‌زراعی در افزایش عملکرد (dO) نیز تعیین خواهد شد.

نتایج و بحث

روند تغییرات تولید، سطح زیر کشت و عملکرد

در فاصله سال‌های ۹۰-۱۳۵۰ تولید گندم آبی کشور بطور متوسط سالانه ۲۱۴ هزار تن افزایش یافته است (شکل ۱a)، البته میزان تولید گندم از نیمه دوم دهه ۸۰ تا حدودی دارای روندی نزولی است. نتایج

1- Cultivar improvement index
2- Genetic gain
3- Farmers-saved seed

نشان می‌دهد که این کاهش به دلیل پایین آمدن سطح زیرکشت گندم آبی از ابتدای دهه ۸۰ می‌باشد.

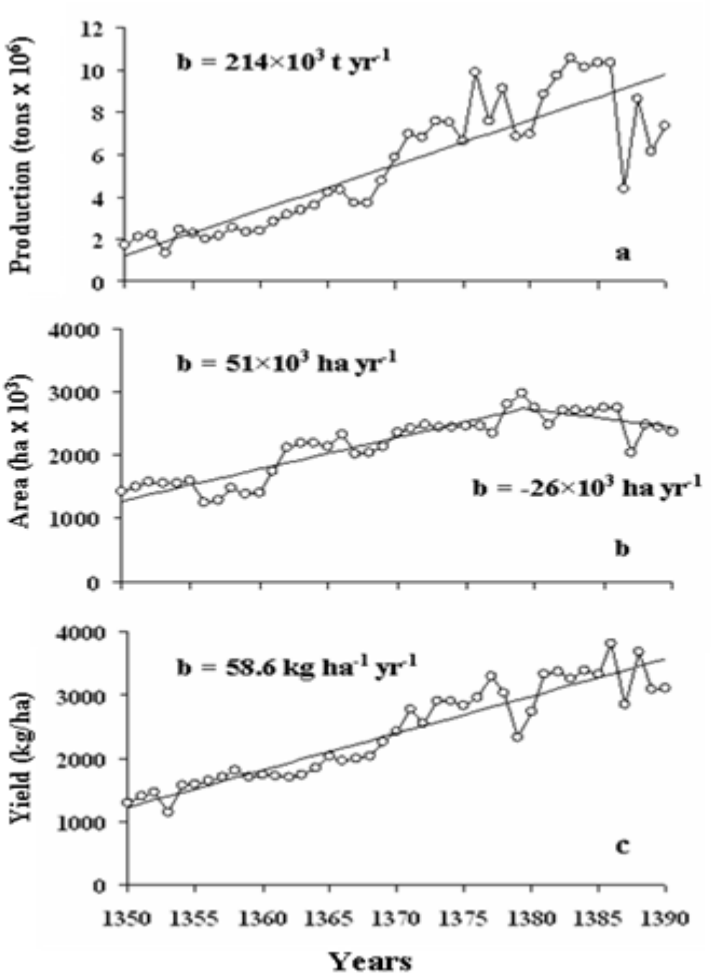
جدول ۱- اسامی و سال آزادسازی ارقام گندم آبی مورد استفاده برای برآورد تغییرات پتانسیل ژنتیکی عملکرد
Table 1- Name and year of release of irrigated wheat cultivars used for estimating changes in

خدارحمی و وزان (Khodarahmi & Vazan, 2010)			فیروزجایی (Firozjaee, 2015)		
سال آزادسازی Year of release	رقم Cultivar		سال آزادسازی Year of release	رقم Cultivar	
1968	Deihim	دیهیم	1969	Bezostaya	بزوستایا
1973	Karaj 1	کرج ۱	1981	Sabalan	سبلان
1973	Karaj 2	کرج ۲	1990	Falat	فلات
1979	Azadi	آزادی	1992	Roshan cross	کراس روشن
1989	Ghods	قدس	1995	Alvand	الوند
1990	Falat	فلات	1995	Zarin	زرین
1990	Navid	نوید	1995	Tajan	تجن
1992	Backrshn	کراس روشن	1997	Chamran	چمران
1995	Mahdavi	مهدوی	2002	Toos	توس
1997	Chamran	چمران	2002	Pishtaz	پیشتاز
1997	Kavir	کویر	2006	Sepahan	سپاهان
1997	Zagros	زاگرس	2006	Bam	بم
1999	Marvdasht	مرودشت	2007	Bahar	بهار
2002	Shiraz	شیراز	2008	Pishgam	پیشگام
2002	Pishtaz	پیشتاز	2009	Sivand	سیوند
2006	Shapasand	شاپسند	2009	Parsi	پارسی
2007	m796		2010	Zare	زارع
			2010	Mihan	میهن
			2010	Oroom	اروم
			2011	Sirvan	سیروان

در واقع، سطح زیرکشت گندم در فاصله سال‌های ۸۰-۱۳۵۰ سالانه ۵۱ هزار هکتار افزایش یافته و از حدود ۱/۲ میلیون هکتار در سال ۱۳۵۰ به ۲/۹ میلیون هکتار در سال ۱۳۸۰ رسیده و به بیان دیگر در طی ۳۰ سال ۲/۳ برابر شده است (شکل 1b)، با این وجود در طی دهه ۸۰ با نرخی معادل ۲۶ هزار هکتار در سال در حال کاهش بوده و بنظر می‌رسد که این روند نزولی در طی دهه ۹۰ نیز ادامه یابد.

این نتایج نشان می‌دهد که تولید گندم آبی کشور تا حد زیادی به سطح زیرکشت وابسته بوده و افزایش عملکرد گندم در دهه ۸۰ قادر به حفظ میزان تولید در کشور نمی‌باشد. با وجودی‌که عملکرد گندم آبی در طی دوره ۴۰ ساله تحت بررسی سالانه ۵۸/۶ کیلوگرم در هکتار افزایش یافته (شکل 1c) ولی نرخ رشد آن در طول این دوره ثابت نبوده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین سرعت رشد عملکرد مربوط به سال‌های ۸۰-۱۳۷۰ می‌باشد و رشد عملکرد در دهه ۸۰ در مقایسه با کل دوره ۴۰ ساله کاهش یافته است. نصیری و کوچکی (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2014) با برازش مدل سه قطعه‌ای به روند عملکرد گندم کشور نشان دادند که این روند در دهه ۸۰ در حال ثابت شدن می‌باشد. بر اساس این نتایج

بنظر می‌زسد که کند شدن سرعت رشد عملکرد همراه با کاهش سطح زیرکشت دلایل اصلی کاهش تولید گندم آبی کشور از اواسط دهه ۸۰ می‌باشد.



شکل ۱- روند تغییرات میزان تولید (a)، سطح زیر کشت (b) و عملکرد (c) گندم آبی کشور در فاصله سال‌های ۹۰-۱۳۵۰ همراه با شیب خط رگرسیون برازش شده به داده‌ها

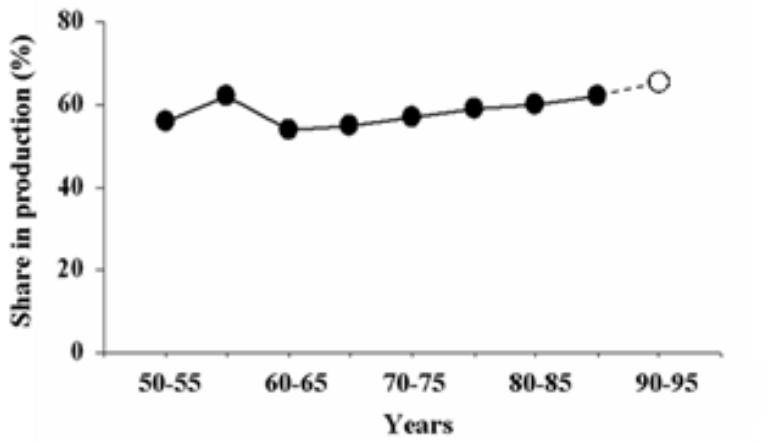
Fig. 1- Trends of total production (a), cultivated area (b) and yield (c) of irrigated wheat over the country during 1971-2011 (1350-1390), slope of the fitted regression line is also shown

زارع و همکاران (Zare et al., 2006) با تجزیه و تحلیل روند ۳۰ ساله (۱۳۸۲-۱۳۵۰) تولید غلات در کشور نشان دادند که متوسط افزایش عملکرد گندم در طی این دوره در حدود ۶۲ کیلوگرم در هکتار در سال بوده است در حالی‌که بر اساس نتایج این تحقیق افزایش عملکرد تا پایان دهه ۸۰ تا حدودی کاهش یافته که تأییدی بر کند شدن روند بعد از سال ۱۳۸۲ می‌باشد. البته میانگین جهانی افزایش سالانه عملکرد گندم و غلات (شامل گندم، ذرت و برنج) در فاصله سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۷۰ میلادی یعنی دوره‌ای تقریبا مشابه با این تحقیق، به ترتیب ۳۹ و ۴۳ کیلوگرم در هکتار در سال گزارش شده (Fischer & Edmeades, 2010) که حاکی بالاتر بودن نرخ رشد عملکرد غلات ایران نسبت به متوسط جهانی است.

کاهش سطح زیر کشت گندم به دلیل محدودیت منابع آب چندان دور از انتظار نیست و وضعیت مشابهی در اغلب مناطق جهان گزارش شده است (Koning & Van Ittersum, 2009). برای مثال، وانگ و همکاران (Wang et al., 2009) گزارش کردند که در چین سطح زیر کشت گندم در فاصله سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۹۵ از ۳۲ به ۲۰ میلیون هکتار تقلیل یافته و در نتیجه میزان تولید گندم این کشور با وجود حفظ روند افزایش عملکرد، از ۱۲۳ به ۱۰۵ میلیون تن رسیده است. البته این نتایج اهمیت عملکرد را در حفظ تولید بالا آشکار می‌سازد.

سهم عملکرد و سطح زیر کشت در تولید

نتایج حاصل از تفکیک اجزای تولید نشان داد که در طی دوره ۴۰ ساله تحت بررسی ۵۵ درصد از افزایش تولید مربوط به عملکرد و ۴۵ درصد آن ناشی از افزایش سطح زیرکشت بوده است، البته سهم این دو جزء در طی این دوره متغیر می‌باشد. در شکل ۲ سهم عملکرد در تولید گندم آبی کشور در دوره‌های ۵ ساله بین سال‌های ۱۳۵۰ تا ۹۰ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج پس از یک نوسان در سال‌های ۶۰-۱۳۵۰، از آغاز دهه ۶۰ سهم عملکرد در تولید بطور خطی افزایش یافته و در سال ۱۳۹۰ به حدود ۶۶ درصد رسیده است، پیش‌بینی بر اساس سری زمانی نیز نشان داد که تا سال ۱۳۹۵ با تداوم این روند سهم عملکرد در حدود ۷۰ درصد خواهد بود (شکل ۲). بنظر می‌رسد که افزایش سهم عملکرد در تولید گندم آبی کشور بویژه در طی دهه ۸۰ به دلیل کاهش سطح زیر کشت (شکل ۱b) و در مقابل تداوم افزایش عملکرد (شکل ۱c) می‌باشد.



شکل ۲- سهم عملکرد در میزان کل تولید گندم آبی کشور در فاصله سال‌های ۹۰-۱۳۵۰ و پیش‌بینی آن تا سال ۱۳۹۵

پیش‌بینی بر اساس نتایج تجزیه سری‌های زمانی سطح زیرکشت، عملکرد و تولید انجام شده است.

Fig. 2- Contribution of yield in total production of irrigated wheat during 1971-2011 (1350-90) period and the predicted value for 2016

Prediction is made based on time series analysis of yield, area and production trends.

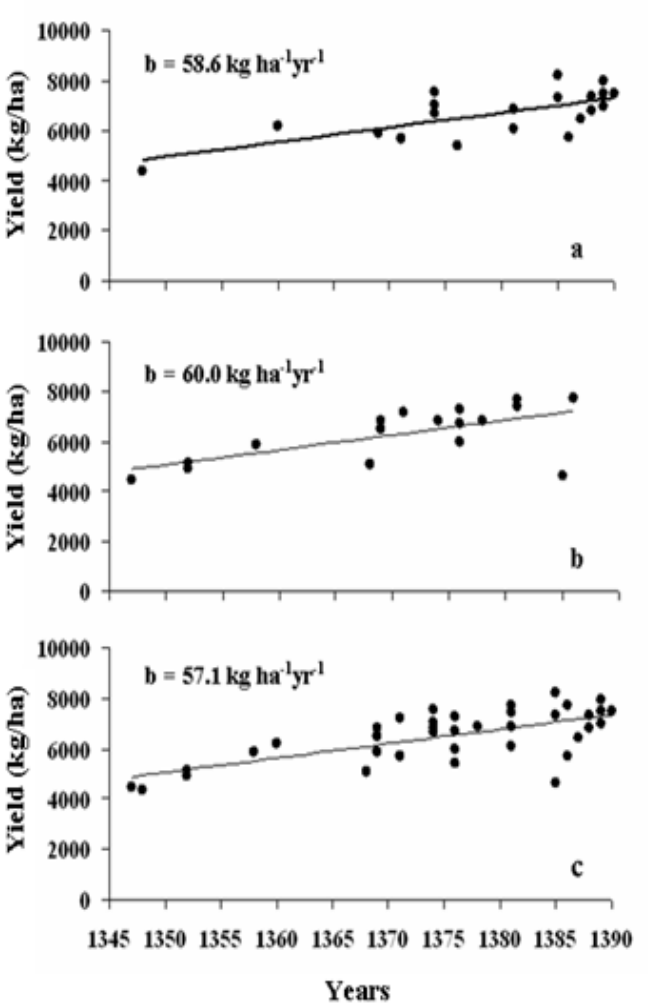
برآوردها نشان می‌دهد که در کشورهای توسعه یافته میانگین سهم عملکرد و سطح زیر کشت به ترتیب ۸۰ و ۲۰ درصد می‌باشد (Bruinsma, 2009)، در حالی‌که در کشورهای در حال توسعه به دلیل پایین بودن عملکرد در واحد سطح سهم سطح زیرکشت به ۶۰ درصد نیز می‌رسد (Smil, 2005). بطور کلی، اتکا به سطح زیرکشت جهت افزایش تولید مستلزم تخریب منابع پایه (جنگل‌ها، مراتع و خاک) بوده و تهدیدی برای تنوع زیستی محسوب می‌شود (Koning & Van Ittersum, 2009) با این‌وجود روند نزولی مشاهده در سطح زیرکشت گندم کشور ضرورت توجه به بالا بردن عملکرد را آشکار می‌سازد.

تغییرات پتانسیل ژنتیکی ارقام گندم

پتانسیل ژنتیکی ارقام گندم آبی که در فاصله سال‌های ۹۰-۱۳۴۷ معرفی شده‌اند بطور قابل توجهی افزایش یافته است. بر اساس داده‌های حاصل از آزمایش اجرا شده در مشهد (Firozjaee, 2015) بازده اصلاح ارقام گندم مربوط به سال‌های ۹۰-۱۳۴۸ معادل ۵۸/۶ کیلوگرم در هکتار در سال بوده است (شکل ۳a). آنالیز داده‌های ارائه شده توسط خدارحمی و وزان (Khodarahmi & Vazan, 2010) نیز نشان داد که پتانسیل ژنتیکی ارقام گندم اصلاح شده در فاصله سال‌های ۸۸-۱۳۴۷ سالانه ۶۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافته (شکل ۳b) که با نتایج حاصل از آزمایش فیروزجایی قابل مقایسه است. بعلاوه تلفیق داده‌های هر دو آزمایش (شکل ۴c) نیز حاکی از آن است که اصلاح ارقام گندم آبی در طی چهار دهه گذشته بازدهی معادل ۵۷/۱ کیلوگرم در هکتار در سال داشته است.

اسماعیل‌زاده و همکاران (Esmaeilzadeh Moghaddam et al., 2014) با مطالعه ۱۴ رقم گندم ایرانی که در فاصله سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۳۲ آزاد شده‌اند افزایش پتانسیل ژنتیکی عملکرد را ۴۰ کیلوگرم در هکتار در سال برآورد کردند که معادل ۱/۱۷ درصد در سال می‌باشد. بر اساس نتایج این تحقیق نیز مقدار افزایش برای دو گروه داده و مجموع آنها به ترتیب ۱/۱۹، ۱/۲۱ و ۱/۱۸ درصد در سال بدست آمد. بنابراین، بنظر می‌رسد که رشد سالانه ۱/۲-۱/۱۷

درصدی مقدار قابل قبولی برای افزایش پتانسیل ژنتیکی ارقام گندم آبی کشور در ۵۰ سال گذشته باشد.



شکل ۳- تغییرات عملکرد ارقام گندم آبی ایران که در فاصله سال‌های ۹۰-۱۳۴۷ معرفی شده‌اند، a) داده‌های آزمایش مشهد (Firozjaee, 2015)، b) داده‌های خدارحمی و وزان (Khodarahmi & Vazan, 2010)، c) مجموع داده‌های a و b

Fig. 3- Time trend of changes in yield of irrigated wheat cultivars released between 1968-2011 (1347-90), a) Mashhad experiment (Firozjaee, 2015), b) data from Khodarahmi and Vazan (2010), c) both a and b data.

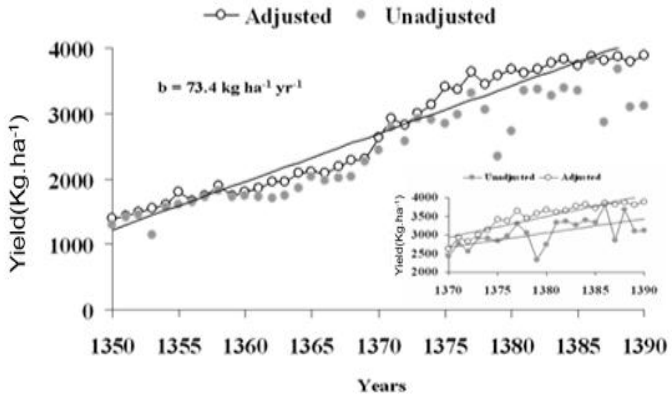
رشد پتانسیل ژنتیکی ارقام گندم در کشورهای مختلف تغییرات زیادی را نشان می‌دهد. برای مثال، گری‌بوش و پترسون (Graybosch & Peterson, 2010) با ارزیابی ارقام گندم اصلاح شده در طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۵۲ در دشت‌های وسیع آمریکا نشان دادند که پتانسیل ژنتیکی این ارقام سالانه ۱/۱ درصد افزایش یافته است. بر اساس یافته‌های ژائو و همکاران (Zhou et al., 2007) رشد پتانسیل ژنتیکی عملکرد در مناطق کشت گندم در شمال چین بین سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۶۰ میلادی در استان‌های مختلف سالانه ۳۲ تا ۷۲ کیلوگرم در هکتار (۰/۴۸ تا ۱/۲۳ درصد در سال) بوده است. سانچز-گارسیا و همکاران (Sanchez-Garcia et al., 2012) این رشد را برای ارقام گندم اسپانیا در فاصله ۲۰۰۰-۱۹۳۰ معادل ۰/۸۸ درصد در سال، بریسون و همکاران (Brisson et al., 2010) برای ارقام گندم فرانسه طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۵۲ میلادی معادل ۱/۳ درصد در سال و سدراس و لاوسون (Sadras & Lawson, 2011) برای ارقام اصلاح شده در استرالیا بین سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۵۸ میلادی معادل ۲۵ کیلوگرم در هکتار در سال (۰/۵ درصد در سال) برآورد کردند، البته ارقام تحت بررسی در استرالیا برای شرایط کمبود آب اصلاح شده بودند. در مکزیک نیز در طی یک دوره ۲۰ ساله پتانسیل عملکرد ارقام گندم سالانه ۰/۹-۰/۷ درصد افزایش یافته است (Bell et al., 1995).

اختلاف در پتانسیل ژنتیکی ارقام بین مناطق مختلف و در یک منطقه در طی دوره‌های زمانی مختلف تابعی از اهداف اصلاحی است. در نیمه دوم قرن گذشته یعنی دوره‌ای که افزایش عملکرد هدف اصلی اصلاح گندم بوده است سرعت افزایش پتانسیل عملکرد تقریبا در تمام کشورهای جهان زیاد است (Cassman et al., 2003). در حالی‌که از دهه پایانی قرن گذشته و در قرن حاضر اهداف اصلاحی در برخی مناطق جهان به سمت صفات کیفی (افزایش پروتئین و خصوصیات نانوایی) و تیز مقاومت به تنش‌ها (بویژه خشکی) گرایش یافته و به دلیل همیستگی منفی این صفات با عملکرد، رشد پتانسیل ژنتیکی ارقام کاهش یافته است (Fischer et al., 2009).

از سوی دیگر، یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که کند شدن رشد عملکرد گندم کشور در دهه ۸۰ (شکل ۱) ناشی از کاهش پتانسیل ژنتیکی ارقام نمی‌باشد، زیرا عملکرد ژنتیکی تا سال ۱۳۹۰ رشد خطی خود را ادامه داده است (شکل ۳)، بنابراین عوامل دیگری در کاهش روند رشد عملکرد گندم کشور نقش داشته‌اند.

روند تصحیح شده عملکرد

در شکل ۴ روند تصحیح شده عملکرد گندم آبی کشور برای حذف اثر نوسانات آب و هوایی با داده‌های تصحیح نشده (واقعی) مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که شیب خط رگرسیون برای عملکرد تصحیح شده ۷۳/۴ کیلوگرم در هکتار در سال است که در مقایسه با شیب عملکرد واقعی (۵۸/۳ $kg.ha^{-1}yr^{-1}$، شکل ۱c) در حدود ۲۴/۵ درصد بزرگتر می‌باشد. به بیان دیگر، نوسانات آب و هوایی در طی دوره ۴۰ ساله تحت بررسی باعث شده که عملکرد گندم آبی کشور ۲۴ درصد کمتر از مقدار قابل حصول آن با مدیریت مشابه ولی بدون نوسانات آب و هوایی باشد. بعلاوه نتایج بوضوح نشان می‌دهد که تأثیر نوسانات آب و هوایی در طی دوره ۲۰ ساله دوم (۹۰-۱۳۷۰) بمراتب بیشتر از ۲۰ ساله اول بوده است (شکل ۴). نوسانات شدید عملکرد که از دهه ۷۰ آغاز شده در طی دهه ۸۰ به حداکثر خود رسیده است و این امر باعث شده در طی ۲۰ ساله دوم نرخ رشد عملکرد تصحیح شده ۴۷ درصد ات بیشتر از عملکرد واقعی باشد. بر این اساس، بنظر می‌رسد که کند شدن روند رشد تا حد زیادی ناشی از این نوسانات باشد.



شکل ٤- روند تغییرات تصحیح نشده (واقعی) و تصحیح شده (حذف اثر نوسانات آب و هوایی) عملکرد گندم آبی کشور در فاصله سال‌های ۹۰-۱۳۵۰

شکل داخلی همین روندها را در طی دوره ۲۰ ساله دوم (۹۰-۱۳۷۰) نشان می‌دهد.

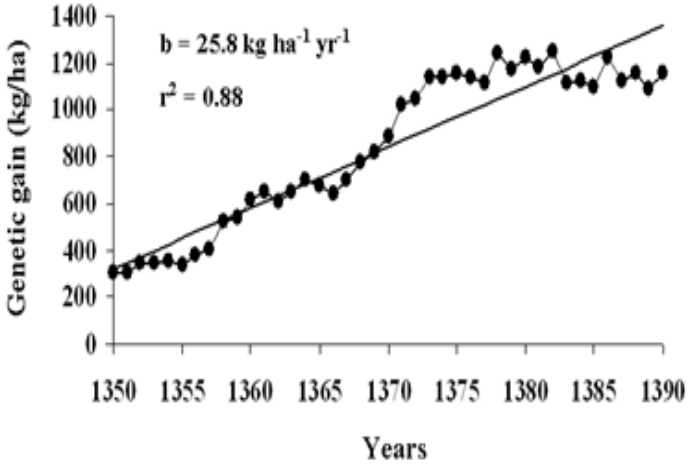
Fig. 4- Trends of unadjusted and weather adjusted yield of irrigated wheat during 1971-2011 (1350-90)
Inside figure shows the same trend for 1991-2011.

تأثیر تغییرات سالانه آب و هوایی بر عملکرد گندم در مناطق مختلف گزارش شده است برای مثال بل و فیشر (Bell & Fischer, 1994) در مطالعه‌ای در مکزیک با تجزیه و تحلیل داده‌های عملکرد گندم در یک دوره ۳۰ ساله نشان دادند که روند افزایش عملکرد ۴۸ درصد کمتر از مقدار آن پس از حذف اثر نوسانات آب و هوایی باشد. بریسون و همکاران (Brisson et al., 2010) نیز نوسان سالانه آب و هوایی را عامل مهمی در ثابت شدن عملکرد گندم در فرانسه و برخی کشورهای اروپا ذکر کرده‌اند، بر اساس یافته‌های این محققین این توسانات باعث شده تا طی سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۹۳ سرعت رشد عملکرد گندم فرانسه۴۰ درصد کاهش یابد. ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2013) نیز در مطالعه‌ای در کشور چین نشان تغییرات سال به سال آب و هوایی عملکرد گندم را در فاصله سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۹۶ میلادی تحت تأثیر قرار داد، بطوری‌که تا ۳۹ درصد کاهش عملکرد را به همراه داشته است.

تشدید تغییرات سالانه آب و هوایی که یکی از پی‌آمدهای مهم تغییر اقلیم می‌باشد عملکرد گندم را به طرق مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهد که از میان آنها بروز خشکی در مرحله طویل شدن ساقه (Sinclair & Jamieson, 2006) و افزایش درجه حرارت در دوره پر شدن دانه (Gooding et al., 2003) بیش از بقیه تأثیرگذار می‌باشند.

سهم به‌نژادی در افزایش عملکرد

نتایج نشان داد که بازده معرفی ارقام اصلاح شده در افزایش عملکرد گندم آبی کشور طی دوره ۴۰ ساله تحت بررسی معادل ۲۵/۸ کیلوگرم در هکتار در سال بوده است (شکل ۵). به بیان دیگر، از میزان کل رشد عملکرد گندم طی این دوره یعنی ۷۳/۴ کیلوگرم در هکتار در سال (شکل ۴) ۳۴/۸ درصد آن ناشی از عملیات به‌نژادی می‌باشد. البته محاسبه بر اساس نرخ رشد عملکرد تصحیح نشده (۵۸/۳ کیلوگرم در هکتار در سال، شکل ۱c) سهم عوامل به‌نژادی در افزایش عملکرد گندم را ۵۰/۷ درصد نشان می‌دهد که بیشتر از سهم واقعی اصلاح ارقام می‌باشد. بعلاوه نتایج نشان می‌دهد که سهم عملیات به‌نژادی در فاصله سال‌های ۷۵-۱۳۶۵ بیشترین مقدار را در طی دوره ۴۰ ساله داشته و تأثیر این عوامل در دهه ۸۰ روند نسبتاً ثابتی را دنبال می‌کند (شکل ۵).



شکل ۵- سهم اصلاح ارقام (عملیات به‌نژادی) در افزایش عملکرد گندم آبی کشور در فاصله سال‌های ۹۰-۱۳۵۰

Fig. 5- Contribution of cultivar improvement (genetic gain) in the total yield increase of irrigated wheat during 1971-2011 (1350-90)

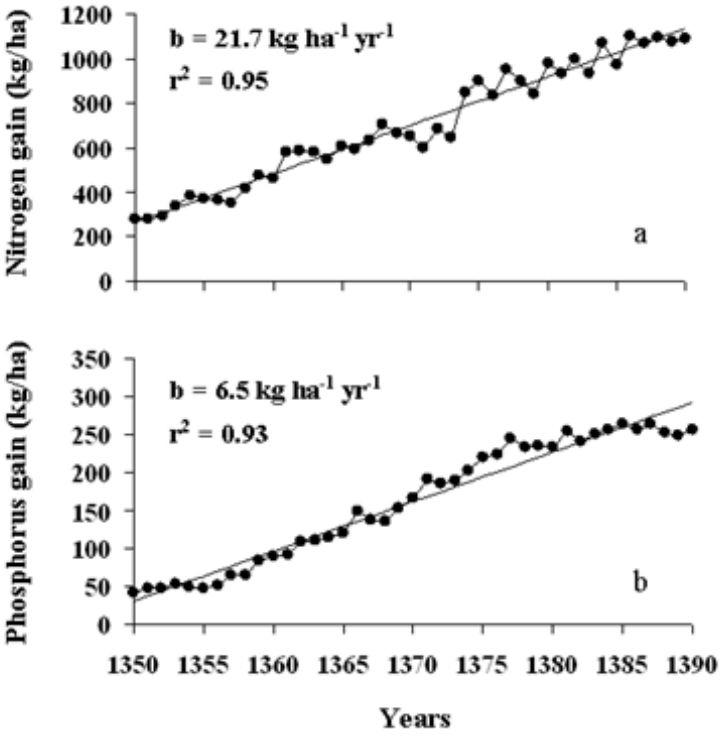
پیشتر ذکر شد که پتانسیل ژنتیکی عملکرد در طی دوره ۴۰ ساله تحت بررسی سالانه ۵۷ کیلوگرم در هکتار افزایش یافته است (شکل ۴) این افزایش اگرچه نشان‌دهنده پیشرفت در اصلاح ژنتیکی ارقام است، ولی نشان‌دهنده بازده ژنتیکی این ارقام در مزارع کشاورزان نمی‌باشد، زیرا پتانسیل ژنتیکی بر اساس عملکرد در شرایط بهینه رشد برآورد می‌شود در حالی‌که بازده ژنتیکی از عملکرد واقعی برآورد می‌گردد. بعلاوه در مقیاس ملی هر سال ترکیبی از ارقام اصلاح شده و در سطوح مختلف کشت می‌شوند که پتانسیل عملکرد متفاوتی دارند. از سوی دیگر سرعت جایگزینی ارقام در مزرعه با سرعت آزادسازی ارقام در مراکز اصلاح نبات منطبق نمی‌باشد. برنان و بایرلی (Brennan & Byerlee, 1991) روشی را برای برآورد سرعت جایگزینی ارقام در مقیاس ملی ارائه کردند، بر اساس این شاخص سرعت جایگزینی ارقام در استرالیا ۷/۶، آمریکا ۶/۷، آرژانتین ۶/۸، هند ۵/۳ و مکزیک ۳/۱ سال برآورد شده است. باوجودی‌که داده‌های لازم برای انجام این روش در ایران کامل نمی‌باشد، ولی بر اساس داده‌های موجود این سرعت برای ارقام گندم کشور در چهار دهه گذشته حدود ۷ سال برآورد می‌شود.

جنسن (Jensen, 1978) سهم اصلاح ژنتیکی در افزایش عملکرد در مقیاس جهانی معادل ۴۹ درصد برآورد کرده است که با نتایج مطالعات منطقه‌ای تا حدودی متفاوت می‌باشد. فیرهوم و پالسون (Feyerherm & Paulsen, 1981) و فیرهوم و همکاران (Feyerherm et al., 1988) سهم عوامل به‌نژادی در افزایش عملکرد گندم در مناطق مختلف آمریکا را بین ۲۵ تا ۳۳ درصد بدست آوردند. در حالی‌که اوبراین (O' Brien, 1982) بر اساس داده‌های ۸۰ ساله سهم اصلاح ارقام در روند عملکرد گندم کشور استرالیا را ۴۳ درصد برآورد کرده است. بل و همکاران (Bell et al., 1995) سهم

خالص اصلاح ارقام در افزایش عملکرد گندم در مکزیک را طی یک دوره ۲۲ ساله ۲۸ درصد برآورد کردند. ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2013) در مطالعه‌ای در شمال کشور چین بر اساس داده‌های سال‌های ۲۰۱۲-۱۹۷۹ نشان دادند که سهم عوامل ژنتیکی در افزایش عملکرد گندم از شروع دوره تا سال ۱۹۹۰ ناچیز، در طی دهه ۹۰ معادل ۲۴/۷ درصد و در ۱۲ سال پایانی دوره ۵۲ درصد بوده است. بر این اساس سهم اصلاح ارقام در رشد عملکرد گندم آبی کشور ایران (۳۵ درصد) نیز در بازه گزارش شده از سایر کشورهای جهان قرار دارد. البته ماکای و همکاران (Mackay et al., 2011) سهم عوامل به‌نژادی در افزایش عملکرد گندم در کشور انگلستان را طی سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۸۲ معادل ۸۶ درصد برآورد کردند که بسیار زیاد بنظر می‌رسد.

سهم کودهای شیمیایی در افزایش عملکرد

در طی دوره ۴۰ ساله تحت بررسی کودهای شیمیایی نیتروژنی در مقایسه با کودهای فسفره سهم بیشتری در افزایش عملکرد گندم آبی کشور داشته اند. مصرف کودهای نیتروژنی باعث افزایش سالانه عملکرد به میزان ۲۱/۷ کیلوگرم در هکتار شده است (شکل ۶a) که این مقدار معادل ۲۵/۴ درصد از رشد سالانه عملکرد گندم آبی کشور (۷۳/۴ کیلوگرم در هکتار) در طی این دوره می‌باشد.



شکل ٦- سهم کودهای شیمیایی نیتروژن (a) و فسفر (b) در افزایش عملکرد گندم آبی کشور در فاصله سال‌های ۹۰-۱۳۵۰

Fig. 6- Contribution of nitrogen (a) and phosphorus (b) fertilizers in the total yield increase of irrigated wheat during 1971-2011 (1350-90)

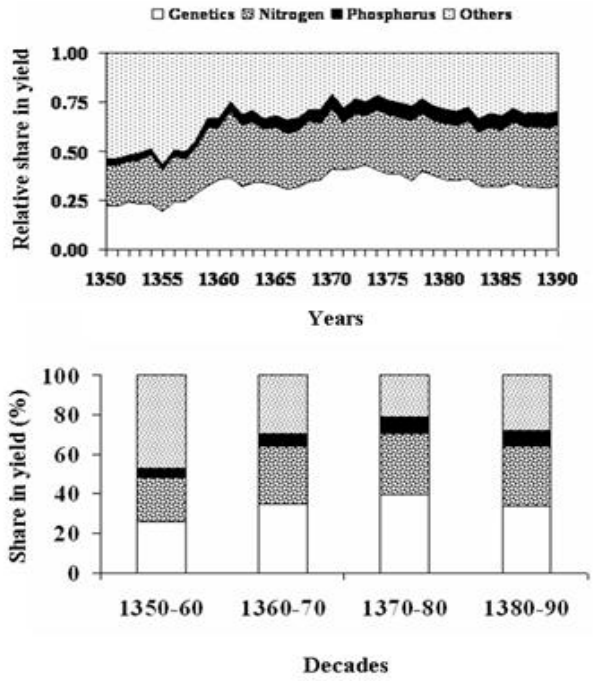
در مقابل رشد عملکرد ناشی از مصرف کودهای فسفره تنها ۶/۵ کیلوگرم در هکتار در سال بوده (شکل ۶b) که معادل ۸/۸ درصد از کل نرخ رشد سالانه عملکرد است. بعلاوه حداکثر سهم هر دو نوع کود شیمیایی مربوط به سال‌های ۸۰-۱۳۷۰ بوده و در طی دهه ۸۰ تأثیر این کودهای شیمیایی بویژه کودهای فسفره تقریبا ثابت بوده است.

بل و همکاران (Bell et al., 1995) سهم نیتروژن کودی در افزایش عملکرد گندم در مکزیک را طی سال‌های ۱۹۹۰-۱۹۶۲ معادل ۴۸ درصد برآورد و پایین بودن قیمت کود در مقایسه با قیمت دانه گندم را دلیل سهم زیاد این نهاده در افزایش عملکرد ذکر کردند. در مقابل ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2013) با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی سهم مجموع کودهای نیتروژن و فسفر در افزایش عملکرد گندم در مناطق شمالی چین را برای سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۹۰ و ۲۰۱۲-۲۰۰۱ میلادی به‌ترتیب ۵/۳ و ۹/۲ درصد گزارش کردند.

روند تغییرات سهم عوامل به‌نژادی و به‌زراعی

در طی دوره ۴۰ ساله تحت بررسی مجموع سهم عوامل به‌نژادی (۳۴/۸ درصد) و کودهای نیتروژن و فسفر (۳۴/۲ درصد) در افزایش عملکرد گندم آبی کشور ۶۹ درصد بوده و ۳۱ درصد باقیمانده مربوط به سایر عملیات به‌زراعی می‌باشد. البته روند زمانی سهم نسبی این عوامل در عملکرد گندم آبی کشور تغییرات قابل توجهی داشته است. سهم ارقام اصلاح شده در عملکرد در ابتدای دوره اندک و در حدود ۲۵ درصد بوده و مجموع سهم کودهای نیتروژنی، فسفره و عوامل به‌نژادی از ۵۰ درصد تجاوز نمی‌کرد، بنابراین سهم سایر عوامل به‌زراعی نظیر مکانیزاسیون، آبیاری و دفع آفات در شکل‌گیری عملکرد گندم بیش از ۵۰ درصد بوده است (شکل ۷a). از اواسط دهه ۵۰ نقش اصلاح ژنتیکی ارقام در عملکرد روندی افزایش داشته و در دهه ۷۰ بیش از ۴۰ درصد رشد عملکرد مدیون عوامل به‌نژادی بوده و مجموع سهم کودهای شیمیایی و ارقام اصلاح شده به مرز ۸۰ درصد رسیده است. البته این روند در دهه بعدی برای کودهای شیمیایی تقریبا ثابت شده و در مورد روش‌های به‌نژادی با کاهش مواجه بوده است (شکل ۷a). در شکل ۷b سهم هر یک از عوامل مؤثر بر عملکرد در طی ۴ دهه به تفکیک نشان داده شده است.

روند تغییرات سهم نسبی عوامل به‌نژادی و به‌زراعی در رشد عملکرد (شکل ۷) تا حد زیادی با روند رشد عملکرد گندم (شکل ۱) مطابقت دارد.



شکل ۷- a) تغییرات سهم نسبی عوامل به‌نژادی و به‌زراعی در عملکرد گندم آبی کشور در فاصله سال‌های ۹۰-۱۳۵۰، b) سهم درصدی عوامل به‌نژادی و به‌زراعی به تفکیک در ٤ دهه گذشته

Fig. 7- a) relative share of genetic and agronomic measures in yield increment of irrigated wheat during 1971-2011 (1350-90), b) percentage contribution of the same measures over the last 4 decades

دوره‌ای که شیب تغییرات عملکرد در آن زیاد است (سال‌های ۸۰-۱۳۶۵) موید دوره‌ای با مدیریت فشرده و همراه با اصلاح ژنتیکی ارقام پر محصول بوده و در نتیجه سهم عوامل به‌نژادی و به‌زراعی در این مقطع زمانی افزایش یافته است. در مقابل دوره‌ای که شیب روند عملکرد کاهش یافته است (سال‌های ۹۰-۱۳۸۱) نشان‌دهنده زمانی است که پاسخ به کودهای شیمیایی در اثر تداوم فشرده‌سازی کاهش یافته و نوسانات عملکرد تشدید شده و در نتیجه سهم عوامل ژنتیکی و زراعی نیز بطور نسبی کاهش یافته است.

نوسان عملکرد در مقابل تغییرات سالانه آب و هوایی در واقع معیاری از ثبات عملکرد می‌باشد در واقع، ارقام جدید و پر محصول گندم پتانسیل ژنتیکی خود را در محیط‌های مطلوب ظاهر می‌کنند و با تغییر شرایط محیطی از سالی به سال دیگر نوسان شدید عملکرد خواهند داشت (Calderini & Slafer, 1998). نصیری و کوچکی (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2014) با ارزیابی ثبات عملکرد غلات کشور در طی یک دوره ۴۰ ساله نشان دادند که ثبات عملکرد گندم کشور در حال کاهش می‌باشد. به بیان دیگر، عملکرد

ارقام رایج گندم علی‌رغم پتانسیل ژنتیکی بالا در مقابل تغییرات سالانه آب و هوایی بشدت نوسان داشته و تا حدودی کاهش خواهد یافت. از آنجا که کافی نبودن ثبات عملکرد عامل اصلی ایجاد خلاء بین عملکرد واقعی و پتانسیل بویژه در مناطق تحت تنش می‌باشد (Lobell et al., 2009) بنظر می‌رسد که بازنگری اهداف اصلاح گندم کشور در جهت افزایش عملکرد توأم با حفظ ثبات آن راهکار مؤثری در کاهش نوسانات عملکرد در مواجهه با تغییرات اقلیمی آینده باشد.

نتیجه‌گیری

با وجودی‌که عملکرد و تولید گندم آبی کشور از سال ۱۳۵۰ روند افزایش خطی را دنبال کرده است، ولی یافته‌های این پژوهش نشان داد که از در دهه ۸۰ کاهش نسبی سرعت رشد عملکرد و سطح زیرکشت، میزان تولید گندم کشور را تحت تأثیر قرار داده است. از آنجا که بنظر می‌رسد روند نزولی سطح زیرکشت به دلیل محدودیت منابع آب در دهه ۹۰ نیز ادامه یابد، حفظ تولید بالا از طریق افزایش عملکرد اصلی ترین راه حل محسوب می‌شود. از سوی دیگر علی‌رغم رشد قابل توجه پتانسیل ژنتیکی عملکرد در ارقام گندم کشور تغییرات سالانه آب و هوایی باعث نوسان شدید عملکرد بویژه در سال‌های اخیر شده است که نشان‌دهنده کاهش ثبات عملکرد می‌باشد.

سهم مجموعه عملیات به‌نژادی در افزایش عملکرد گندم در فاصله سال‌های ۹۰-۱۳۵۰ در حدود ۳۵ درصد بوده است و کودهای شیمیایی نیز سهمی ۳۴ درصدی در رشد عملکرد گندم کشور طی این دوره داشته‌اند و ۳۱ درصد باقیمانده مربوط به سایر عوامل به‌زراعی بوده است. البته یافته‌های این تحقیق نشان داد که سهم اصلاح ارقام و کودهای شیمیایی از دهه ۸۰ بطور نسبی در حال کاهش می‌باشد. این وضعیت ناشی از بی‌ثباتی عملکرد ارقام پر محصول در مواجهه با تغییرات اقلیمی و کاهش پاسخ این ارقام به سطوح بالای مصرف کود است.

از آنجا که افزایش عملکرد گندم باید به روش‌هایی بدون نیاز به افزایش مصرف نهاده‌های شیمیایی تحقق یابد، اهداف اصلاح گندم باید در جهت عملکرد بالا توأم با ثبات و افزایش کارآیی جذب و مصرف منابع بویژه نیتروژن تمرکز یابد.

قدردانی

از همکاران محترم جناب آقای دکتر محمدرضا جلال کمالی و جناب آقای دکتر احمد زارع فیض آبادی جهت ارائه داده‌های مورد نیاز برای اجرای این پژوهش صمیمانه قدردانی می‌شود.
بودجه این تحقیق از محل اعتبارات طرح پژوهه شماره ۱۶۹۹۳ مورخ ۱۳۸۹/۱۱/۲۰ توسط معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

Austin, R.B., Bingham, J., Blackwell, R.D., Evans, L.T., Ford, M.A., Morgan, C.L., and Taylor, M. 1980. Genetic improvements in winter wheat yield since 1900 and associated physiological changes. Journal of Agricultural Science Cambridge Core 94: 675-689.

Bell, M.A., and Fischer, R.A. 1994. Using yield prediction models to assess yield gains: a case study for wheat. Journal Field Crop Research 36: 161-166.

Bell, M.A., Fischer, R.A., Byerlee, D., and Sayre, K. 1995. Genetic and agronomic contributions to yield gains: a case study for wheat. Field Crops Research 44: 55–65.

Brancourt-Hulmel, M., Doussinault, G., Lecomte, C., Be´rard, P., Le Buanec, B., and Trottet, M. 2003. Genetic improvement of agronomic traits of winter wheat cultivars released in France from 1946 to 1992. Crop Science 43: 37–45.

Brennan, J.P., and Byerlee, D. 1991. The rate of crop varietal replacement on farms: measures and empirical results for wheat. Plant Varieties Seeds 4: 99-106.

Brisson, N., Gate, P., Couache, D., Charmet, G., Oury, F.-X., and Huard, F. 2010. Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. Field Crops Research 119: 201–212.

Bruinsma, J. 2009. The resource outlook to 2050: by how much do land, water, and crop yields need to increase by 2050? In: Expert Meeting on How to Feed the World in 2050, FAO, Rome, Available at www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert paper/05-Bruinsma ResourceOutlookto2050.pdf (verified 19.10.09) [Online]

Calderini, D.F., and Slafer, G.A. 1998. Changes in yield and yield stability in wheat during the 20th century. Field Crops Research 57: 335–347.

Cassman, K.G., Dobermann, A., Walters, D.T., and Yang, H. 2003. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. Annual Reviews Journal of Environmental Resource Economics 28(10.1): 10-44.

CAWMA (Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture). 2007. Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. Earthscan/International Water Management Institute, London/Colombo.

Esmaeilzadeh Moghaddam, M., Jalal Kamali, M.R., Anet, Z., Roshani M., and Ghodsi, M. 2014. Temporal variation in phenological characteristics, grain yield, and yield components of spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars released in Iran between 1952 and 2009. Crop Breeding Journal 4(1): 57-64.

FAO (Food and Agriculture Organization), 2011. FAOSTAT. FAO, Rome, Available at http://faostat.fao.org/ (verified 16.07.11) [Online].

FAO.2009. http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/HLEF2050_Global_Agriculture.pdf.

Feyerherm, A.M. and Paulsen, G.M., 1981. An analysis of temporal and regional variation in wheat yields. Agronomy Journal 73: 863-867.

Feyerherm, A.M., Kemp, K.E., and Paulsen, G.M. 1988. Wheat yield analysis in relation to advancing technology in the Midwest United States. Agronomy Journal 80: 998-1001.

Firozjaee, A. 2015. Designing wheat ideotype for low input cropping systems: radiation, nitrogen and water use efficiency and the related traits in Iranian wheat cultivars released during 1948-2012. PhD thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

Fischer, R.A., Byerlee, D., and Edmeades, G.O. 2009. Can technology deliver on the yield challenge to 2050? In: Expert Meeting on How to Feed the World in 2050, FAO, Rome, Available at www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expertpaper/11-Fischer-etalTechnology-Challenge.pdf (verified 13.10.09) [Online].

Fischer, R.A., and Edmeades, G.O. 2010. Breeding and cereal yield progress. Crop Science 50: 85–98.

Gooding, M.J., Ellis, R.H., Shewry, P.R., and Schafield, J.D. 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. Journal of Cereal Science 37: 295–309.

Graybosch, R.A., and Peterson, C.J. 2010. Genetic improvement in winter wheat yields in the Great Plains of North America, 1959–2008. Crop Science 50: 1882–1890.

Hafner, S. 2003. Trends in maize, rice and wheat yields for 188 nations over the past 40 years: a prevalence of linear growth. Agriculture, Ecosystems and Environment 97: 275–283.

Hall, A.J., and Richards, R.A. 2014. Prognosis for genetic improvement of yield potential and water-limited yield of major grain crops. Field Crops Research 143: 18-33.

Jaggard, K.W., Qi, A., and Ober, E.S. 2010. Possible changes to arable crop yields by 2050. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 365: 2835–2851.

Jensen, N.F. 1978. Limits to growth in world food production. Ceilings for wheat yields are coming in developed countries. Science 201: 317-320.

Kalra, N., Chakraborty, D., Sharma, A., Rai, H.K., Jolly, M., Chander, S., Ramesh Kumar, P., Bhadraray, S., Barman, D., Mittal, R.B., Lal, M., and Sehgal, M. 2008. Effect of increasing temperature on yield of some winter crops in northwest India. Current Science 94: 82–88.

Khodarahmi, M., and Vazan, S. 2010. Trends in morphological and quantitative traits in bread wheat using introduced varieties during the last six decades in Iran. Journal of Agronomy and Plant Breeding 6(1): 29-42.

Koning, N., and Van Ittersum, M.K. 2009. Will the world have enough to eat? Current Opinion in Environmental Sustainability 1: 77–82.

Lobell, D.B., Cassman, K.G., and Field, C.B. 2009. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. Annual Review Environmental Journal Resource Economics 34: 179–204.

Mackay, I.A., Horwell, J., Garner, J., White J., McKee and Philpott, H. 2011. Reanalyses of the historical series of UK variety trials to quantify the contributions of genetic and environmental factors to trends and variability in yield over time. Theoretical and Applied Genetics 122: 225–238.

MAJ. 2013. Ministry of Jehad-e-Keshavarzi of Iran, statistical database. Crop production statistics, available at: www.maj.ir/portal/Home/Default.aspx (In Persian)

Moll, R.H., Kamprath, E.J., and Jackson, W.A. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. Agronomy Journal 74: 562-564.

Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2014. Long term evaluation of yield stability trend for cereal crops in Iran. Journal of Agroecology 6(3): 607-621. (In Persian with English Summary)

Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2017. Trend analysis of nitrogen use and productivity in cereal production systems of Iran. Journal of Agroecology 9(2): 360-378. (In Persian with English Summary)

O' Brien, L. 1982. Victorian wheat yield trends, 1898-1977. The Australian Journal of the Institute of Agricultural Science 48: 163-167.

Sadras, V.O., and Lawson, C. 2011. Genetic gain in yield and associated changes in phenotype, trait plasticity and competitive ability of South Australian wheat varieties released between 1958 and 2007. Crop and Pasture Science 62: 533-549.

Sanchez-Garcia, M., Royo, C., Aparicio, N.J.A., and Álvaro, F. 2012. Genetic improvement of bread wheat yield and associated traits in Spain during the 20th century. Journal of Agricultural Science 151(1): 105–118.

Silvey, V. 1981. The contribution of new wheat, barley and oat varieties to increasing yield in England and Wales 1947-1978. Journal of the National Institute of Agricultural Botany 15: 399-412.

Sinclair, T.R., and Jamieson, P.D. 2006. Grain number, wheat yield and bottling beer: an analysis. Field Crops Research 98: 60–67.

Slafer, G.A., Satorre, E.H., and Andrade, F.H. 1993. Increases in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes. In: G.A. Slafer (Editor), Genetic Improvement of Field Crops. Marcel Dekker, New York, pp. 1-8.

Smil, V. 2005. Do we need higher farm yields during the first half of the 21st century? In Yields of farmed species. (Eds. R. Sylvester-Bradley and J. Wiseman), pp. 1–14. Nottingham, UK: Nottingham University Press.

Wang, F., He, Z., Sayre, K., Li, S., Si, J., Feng, B., and Kong, L. 2009. Wheat cropping systems and technologies in China. Field Crops Research 111: 181-188.

Zhang, X., Wang, S., Sun, H., Chen, S., Shao, L., and Liu, X. 2013. Contribution of cultivar, fertilizer and weather to yield variation of winter wheat over three decades: A case study in the North China Plain. European Journal of Agronomy 50: 52–59.

Zhou, Y., He, Z.H., Sui, X.X., Xia, X.C., Zhang, K., and Zhang, G.S. 2007. Genetic improvement of grain yield and associated traits in the Northern China winter wheat region from 1960 to 2000. Crop Science 47: 245–253.

Zare, A., Koocheki, A., and Nassiri, M. 2006. Trend analysis of yield, production and cultivated area of cereal in Iran during the last 50 years and prediction of future situation. Iranian Journal of Field Crops Research 4(1): 49-71. (In Persian with English Summary)

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 137-153

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۵۳-۱۳۷

Contribution of Genetic and Agronomic Measures to Yield Gain of Wheat in Iran

A. Koocheki[1]*, M., Nassiri Mahallati[1], A. Amin Ghafori[2] and M. Mahlouji Rad[2]

Submitted: 29-07-2015
Accepted: 16-09-2015

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Amin Ghafori A., and Mahlouji Rad, M. 2019. Contribution of genetic and agronomic measures to yield gain of wheat in Iran. Journal of Agroecology. 11(1):137-153.

Introduction

World population will be increased up to 9 billion and food demand up to 50 percent by 2050. This exponential increase in population, without an associated increase in arable land, in recent years, significantly threaten crop production. Therefore, engineering crop plants in order to achieve greater yields has been a major focus of plant biologists and breeders with a view to ensuring food availability for an increasing world population under changing environmental conditions. Plant performance is strongly associated with, and dependent on, plant development and growth. Several developmental features of plants, such as overall plant architecture, leaf features and vasculature architecture, are major traits that determine the overall performance of crop plants. The importance of plant developmental features in increasing crop yield potential became evident during the 'green revolution', when an unprecedented increase in yield was achieved by breeding for semi-dwarf varieties of rice and wheat. Furthermore, due to rapid global environmental changes, restricted land and water resources, increasing food production particularly for wheat should be achieved mainly by increased crop yield (Koning & van Ittersum, 2009). Yield could be increased by genetic or agronomic measures and understanding the share of each component is of great importance for designing future cropping systems. However, these issues are not fully studied and quantified. Therefore, in this research yield trend of irrigated wheat at national level is analyzed for 1971-2011 period and contribution of cultivar improvement and agronomic management to yield increment have been estimated.

Materials and Methods

Trends of total production, cultivated area and yield of irrigated wheat were analyzed for the country for 40 years (1971-2011) using linear regression with slope as annual increment rate of each variable. Weather-adjusted yield trend was also estimated based on residuals of regression as described by Nassiri Mahallati & Koocheki (2014). Share of cultivated area and yield in total production was calculated by using component analysis. Annual changes in yield of irrigated wheat (*dY*, kg.ha^{-1} yr^{-1} i.e. the slope of yield trend model) described by Eq.(1):

$$dY = dG + dN + dP + dO \quad (1)$$

Where *dG*, *dN*, *dP* and *dO* (all in kg.ha^{-1} yr^{-1}) are annual yield increment due to genetic, N-fertilizers, P-fertilizers and Other agronomic factors. Contribution of genetic factors (*dG*) was estimated based on the cultivar improvement index (Silvey, 1981). Share of chemical fertilizers (*dN* and *dP*) in remaining yield increase (*dY* - *dG*) was calculated for each year during the study period. Finally, contribution of other agronomic measures (*dO*) to yield was estimated by subtracting right hand terms of Eq. (1) from *dY*.

Results and Discussion

Wheat production and yield was increased by 3.2 and 1.4 times over the studied period, respectively. However, cultivated area after a sharp increase at 2.8% per year until 2000 was decreased in the last decade by 1% per year. Annual weather variation showed significant effect on irrigated wheat yield so that averaged over the 40 years, estimated rate of yield increment was 24% lower than weather adjusted yield. During the 4 decades mean contribution of cultivated area and yield on total wheat production were 44 and 56%, respectively and it was estimated that share of yield will be increased up to 70% in the present decade. Genetic yield potential of irrigated wheat cultivars has increased at 57 kg.ha^{-1} yr^{-1} (1.18% per year) for the period 1968-2011. During the studied period wheat cultivar improvement contributed to annual rate of yield increment by 34.8% while in the

1 and 2- Professor and PhD Student in Agroecology, Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: akooch@um.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v11i1.48702

same period average contribution of N and P fertilizers were estimated as 25.4 and 8.8%, respectively leaving 31% for the other agronomic measures.

Keywords: Cultivar improvement index, Genetic gain, Genetic potential, Trend analysis

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۷۰-۱۵۵

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 155-170

ارزیابی تغییرات طولانی‌مدت تنوع گونه‌های زراعی در بوم‌نظام‌های زراعی استان‌های خراسان شمالی، جنوبی و رضوی

مهدی نصیری محلاتی[۱]، علیرضا کوچکی[۱*]، آرش قلعه گلاب بهبهانی[۲]، آگرین داوری[۳] و سیدشهاب الدین معین‌الدینی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۵/۲۹

نصیری محلاتی، م.، کوچکی، ع.، قلعه گلاب بهبهانی، آ.، داوری، آ.، و معین‌الدینی، س.ش. ۱۳۹۸. ارزیابی تغییرات طولانی مدت تنوع گونه‌های زراعی در بوم‌نظام‌های زراعی استان‌های خراسان شمالی، جنوبی و رضوی. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱(۱):۱۷۰-۱۵۵.

چکیده

دو فاکتور مهم حفاظت از تنوع زیستی کمی‌سازی و پایش مداوم آن می‌باشد. در این راستا استفاده از شاخص‌های رایج تنوع زیستی مانند شاخص تنوع شانون و سیمپسون به تنهایی نمی‌تواند تغییرات ایجاد شده در تنوع زیستی را از تمامی جوانب بررسی نماید. به همین جهت استفاده همزمان از شاخص‌های رایج تنوع زیستی و شاخص‌های عدم دستخوردگی می‌تواند راه حلی مناسب برای شناخت دقیق‌تر این تغییرات در پراکنش جمعیتی گونه‌ها و یا تعداد گونه‌های حاضر درون یک بوم‌نظام باشد. هدف از انجام این مطالعه بررسی و ارزیابی طولانی‌مدت تنوع زیستی کشاورزی با استفاده از دو گروه شاخص رایج تنوع زیستی و عدم دستخوردگی در بوم‌نظام‌های زراعی سه استان خراسان شمالی، جنوبی و رضوی با استفاده از داده‌های طولانی‌مدت سطح زیر کشت شهرستان‌های استان در بازه زمانی ۱۹۸۳ الی ۲۰۰۸ میلادی (۱۳۶۲-۱۳۸۷) بود. نتایج حاصل از برآورد دو شاخص غنای گونه‌ای و شاخص تنوع شانون روند رو به رشد تنوع زیستی کشاورزی را در اکثر مناطق استان نشان داد، اگر چه شاخص تنوع شانون روند رو به کاهش را در برخی از شهرستان‌های این استان‌ها مانند تربت حیدریه، فاروج و جاجرم نشان داد و از سوی دیگر، نتایج حاصل از برآورد شاخص عدم دستخوردگی روند رو به کاهش را نسبت به پنج ساله مبنا (طی سال‌های ۱۹۸۳-۱۹۸۸ میلادی) نشان داد، از این نتایج استنباط می‌گردد که الگوی کشت گونه‌های زراعی در این مناطق تغییر یافته و برخی از گونه‌های بومی و قدیمی توسط گونه‌های جدیدالورود جایگزین شده‌اند و این امر سبب شده این گونه‌ها به عنوان گونه‌های فراموش شده معرفی گردند و با غالبیت گونه‌های جدید، بوم‌نظام‌های زراعی این مناطق به طور گسترده‌ای به سمت نظام‌های کشت فشرده در حال گذار می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: پایش، شاخص‌های رایج تنوع زیستی، شاخص‌های عدم دستخوردگی، کشاورزی فشرده

مقدمه

تنوع زیستی شبکه‌ای از همه موجودات زنده، اعم از گیاهی و جانوری است که قارچ‌ها و سایر جانداران تک‌سلولی را نیز در بر می‌گیرد، در حقیقت تنوع زیستی به تنوع حیات بر روی کره زمین و روابط متقابل میان موجودات زنده اشاره دارد (Long et al., 2000). تنوع‌زیستی کشاورزی زیرمجموعه‌ای از تنوع زیستی بوده و به آن بخش از تنوع اشاره دارد که توسط کشاورزان بکار گرفته شده و در نهایت منجر به تولید غذا می‌شود (Pimentel et al., 19992). تنوع زیستی کشاورزی در نتیجه اثرات متقابل بین منابع گیاهی و جانوری، محیط زنده و غیرزنده و مدیریت زراعی شکل می‌گیرد (Brookfield & Stocking, 1999) و شامل دامنه وسیعی از موجودات زنده در سطح و درون خاک از جمله آفات، بیماری‌ها و علف‌های‌هرز، گرده-افشان‌ها و نیز بعضی از موجودات کنترل‌کننده چرخه مواد غذایی است که می‌توانند برای کشاورزان مضر یا مفید باشند (Koocheki et al., 2004). کیریت (Kirit, 2008) گزارش کرد که تنوع زیستی کشاورزی اغلب به منابع ژنتیکی گیاهی قابل استفاده برای تولید غذا

۱ و ۲- به ترتیب استاد و دانش‌آموخته دکتری اگرواکولوژی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- پژوهشگر پسادکتری، آزمایشگاه تحقیقاتی حشره‌شناسی، گروه علوم خاک و گیاه، دانشگاه ورمونت، برلینگتون ورمونت، ایالات متحده
(*- نویسنده مسئول: Email:akooch@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/jag.v11i1.32433

گفته می‌شود که نتیجه سه فرآیند تکامل طبیعی، اهلی‌سازی و اصلاح گیاهان زراعی است.

تنوع زیستی کشاورزی دارای ابعاد زمانی و مکانی می‌باشد، در مورد گیاهان زراعی، تنوع مکانی می‌تواند معیاری از تنوع سطح زیر کشت گونه‌ها و ارقام مختلف گیاهی باشد و تنوع زمانی شاخصی از سرعت تغییر تنوع مکانی یا به عبارت دیگر، سرعت جایگزینی این گونه‌ها و ارقام با یکدیگر می‌باشد (Bajwa, 1995). در قرون گذشته، بوم‌نظام‌های کشاورزی بر پایه نظام‌های متنوعی از گونه‌های زراعی و توده‌های بومی استوار بودند، با تک کشتی شدن نظام‌های زراعی در سطوح وسیع، ورود مکانیزاسیون به بخش کشاورزی و اصلاح گیاهان، تنوع در بوم‌نظام‌های کشاورزی به ویژه طی ۱۰۰ سال اخیر از روند سریع و رو به کاهش، برخوردار گشته است (Finickh & Machan, 2002; Vandermeer et al., 1998). فشرده‌سازی در ابعاد مکانی و زمانی و استفاده بی‌رویه از نهاده‌های برون مزرعه‌ای موجب ایجاد بوم‌نظام‌هایی با تنوع کمتر و ریسک‌پذیری بالاتر شده است (Smith et al., 2008). از آنجا که نقش اکولوژیک تنوع در بوم‌نظام‌های زراعی چیزی فراتر از تولید مواد غذایی است و اثرات مثبتی از جمله حفظ چرخه مواد غذایی، کنترل مؤثر علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها و مقاومت بیشتر در برابر شرایط متغیر محیطی را نیز در بر می‌گیرد، تلاش برای حفظ و افزایش تنوع زیستی در بوم‌نظام‌های زراعی می‌تواند توازنی میان تولید مواد غذایی و دیگر خدمات این بوم‌نظام‌ها ایجاد کند (Jackson et al., 2007). در واقع، می‌توان بیان نمود که تمامی بوم‌نظام‌ها و جوامع انسانی به محیطی بارور، سالم و در برگیرنده گونه‌های متنوع گیاهی و جانوری وابسته هستند و بقای بوم‌نظام‌های طبیعی بدون وجود تنوع امکان‌پذیر نخواهد بود (Pimentel et al., 1997). برخی مطالعات انجام شده در این رابطه نشان می‌دهد که افزایش تنوع زیستی کشاورزی موجب کاهش معنی‌دار واریانس عملکرد در طول زمان می‌گردد (Di Falco et al., 2003; Smale et al., 1998; Di Falco & Chavaz, 2008; Di Falco et al., 2003; Omer et al., 2007) و این نکته را نباید فراموش کرد که لازمه دستیابی به یک نظام پایدار، ثبات و پایداری عملکرد در طولانی‌مدت است و نه افزایش عملکرد در یک بازه زمانی محدود (Loreau et al., 2002).

با توجه به آنچه گفته شد و اهمیت تنوع زیستی در نظام‌های کشاورزی و ضرورت حفاظت از آن و همچنین گسترش و رشد تحقیقات در این زمینه، به نظر می‌رسد که راه‌اندازی و مطالعه یک نظام پایش مداوم در مناطق مختلف و همچنین انجام مقایسات صحیح در ابعاد زمانی و مکانی امری اجتناب‌ناپذیر است (Smith et al., 2004). در این راستا، هدف از انجام این مطالعه ارزیابی روند تغییرات تنوع گونه‌های زراعی با استفاده از شاخص‌های متنوع زیستی در فاصله زمانی ۱۹۸۳ الی با ۲۰۰۸ میلادی با استناد به اطلاعات رسمی منتشر شده توسط سازمان جهاد کشاورزی استان‌های خراسان رضوی، جنوبی و شمالی بود. همچنین معرفی دو گروه جدید از شاخص‌های تنوع زیستی به عنوان روش‌هایی مناسب در کمی‌سازی تغییرات تنوع زیستی در بخش کشاورزی یکی دیگر از اهداف این پژوهش بود.

مواد و روش‌ها

جهت بررسی تغییرات تنوع زیستی گونه‌های زراعی در سه استان خراسان رضوی، شمالی و جنوبی، از داده‌های سطح زیرکشت محصولات کشاورزی برخی از شهرستان‌های این سه استان منتشر شده توسط جهاد کشاورزی استان، استفاده گردید. جهت کمی‌سازی تنوع زیستی گونه‌های زراعی در محدوده مورد مطالعه، سه دسته کلی از شاخص‌های تنوع زیستی کشاورزی برای هر شهرستان در بازه زمانی ذکر شده برآورد گردید و با استفاده از رگرسیون، مدل خطی روند زمانی تغییرات هر یک از این شاخص‌ها برازش داده شد.

الف. شاخص‌های تنوع زیستی نظام‌های سنتی یا رایج (Eric et al., 2009)

شاخص‌هایی که تحت عنوان شاخص‌های سنتی یا رایج در این مطالعه از آنها یاد می‌شود، عبارتند از: شاخص‌های اصلی که در اکثر مطالعات مربوط به تنوع‌زیستی در بخش کشاورزی به وفور مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۱-شاخص غنای گونه‌ای[1]: این شاخص ساده بیان‌کننده تعداد گونه‌های موجود در یک بوم‌نظام می‌باشد و چون در این مطالعه هدف ارزیابی تنوع زیستی گونه‌های زراعی بود، مقدار عددی این شاخص بیان‌کننده تعداد کل گونه‌های زراعی موجود در بوم‌نظام‌های کشاورزی استان خراسان است.

۲-شاخص شانون[2] (Margalef, 1958): با استفاده از معادله (۱) برآورد گردید:

$$H' = -\sum_i p_i \log(p_i)$$

معادله (۱)

که در این معادله، Pi: احتمال تعلق یک فرد به گونه ni می‌باشد.

ب. شاخص‌های تنوع زیستی بر مبنای نسبیت (Eric et al., 2009)

گروه دوم از شاخص‌های تنوع زیستی که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند و به عنوان شاخص‌های نوین تنوع زیستی قلمداد

1- Species richness index
2- Shannon index

می‌شوند، شاخص‌های عدم دستخوردگی بر مبنای احتمال وقوع یا نسبیت[1] بودند. مبنای برآورد این شاخص‌ها بر اساس نسبت فراوانی گونه‌های زراعی در زمان مبنا[2] (R) و اختلاف آن با زمان مورد نظر[3] (مشاهده شده) (O) می‌باشد. در بررسی این گروه از شاخص‌ها، زمان مبنا زمانی قلمداد می‌گردد که در آن زمان کمترین سطح دستخوردگی نسبت به شرایط گذشته بر قرار باشد. با توجه به اینکه این مطالعه در سطح بوم‌نظام‌های زراعی انجام شد، زمان مبنا میانگین نسبت سطح زیر کشت گونه‌های زراعی مورد نظر در بازه زمانی ۱۹۸۳ الی ۱۹۸۷ میلادی (این بازه زمانی مربوط است اولین سال‌هایی که داده‌های آنها به طور رسمی منتشر شده و سال‌هایی که کشور درگیر جنگ تحمیلی بوده و فعالیت‌های چندانی در بخش‌های اصلاحی و مدیریتی در کشاورزی به شکل سازمان یافته صورت نگرفته است) و زمان مشاهده شده، چهار بازه زمانی پنج ساله از سال‌های ۱۹۸۸ الی ۱۹۹۲ و ۱۹۹۳ الی ۱۹۹۷، ۱۹۹۸ الی ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ الی ۲۰۰۸ میلادی در نظر گرفته شد. تغییرات عددی تمام شاخص‌های عدم دستخوردگی بر مبنای نسبیت بین ۰ تا ۱۰۰ همگن شده‌اند که عدد ۱۰۰ نشان‌دهنده وضعیت مطلوب و عدم تغییر است و عدد صفر نشان‌دهنده تخریب کامل در بوم‌نظام زراعی می‌باشد. شکل ۱ تغییرات این شاخص‌ها را در حالتی که فراوانی نسبی ۰/۵ برابر با ۱۰۰ درصد است را برای یک گونه نشان می‌دهد.

شاخص‌های عدم تغییر یافتگی بر مبنای نسبیت عبارتند از:

۱- شاخص نسبیت نیلسن[4] (Nielsen et al., 2007): این شاخص که با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید:

$$\text{Nielsen-OI} = \frac{1}{s}\sum_{i}\left\{100 - \left[\frac{|O_i - R_i|}{R_i} \times 100\right]\right\} \quad \text{معادله (۲)}$$

که در این معادله، O_i برابر با نسبت فراوانی گونه iم در زمان مورد نظر مطالعه می‌باشد و R_i: نسبت سطح زیر کشت گونه iم در زمان مبنا است. از این معادله زمانی استفاده می‌شود که (Oi>Ri) باشد و زمانی که (Ri>Oi) باشد، این معادله به صورت زیر تغییر می‌نماید:

$$\text{Nielsen-OI} = \frac{1}{s}\sum_{i}[100 - (|O_i - R_i| \times 100)] \quad \text{معادله (۳)}$$

مقدار عددی این شاخص در دو حالت به سمت صفر میل پیدا می‌کند: الف- زمانی که نسبت سطح زیر کشت یک گونه به شدت کاهش یابد و ب- در شرایطی که سطح زیر کشت گونه‌ای از مقدار نرمال فراتر رود.

۲- شاخص نسبیت هندسی باکلند[5] (Buckland et al., 2005): این شاخص از طریق معادله (۴) محاسبه شد:

$$\text{BuckGeo-OI} = \left[\exp\left(\frac{1}{s}\sum_{i}\log\left(\frac{O_i}{R_i}\right)\right)\right] \times 100 \quad \text{معادله (۴)}$$

که در این معادله، Oi: سهم گونه iم در زمان مورد نظر مطالعه بوده و Ri: سهم گونه iم درزمان مبنا می‌باشد. مقدار این شاخص زمانی که جمعیت یک گونه از حد مورد انتظار در یک محدوده مشخص فراتر رود بیشتر از ۱۰۰ خواهد شد. برای اینکه مقدار این شاخص مانند سایر شاخص‌های مورد بررسی در این مطالعه بین ۰ تا ۱۰۰ تغییر نماید اریک و همکاران (Eric et al., 2009) در سال ۲۰۰۹ میلادی پیشنهاد کردند که جای صورت و مخرج کسر در این معادله در حالتی که مقدار Oi>Ri باشد عوض شود تا مقدار عددی این شاخص بین صفر (تخریب کامل) و ۱۰۰ (عدم دستخوردگی) باقی بماند.

۳- شاخص احتمال وقوع حسابی باکلند[6]: که بر اساس معادله (۵) قابل برآورد می‌باشد:

$$\text{BuckArith-OI} = \frac{1}{s}\sum_{i}\left(\frac{O_i}{R_i}\right) \times 100 \quad \text{معادله (۵)}$$

در این شاخص نیز مانند شاخص احتمال وقوع هندسی باکلند زمانی که Oi>Ri باشد جای صورت و مخرج کسر عوض خواهد شد.

شاخص‌های تنوع زیستی بر مبنای فراوانی (Eric et al., 2009): گروه سوم از شاخص‌هایی که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند عبارتند از: شاخص‌های عدم دستخوردگی بر مبنای فراوانی[7]. مبنای برآورد این گروه از شاخص‌ها اختلاف ایجاد شده بین فراوانی گونه‌ها یا سطح زیر کشت گونه‌های مختلف زراعی، در دو بازه زمانی بود که یکی زمان مبنا و دیگری زمان مورد نظر یا زمان انجام مطالعه در نظر گرفته شد. مقدار عددی تمام شاخص‌های عدم دستخوردگی بر مبنای فراوانی که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند، بین صفر (کاملاً تخریب شده) و ۱۰۰ (عدم دستخوردگی) تغییر می‌یابند. اولین شاخصی که از این گروه مورد استفاده قرار گرفت عبارتست از:

۱- شاخص فراوانی نیلسن (Nielsen et al., 2007): مقدار این شاخص بر اساس معادله (۶) برآورد گردید:

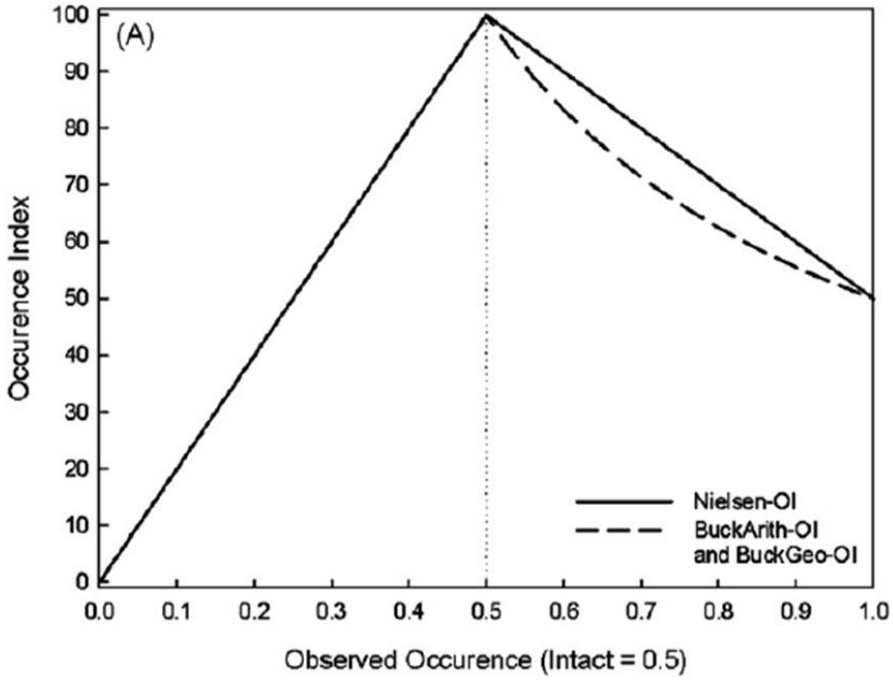
1- Species intactness indices based on occurrence
2- Reference diversity
3- Observed diversity
4- Nielsen occurrence index (NOI)

5- Buckland geometric occurrence index (BGOI)
6- Buckland arithmetic occurrence index (BAOI)
7- Species intactness indices based on abundance

معادله (۶)

$$\text{Nielsen-Abund} = \frac{1}{s}\sum_{i}\left\{100 - \left[\left(\frac{|(A_i+0.5)^{0.5} - (E_i+0.5)^{0.5}|}{(E_i+0.5)^{0.5}}\right) \times 100\right]\right\}$$

که در این معادله، Ai: فراوانی مشاهده شده گونه iم در زمان مورد نظر در مطالعه بود و Ei: نیز فراوانی گونه iم در زمان مبنا یا پایه می‌باشد.



شکل ۱- توزیع شاخص‌های عدم دستخوردگی بر مبنای احتمال وقوع

Fig. 1- Distribution of intactness indices based on occurrence

۲- شاخص فراوانی بیشینه نیلسن[1]: شاخص فراوانی نیلسن دارای یک ایراد می‌باشد که همین امر باعث شد که شاخص فراوانی بیشینه نیلسن معرفی شود. زمانی که مقدار عددی جذر (Ai+0.5) بیش از دو برابر (Ei+0.5) باشد مقدار شاخص فراوانی نیلسن منفی محاسبه خواهد شد، جهت مرتفع ساختن این مشکل، لمب و همکاران (Eric et al., 2009) پیشنهاد دادند که این شاخص به شکل زیر تغییر نماید:

که در این معادله، بزرگترین مقدار عددی Ai که در این شرایط بزرگتر از Ei است را در مخرج کسر جایگزین Ei می‌نماییم.

معادله (۷)

$$\text{Nielsen-Max-Abund} = \frac{1}{s}\sum_{i}\left\{100 - \left[\left(\frac{|(A_i+0.5)^{0.5} - (E_i+0.5)^{0.5}|}{(\max(A_i,E_i)+0.5)^{0.5}}\right) \times 100\right]\right\}$$

دو شاخص دیگری که از این گروه در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند عبارتند از :

۳- شاخص فراوانی هندسی باکلند[2]

۴- شاخص فراوانی حسابی باکلند[3]

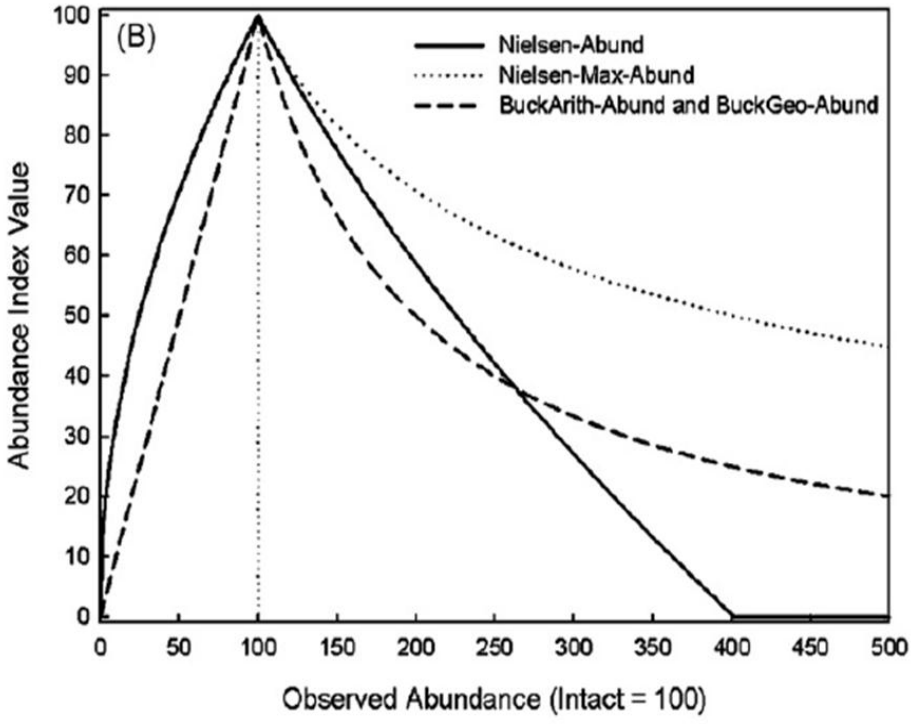
که این دو شاخص توسط باکلند و همکاران (Buckland et al., 2005) جهت ارزیابی تغییرات تنوع زیستی مطرح شدند (Eric et al., 2009). روش برآورد آنها مانند شاخص‌های نسبیت باکلند است، با این تفاوت که در معادله مربوط به این شاخص‌ها به جای نسبت فراوانی یک گونه به کل جمعیت، فراوانی یک گونه یا سطح زیر کشت یک محصول در معادله قرار گرفت.

در شکل ۲ می‌توان توزیع مربوط به شاخص‌های عدم دستخوردگی بر مبنای فراوانی را مشاهده نمود، که در این شکل فراوانی ۱۰۰ از یک گونه برابر با عدم دستخوردگی در نظر گرفته شده است.

یکی از ملزومات استفاده از شاخص‌های تغییر یافتگی مقایسه تنوع در زمان مورد نظر با زمان مبنا است که زمان مبنا زمانی به زمانی اتلاق می‌گردد که بوم‌نظام کمترین میزان دستخوردگی را داشته باشد (Eric et al., 2009)، به همین دلیل در این مطالعه برای شهرستان‌هایی که داده‌های سطح زیر کشت محصولات زراعی در زمان مبنا وجود نداشت، شاخص‌های دستخوردگی محاسبه نشد و تنها

1- Nielsen maximum abundance index (NMAI)
2- Buckland geometric index (BGI)
3- Buckland arithmetic index (BAI)

از شاخص‌های رایج تنوع زیستی جهت کمی‌سازی تغییرات زمانی تنوع گونه‌های زراعی استفاده شد.



شکل ۲- توزیع شاخص‌های عدم دستخوردگی بر مبنای فراوانی
Fig. 2- Distribution of intactness indices based on abundance

نتایج و بحث

نتایج حاصل از بررسی روند تغییرات سطح زیر کشت محصولات زراعی در ۱۴ شهرستان واقع در سه استان خراسان شمالی، جنوبی و رضوی نشان داد که مساحت اراضی زراعی در اکثر شهرستان‌های این سه استان به شدت در حال کاهش می‌باشد و بسیاری از اراضی که قبلا جهت تولید محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گرفتند بنا به دلایل مختلف مانند عدم دسترسی به آب کشاورزی و سایر عوامل محیطی دیگر قابل استفاده نمی‌باشند. نتایج حاصل از برازش مدل خطی نشان داد که شیب این کاهش در برخی از شهرستان‌ها بیشتر و در برخی دیگر کمتر می‌باشد (جدول ۱).

بررسی روند تغییرات شاخص غنای گونه‌ای و همچنین شاخص تنوع شانون، بر خلاف مساحت اراضی زراعی نشان داد که تعداد گونه‌های زراعی مورد استفاده در این بوم‌نظام‌ها با گذشت زمان در حال افزایش است و این کاهش سطح زیر کشت و همچنین افزایش تعداد گونه‌های زراعی به معنی وجود تعداد گونه‌های بیشتر با تراکم بالاتر در این بوم‌نظام‌های کشاورزی است، قابل پیش‌بینی است که در این شرایط، شاخص تنوع زیستی شانون نیز اعداد و ارقام بالاتری را نسبت به گذشته نشان دهد، که این امر نیز در بررسی روند تغییرات زمانی شاخص تنوع زیستی شانون مشاهده شد (جدول ۲). از جمله ایراداتی که می‌توان بر شاخص‌های رایج تنوع زیستی، مانند شاخص تنوع شانون و سیمپسون وارد دانست، این است که مقدار عددی این شاخص‌ها با افزایش تعداد گونه‌های موجود در داخل بوم‌نظام‌های زراعی روند رو به رشد را نشان می‌دهند، این در حالی است که ورود چند گونه جدید زراعی الزاماً نمی‌تواند به معنی بهبود شرایط تنوع در بوم‌نظام‌های کشاورزی باشد، در واقع، استقرار گونه‌های جدیدالورود و به حاشیه رفتن گونه‌های بومی موجود در این بوم‌نظام‌ها توسط این شاخص‌ها نشان داده نمی‌شوند. در چنین شرایطی نیاز است تا با استفاده از شاخص‌های مناسب تنوع‌زیستی کشاورزی تغییرات در ساختار گونه‌ای بوم‌نظام‌های زراعی مورد بررسی قرار گیرد. در راستای بر طرف نمودن این نقیصه، گروه دیگری از شاخص‌های تنوع‌زیستی که به عنوان شاخص‌های نوین تنوع زیستی کشاورزی معرفی گردیدند، در این مطالعه محاسبه شدند.

نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های نوین تنوع زیستی را به تفکیک هر یک از شهرستان‌ها در استان مربوطه در شکل‌های ۳ الی ۱۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- روند تغییرات سطح زیر کشت محصولات زراعی با استفاده از مدل رگرسیون خطی
Table 1- Time trends of cultivated area by using linear regression

شهر City	استان Province	روند تغییرات زمانی (خطی) سطح زیر کشت (هکتار) در مقابل سال Time trend (Linear) Cultivated area (ha) vs. Years	مدت Duration
مشهد Mashhad	خراسان رضوی Khorasan Razavi	Y=-33226x+241559	1983-2008
سبزوار Sabzevar	خراسان رضوی Khorasan Razavi	Y=-24891x+214976	1983-2008
نیشابور Neyshaboor	خراسان رضوی Khorasan Razavi	Y=-14924x+172872	1983-2008
تربت حیدریه Torbat Heydariye	خراسان رضوی Khorasan Razavi	Y=-28535x+207817	1983-2008
قوچان Quchan	خراسان رضوی Khorasan Razavi	Y=-20808x+16977	1983-2008
بجنورد Bojnord	خراسان شمالی North Khorasan	Y=-52700x+291756	1983-2008
شیروان Shirvan	خراسان شمالی North Khorasan	Y=-2138.3x+64647	1983-2008
فاروج Farooj	خراسان شمالی North Khorasan	Y=980.8x+26115	2000-2004
جاجرم Jajarm	خراسان شمالی North Khorasan	Y=-923.46x+19757	1997-2004
فردوس Ferdows	خراسان جنوبی South Khorasan	Y=-1705.2+34782	1995-2005
بیرجند Birjand	خراسان جنوبی South Khorasan	Y=-19951x+127218	1983-2008
قائن Ghaen	خراسان جنوبی South Khorasan	Y=-5831x+57365	1983-2008
نهبندان Nehbandan	خراسان جنوبی South Khorasan	Y=-626.7+14045	1990-2003
سربیشه Sarbishe	خراسان جنوبی South Khorasan	Y=-222.18x+22691	1995-2008

مقادیر عددی شاخص‌های نوین تنوع‌زیستی و همچنین شیب منفی حاصل از برازش مدل خطی تغییرات تمامی این شاخص‌ها در شهرستان مشهد (شکل ۳) نشان داد که فراوانی و همچنین نسبت فراوانی گونه‌های کشاورزی در بوم‌نظام‌های زراعی این شهرستان، دچار تغییرات زیادی در قیاس با زمان مبنا شده و این تغییرات در ساختار گونه‌ای بوم‌نظام‌های زراعی همچنان در حال افزایش است. با در نظر گرفتن این که شاخص‌غنای گونه‌ای در طول زمان در حال افزایش بوده، این امر می‌تواند به منزله غالب شدن گونه‌های جدیدالورود، جایگزینی و به حاشیه رانده شدن برخی از گونه‌های بومی که از قدمت زیادی در بوم‌نظام‌های زراعی این مناطق دارند، باشد. در شهرستان سبزوار نیز تنها شیب مدل خطی تغییرات شاخص نسبیت نیلسن (NOI) مثبت بود (شکل ۴) و این شاخص مقدار عددی نزدیک به ۱۰۰ را نشان داد. لازم به یادآوری است که مقادیر کمتر از ۱۰۰ در تمامی این شاخص‌ها نشان‌دهنده دستخوردگی و تغییر در فراوانی گونه‌های زراعی در بوم‌نظام‌های کشاورزی این شهرستان می‌باشد.

در شهرستان نیشابور واقع در استان خراسان رضوی شاخص نسبیت حسابی باکلند (BAOI)، تغییرات نسبت سطح زیر کشت محصولات زراعی را بیش از ۷۰ درصد زمان مبنا در پنج ساله چهارم (O_4)، نشان داد (شکل ۵).

در شهرستان قوچان نتایج حاصل از برآورد شاخص عدم دستخوردگی نسبیت نیلسن (NOI)، تغییرات تنوع گونه‌های زراعی را در هر یک از چهار بازه زمانی ($O_1.O_2.O_3.O_4$)، مطلوب و کمتر از ۱۰ درصد نشان داد (شکل ۶)، شاخص‌های عدم تغییریافتگی مقادیر بیشینه نیلسن (NMAI) و فراوانی نیلسن (NAI) به ترتیب بیش از ۴۰ و ۳۵ درصد، تغییرات را در آرایش گونه‌های زراعی این شهرستان نشان دادند. همانطور که مشاهده می‌شود، شاخص نسبیت نیلسن در قیاس با شاخص فراوانی نیلسن و همچنین شاخص مقادیر بیشینه

نیلسن مقادیر کمتر دستخوردگی را در آرایش گونه‌های زراعی نشان می‌دهد.

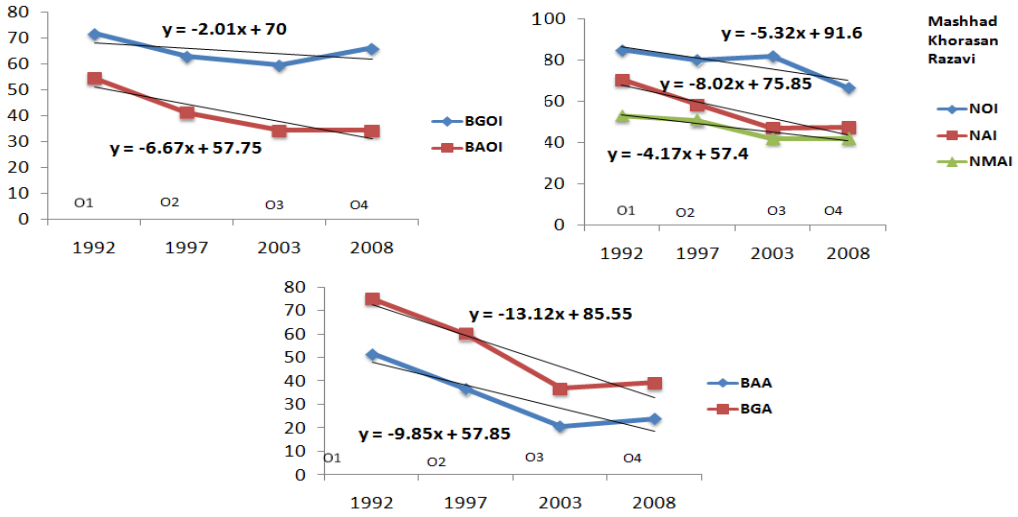
در شهرستان قائن روند تغییرات زمانی شاخص فراوانی هندسی و حسابی باکلند با یکدیگر متفاوت بودند، در حالی‌که شاخص حسابی باکلند روند رو به بهبودی را در این شهرستان نشان می‌داد، شاخص هندسی باکلند دارای روند تغییرات منفی بود (شکل ۱۱).

نتایج مطالعات زمانی تغییرات تنوع زیستی در بوم‌نظام‌های زراعی استان خراسان با استفاده از شاخص‌های متعدد تنوع، نشان داد که هر چند شاخص‌های رایج تنوع زیستی کشاورزی بهبود تنوع گونه‌های زراعی در آینده را پیش‌بینی می‌نمایند، اما در حقیقت این نظام‌ها دچار تغییرات شدید در آرایش و ساختار گونه‌ای شده‌اند و به نوعی گونه‌های قدیمی و بومی این بوم‌نظام‌ها که با شرایط اقلیمی، آفات و بیماری‌ها و سایر عوامل محیطی در این مناطق سازگار بوده‌اند توسط گونه‌های جدید جایگزین شده‌اند که این روند می‌تواند پیامدهای نامطلوبی از جمله از اضمحلال دانش بومی در پرورش گونه‌های مختلف زراعی این مناطق که سینه به سینه طی نسل‌های متمادی به ارث رسیده است و همچنین مساعد نمودن شرایط برای هجوم آفات و بیماری‌ها، داشته باشد (Helenus, 1998; Altieri, 1999; Asman et al., 2001). علاوه بر این، عدم استفاده از گونه‌های زراعی سازگار با شرایط محیطی در این مناطق می‌تواند آسیب‌پذیری بوم‌نظام‌های کشاورزی این مناطق را در برابر تنش‌های اقلیمی همچون خشکسالی و غیره افزایش دهد و در نهایت، مجموعه این عوامل منجر به وابستگی بیشتر این بوم‌نظام‌ها به انرژی‌های تجدیدناپذیر و نهاده‌های برون مزرعه‌ای شده و ثبات و پایداری این بوم‌نظام‌ها را با مخاطرات جدی مواجه می‌سازد (Alain et al., 2012; Malzieux et al., 2009).

جدول ۲- روند تغییرات شاخص‌های تنوع زیستی شانون و غنای گونه‌ای با استفاده از مدل رگرسیون خطی

Table 2- Time trends of Species Ricness Index and Shannon diversity Index by using linear regression

شهر City	روند تغییرات زمانی (خطی) شاخص شانون در مقابل سال Time trend (Linear) Shannon index vs. years	روند تغییرات زمانی (خطی) شاخص غنای گونه‌ای در مقابل سال Time trend (Linear) Richness index vs. years	مدت Duration
مشهد Mashhad	Y=0.0658x +2.09	Y=0.4x +30	1983-2008
سبزوار Sabzevar	Y=0.1x +2.07	Y=0.9x +27.1	1983-2008
نیشابور Neyshaboor	Y=0.2497x +1.37	Y=2.2x +26.4	1983-2008
تربت حیدریه Torbat Heydariye	Y=-0.036x +2.56	Y= x + 29.6	1983-2008
قوچان Quchan	Y=0.1071x +1.52	Y=0.3x +22.3	1983-2008
بجنورد Bojnord	Y=0.194x +1.76	Y=1.4x +27	1983-2008
شیروان Shirvan	Y=0.204x +1.44	Y=1.4x +18	1983-2008
فاروج Farooj	Y=-0.128x +2.435	Y=-0.1x +18	2000-2004
جاجرم Jajarm	Y=-0.0064x +2.56	Y=-0.03x +17.85	1997-2004
فردوس Ferdows	Y=-0.0167x +2.59	Y=-0.02x +27.29	1995-2005
بیرجند Birjand	Y=0.5311x +0.23	Y=4.8x +18.5	1983-2008
قائن Ghaen	Y=0.311x +1.31	Y=3x +24	1983-2008
نهبندان Nehbandan	Y=0.143x +0.78	Y=1.73x +7.7	1990-2003
سربیشه Sarbishe	Y=0.138x +0.94	Y=0.25x +27.48	1995-2008

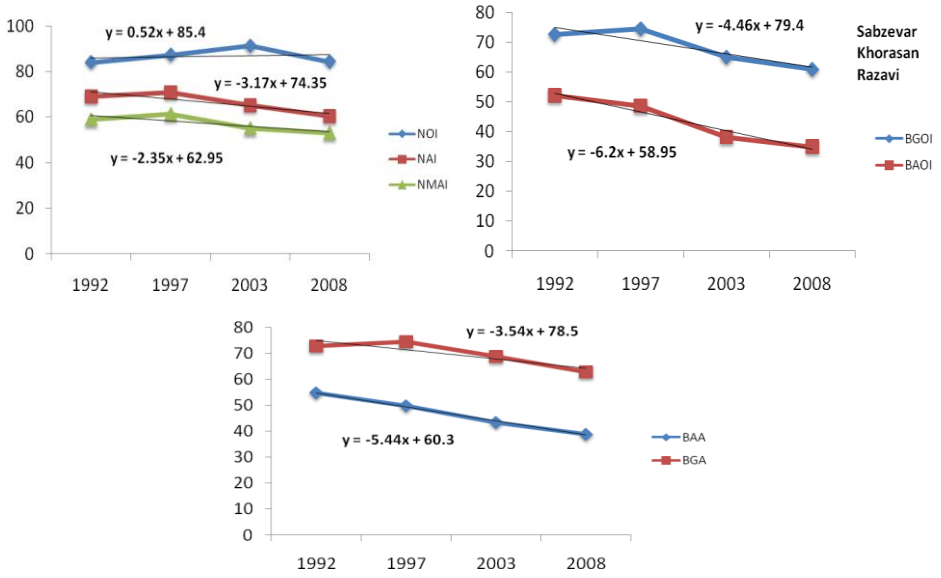


شکل ۳- شاخص‌های عدم دستخوردگی گونه‌های زراعی در شهرستان مشهد

Fig. 3- Species intactness indices of crop species in Mashhad County

BGOI: شاخص نسبیت هندسی باکلند، BAOI: شاخص احتمال وقوع حسابی باکلند، NOI: شاخص نسبیت نیلسن، NAI: شاخص فراوانی نیلسن، NMAI: شاخص فراوانی بیشینه نیلسن، BGA: شاخص فراوانی هندسی باکلند و BAI: شاخص فراوانی حسابی باکلند

BGOI: Buckland geometric occurrence index, BAOI: Buckland arithmetic occurrence index, NOI: Nielsen occurrence index, NMAI: Nielsen maximum abundance index, NAI: Nielsen abundance index, BGI: Buckland geometric index and BAI: Buckland arithmetic index

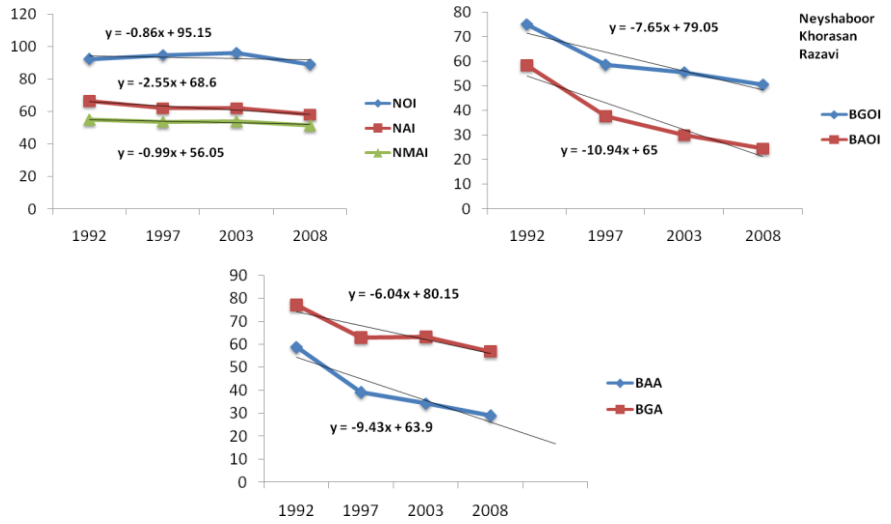


شکل ٤- شاخص‌های عدم دستخوردگی گونه‌های زراعی در شهرستان سبزوار

Fig. 4- Species intactness indices of crop species in Sabzevar County

BGOI: شاخص نسبیت هندسی باکلند، BAOI: شاخص احتمال وقوع حسابی باکلند، NOI: شاخص نسبیت نیلسن، NAI: شاخص فراوانی نیلسن، NMAI: شاخص فراوانی بیشینه نیلسن، BGA: شاخص فراوانی هندسی باکلند و BAI: شاخص فراوانی حسابی باکلند

BGOI: Buckland geometric occurrence index, BAOI: Buckland arithmetic occurrence index, NOI: Nielsen occurrence index, NMAI: Nielsen maximum abundance index, NAI: Nielsen abundance index, BGI: Buckland geometric index and BAI: Buckland arithmetic index

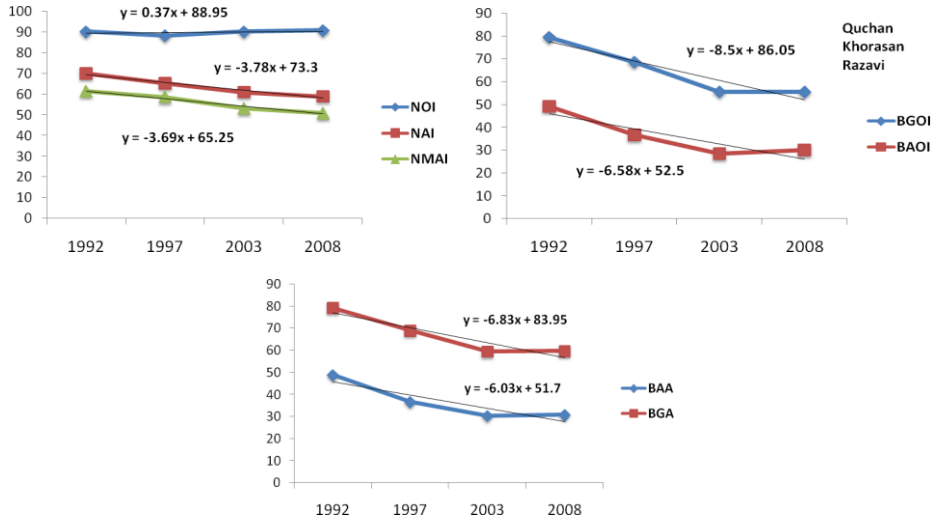


شکل ۵- شاخص‌های عدم دستخوردگی گونه‌های زراعی در شهرستان نیشابور

Fig. 5- Species intactness indices of crop species in Neyshaboor County

BGOI: شاخص نسبیت هندسی باکلند، BAOI: شاخص احتمال وقوع حسابی باکلند، NOI: شاخص نسبیت نیلسن، NAI: شاخص فراوانی نیلسن، NMAI: شاخص فراوانی بیشینه نیلسن، BGA: شاخص فراوانی هندسی باکلند و BAI: شاخص فراوانی حسابی باکلند

BGOI: Buckland geometric occurrence index, BAOI: Buckland arithmetic occurrence index, NOI: Nielsen occurrence index, NMAI: Nielsen maximum abundance index, NAI: Nielsen abundance index, BGI: Buckland geometric index and BAI: Buckland arithmetic index

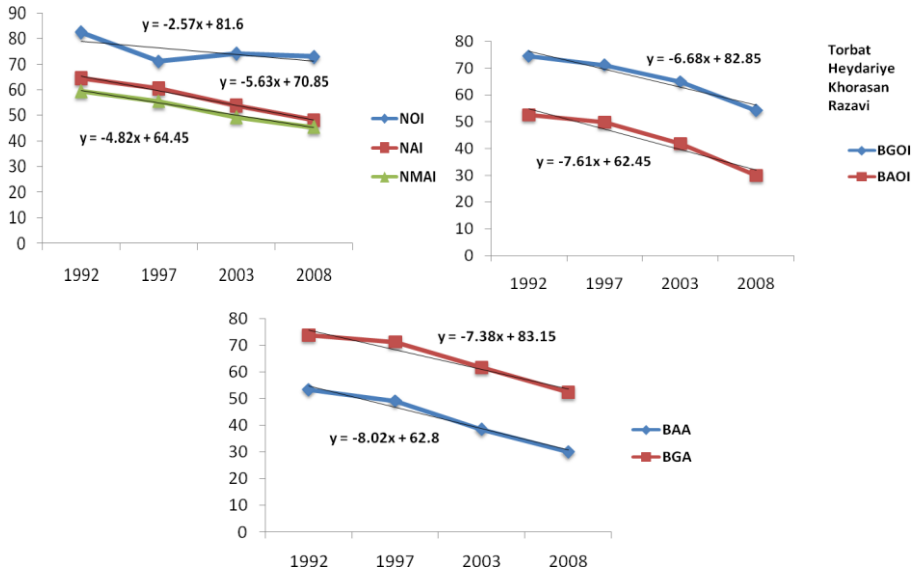


شکل ٦- شاخص‌های عدم دستخوردگی گونه‌های زراعی در شهرستان قوچان

Fig. 6- Species intactness indices of crop species in Quchan County

BGOI: شاخص نسبیت هندسی باکلند، BAOI: شاخص احتمال وقوع حسابی باکلند، NOI: شاخص نسبیت نیلسن، NAI: شاخص فراوانی نیلسن، NMAI: شاخص فراوانی بیشینه نیلسن، BGA: شاخص فراوانی هندسی باکلند و BAI: شاخص فراوانی حسابی باکلند

BGOI: Buckland geometric occurrence index, BAOI: Buckland arithmetic occurrence index, NOI: Nielsen occurrence index, NMAI: Nielsen maximum abundance index, NAI: Nielsen abundance index, BGI: Buckland geometric index and BAI: Buckland arithmetic index

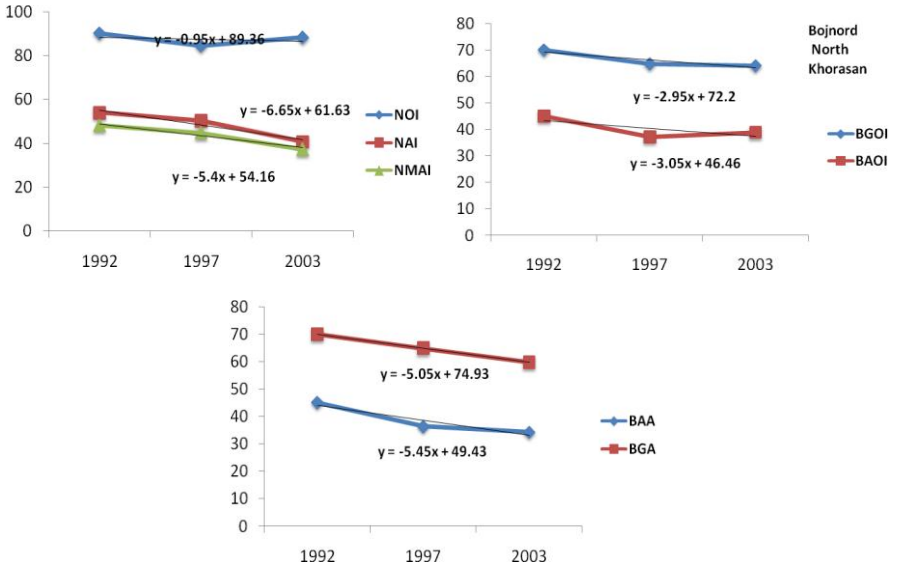


شکل ۷- شاخص‌های عدم دستخوردگی گونه‌های زراعی در شهرستان تربت‌حیدریه

Fig. 7- Species intactness indices of crop species in Torbat Heydariye County

BGOI: شاخص نسبیت هندسی باکلند، BAOI: شاخص احتمال وقوع حسابی باکلند، NOI: شاخص نسبیت نیلسن، NAI: شاخص فراوانی نیلسن، NMAI: شاخص فراوانی بیشینه نیلسن، BGA: شاخص فراوانی هندسی باکلند و BAI: شاخص فراوانی حسابی باکلند

BGOI: Buckland geometric occurrence index, BAOI: Buckland arithmetic occurrence index, NOI: Nielsen occurrence index, NMAI: Nielsen maximum abundance index, NAI: Nielsen abundance index, BGI: Buckland geometric index and BAI: Buckland arithmetic index

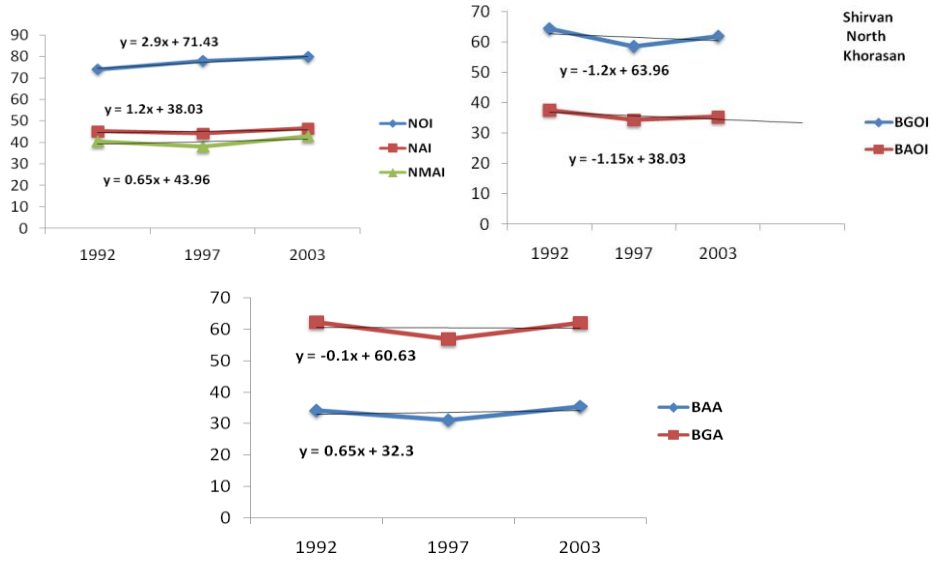


شکل ۸- شاخص‌های عدم دستخوردگی گونه‌های زراعی در شهرستان بجنورد

Fig. 8- Species intactness indices of crop species in Bojnord County

BGOI: شاخص نسبیت هندسی باکلند، BAOI: شاخص احتمال وقوع حسابی باکلند، NOI: شاخص نسبیت نیلسن، NAI: شاخص فراوانی نیلسن، NMAI: شاخص فراوانی بیشینه نیلسن، BGA: شاخص فراوانی هندسی باکلند و BAI: شاخص فراوانی حسابی باکلند

BGOI: Buckland geometric occurrence index, BAOI: Buckland arithmetic occurrence index, NOI: Nielsen occurrence index, NMAI: Nielsen maximum abundance index, NAI: Nielsen abundance index, BGI: Buckland geometric index and BAI: Buckland arithmetic index

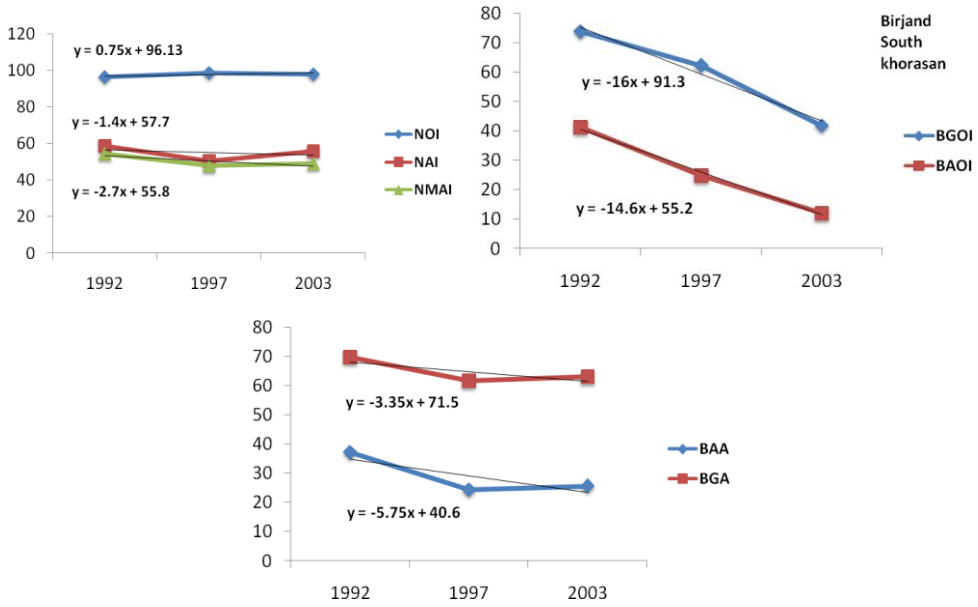


شکل ۹- شاخص‌های عدم دستخوردگی گونه‌های زراعی در شهرستان شیروان

Fig. 9- Species intactness indices of crop species in Shirvan County

BGOI: شاخص نسبیت هندسی باکلند، BAOI: شاخص احتمال وقوع حسابی باکلند، NOI: شاخص نسبیت نیلسن، NAI: شاخص فراوانی نیلسن، NMAI: شاخص فراوانی بیشینه نیلسن، BGA: شاخص فراوانی هندسی باکلند و BAI: شاخص فراوانی حسابی باکلند

BGOI: Buckland geometric occurrence index, BAOI: Buckland arithmetic occurrence index, NOI: Nielsen occurrence index, NMAI: Nielsen maximum abundance index, NAI: Nielsen abundance index, BGI: Buckland geometric index and BAI: Buckland arithmetic index

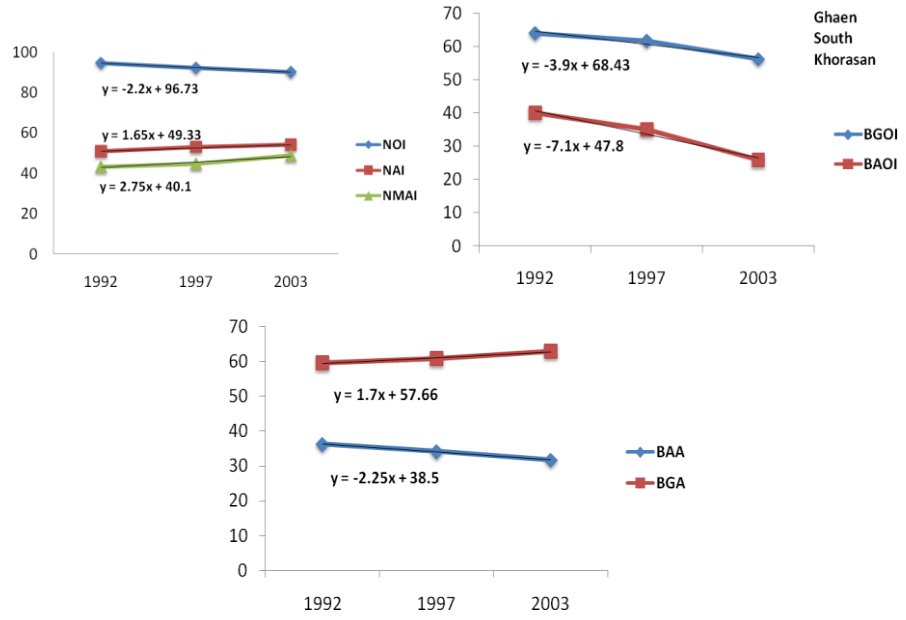


شکل ۱۰- شاخص‌های عدم دستخوردگی گونه‌های زراعی در شهرستان بیرجند

Fig. 10- Species intactness indices of crop species in Birjand County

BGOI: شاخص نسبیت هندسی باکلند، BAOI: شاخص احتمال وقوع حسابی باکلند، NOI: شاخص نسبیت نیلسن، NAI: شاخص فراوانی نیلسن، NMAI: شاخص فراوانی بیشینه نیلسن، BGA: شاخص فراوانی هندسی باکلند و BAI: شاخص فراوانی حسابی باکلند

BGOI: Buckland geometric occurrence index, BAOI: Buckland arithmetic occurrence index, NOI: Nielsen occurrence index, NMAI: Nielsen maximum abundance index, NAI: Nielsen abundance index, BGI: Buckland geometric index and BAI: Buckland arithmetic index



شکل ۱۱- شاخص‌های عدم دستخوردگی گونه‌های زراعی در شهرستان قائن

Fig. 11- Species intactness indices of crop species in Ghaen County

BGOI: شاخص نسبیت هندسی باکلند، BAOI: شاخص احتمال وقوع حسابی باکلند، NOI: شاخص نسبیت نیلسن، NAI: شاخص فراوانی نیلسن، NMAI: شاخص فراوانی بیشینه نیلسن، BGA: شاخص فراوانی هندسی باکلند و BAI: شاخص فراوانی حسابی باکلند

BGOI: Buckland geometric occurrence index, BAOI: Buckland arithmetic occurrence index, NOI: Nielsen occurrence index, NMAI: Nielsen maximum abundance index, NAI: Nielsen abundance index, BGI: Buckland geometric index and BAI: Buckland arithmetic index

تاکنون مطالعات متعددی در رابطه با تنوع زیستی کشاورزی در ایران صورت پذیرفته است (Koocheki et al., 2008; Nassiri et al., 2005; Khorsandi & Hadi, 2001; Ghalegolab et al., 2010)، اما به دلیل تنوع اقلیمی گستردهٔ کشور و همچنین نظام‌های مدیریتی کشاورزی متنوع که پی‌آمد شرایط خاص بوم‌شناختی هر منطقه است، این حجم از مطالعات کافی به نظر نمی‌رسد. لازم به ذکر است که بیشتر مطالعات انجام شده در این راستا از نوع بررسی تنوع مکانی بوده و کمتر تغییرات تنوع در بوم‌نظام‌های کشاورزی از ابعاد زمانی مورد بررسی قرار گرفته است. نصیری و همکاران (Nassiri et al., 2005) طی مطالعه‌ای روی بررسی تنوع گونه‌های زراعی در ۱۸۳ شهرستان در ۲۷ استان کشور مورد نشان دادند که ۳۷ گونه زراعی در ایران کشت می‌شود و از این تعداد ۷ گونه (۱۸/۹ درصد) پائیزه و ۳۰ گونه (۸۱/۱ درصد) بهاره هستند، این مقدار به مراتب از ۹۵ گونه زراعی گزارش شده توسط خرسندی و حاج سید هادی (Khorsandi & Hadi, 2001) کمتر بود که این تفاوت می‌تواند ناشی از عدم تفکیک مناسب گونه‌ها و واریته‌های گیاهان زراعی در مطالعه این محققین باشد. بیش از ۵۶ درصد از گونه‌های زراعی ایران از دو خانواده غلات و بقولات هستند، «سازمان جهانی خوار و بار و کشاورزی در گزارشات خود، ایران را در کنار آمریکا، کانادا، دانمارک و برخی دیگر از کشورها در گروه مناطقی قرار داده است که دارای تنوع گونه‌های زراعی اندک می‌باشند و غالبیت برخی از گیاهان زراعی به ویژه غلات ویژگی اصلی نظام‌های تولیدی آنهاست» (Nassiri et al., 2005). کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2003) نیز به منظور بررسی اثرات نظام‌های پرنهاده و تک‌کشتی و استفاده وسیع از ارقام پرمحصول بر پایداری نظام‌های کشاورزی، تنوع زیستی محصولات باغی، سبزی و صیفی را در کشور مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این بررسی نشان داد که محصولات باغی و سبزی و صیفی متنوعی در نواحی مختلف کشور تولید می‌شود، به طوری‌که تعداد گونه‌های زیرکشت در مورد این محصولات قابل توجه است، نتایج این مطالعه نشان داده است که شاخص شانون محصولات باغی و سبزی و صیفی متناسب با غنای گونه‌ای آنها نیست که این امر می‌تواند ناشی از عدم توزیع یکنواخت سطح زیر کشت محصولات باشد. همچنین مطالعات دیگری نیز در کشور در سطوح پایین‌تر و در سطح منطقه‌ای برای نظام‌های زراعی بخش‌هایی از شهرستان‌های استان‌هایی چون تهران و خوزستان انجام شده است (Ghalegolab et al., 2010)، بنابراین همانطور که پیشتر گفته شد، از آنجا که اکثر مطالعات انجام شده در رابطه با تنوع زیستی کشاورزی در کشور، این

موضوع را از بعد مکانی مورد بررسی قرار داده‌اند، به نظر می‌رسد استفاده از شاخص‌های مناسب در راستای بررسی تغییرات از بعد زمانی امری ضروری است، تا شاید از این طریق بتوان با پایش مناسب و شناخت صحیح از این تغییرات و همچنین با استفاده از سیاست‌گذاری‌های مناسب گامی مهم در راستای حفاظت از تنوع گونه‌های زراعی کشور برداشت.

با مروری بر مطالعات تنوع زیستی کشاورزی که پیش از این در کشور و سایر نقاط جهان صورت پذیرفته است به نظر می‌رسد که تا کنون از دو گروه شاخص‌های تنوع زیستی بر مبنای فراوانی و بر مبنای نسبیت، که در این مطالعه از آنها را به عنوان شاخص‌های نوین در تنوع زیستی نام برده شد، در بخش کشاورزی استفاده نشده است (Griffiths et al., 2008; Lopez et al., 2007; Jones and Sieving, 2006; Vandrmeer et al., 2009). نتایج حاصل از مطالعه اریک و همکاران (Eric et al., 2009) که جهت مقایسه این شاخص‌ها با استفاده از شبیه‌سازی اطلاعات طولانی مدت تنوع زیستی در عرصه‌های طبیعی صورت پذیرفته نشان می‌دهد که شاخص‌های نوین در ارزیابی و انجام برنامه‌های پایش و تغییرات طولانی مدت تنوع بسیار مؤثر عمل می‌نمایند و در مقایسه این گروه از شاخص‌های تنوع‌زیستی با شاخص‌های رایج، این شاخص‌ها کارکرد مناسب‌تری دارند (Eric et al., 2009).

نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه و با توجه به نیاز به مطالعات متعدد تنوع زیستی در بوم‌نظام‌های کشاورزی ایران، چه از بعد زمانی و چه از بعد مکانی، به نظر می‌رسد استفاده همزمان از دو گروه شاخص‌های رایج و نوین تنوع زیستی کشاورزی در کنار یکدیگر می‌تواند راه‌حل مناسبی در راستای شناخت صحیح‌تری از شرایط حاکم بر بوم‌نظام‌های زراعی کشور باشد.

سپاسگزاری

بودجه این طرح از محل اعتبارات پژوهه شماره ۲۱۳۲۳/۲، معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

1. Alain, R., Paula, F., Jacques, A., and Robert, H. 2012. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. Agronomy for Sustainable Development 32(1): 273-303.
2. Altieri, M.A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment 74: 19-31
3. Asman, K., Ekbom, B., and Ramert, B. 2001. Effect of intercropping on oviposition and emigration of the leek moth (Lepidoptera: Acroplepiidae) and the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). Environmental Entomology 30: 288–294.
4. Altieri, M.A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment 74: 19-31.
5. Bajwa, M.A. 1995. wheat research and production in Pakistan. In: Wheat for more tropical environments. Villarel, L. (Ed.). Proceedings of an International symposium CIMMIT, Mexico, pp. 68-72.
6. Brookfield, H., and Stocking, M. 1999. Agro diversity: definition, description and design. Journal of Global Environmental Change 9: 77-80.
7. Buckland, S.T., Magurran, A.E., Green, R.E., and Fewster, R.M. 2005. Monitoring change in biodiversity through composite indices. Philosophical Transactions of the Royal Society B 360: 243–254.
8. DiFalco, S., and Perrings, C. 2003. Crop genetic diversity, productivity and stability of agroecosystems. A theoretical and empirical investigation. Scottish Journal of Political Economy 50: 207–216.
9. Di Falco, S., and Chavas, J. 2008. Rainfall shocks, resilience and the effects of crop biodiversity on agroecosystem productivity. Land Economics 84(1): 83–96.
10. Lamb, E.G., Bayne, E., Holloway, G., Schieck, J., Boutin, S., Herbers, J., and Haughland, D.L. 2009. Indices for monitoring biodiversity change: Are some more effective than others? Ecological Indicators 9: 432–444.
11. Finckh, M.T., and darpenstein-Machan, M. 2002. Intercropping for Pest Management Encyclopedia of Pest Management. http:// www. Informaworld.com
12. Griffiths-GJK, Holland, J.M., Bailey, A., and Thomas, M.B. 2008. Efficacy and economics of shelter habitats for conservation biological control. Biological Control 45: 200–209.
13. Helenius, J. 1998. Enhancement of predation through within-field diversification. In: Pickett, E., and Bugg, R.L. (Eds.). Enhancing biological control. University of California Press, Berkeley, CA, USA, pp. 121–160.

14. Jackson, L.E., Pascual, U., and hodgkin, T. 2007. Utilizing and conserving agrobiodiversity in agricultural landscapes. Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment 121: 196.
15. Jones, G., and Sieving, K.E. 2006. Intercropping sunflower in organic vegetables to augment bird predatorsn of arthropods. Agriculture, Ecosystems and Environment 117:171–177.
16. Kirit, K.P. 2008. Cultivating diversity on farm: agrobiodiversity in a tribal region of western India. PhD Thesis, India. 446 pp.
17. Koocheki, A. Nassiri Mahllati, M.R., Asgharipoor, M., and Khodashenas, A. 2003. Biodiversity of fruits and vegetables in Iran. Iranian Journal of Field Crops Research 2: 80-86. (In Persian woth English Summary)
18. Koocheki, A., Nassiri Mahllati, M., Zarea Fizabadi, A., and Jahanbin, G. 2004. Diversity of cropping systems in Iran. Pajouhesh and Sazandegi 63: 70-83. (In Persian woth English Summary)
19. Koocheki, A., Nassiri, M., Glissman, S.R., and Zarea, A. 2008. Agrobiodiversity of field crops: A case study for Iran. Journal of Sustainable Agriculture 32(1): 95-122.
20. Long, J., Cromwell, E., and Gold, K. 2000. On-farm management of crop diversity: an introductory bibliography. The Schumacher Center for Technology and Development. Http:// www.oneworld.org/odi/
21. Lopez, B., Montes, C., and Benayas, J. 2007. The non-economic motives behind the willingness to pay for biodiversity conservation. Biological Conservation 139: 67–82.
22. Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J.P., Hector, A., Hooper, D.U., Huston, M.A., Raffaeli, D., Schmid, B., Tilman, D., and Wardle, D.A. 2002. Biodiversity and ecosystem functioning: Current knowledge and future challenges. Science 294: 804–808.
23. Malézieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., Laurans, M., Makowski, D., Ozier-Lafontaine, H., Rapidel, B., de Tourdonnet, S., and Valantin-Morison, M. 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models: a review. Agronomy for Sustainable Development 29: 43–62.
24. Margalef, R.D. 1958. Information theory in ecology. General Systems 3: 36–71.
25. Nassiri, M., Koocheki, A., and Mazaheri, D. 2005. Diversity of crop species in Iran. Desert 10(1): 33-50. Nielsen, S.E., Bayne, E.M., Schieck, J., Herbers, J., and Boutin, S. 2007. A new method to estimate species and biodiversity intactness using empirically derived reference conditions. Biological Conservation 137: 403–414.
26. Omer, A., Pascual, U., and Russell, N.P. 2007. Biodiversity conservation and productivity in intensive agricultural systems. Journal of Agricultural Economics 58: 308–329.
27. Pimentel, D.A., Stachow, U., Takacs, D.A., Brubaker, H.W., Dumas, A.R., Meaney, J.J., Oneil., J.A.S., Onsi., D.E., and Corzilius, D.B. 1992. Conserving biological diversity in agricultural and forestry systems. Journal of BioScience 42: 354-364.
28. Pimentel, D., Wilson, C., Maccullum, C., Huang, R., Dwen, P., Flack, J., Tran, Q., Saltman, T., and Cliff, B. 1997. Economic and environmental benefits of biodiversity. Journal of Bioscience 47: 747-757.
29. Smale, M., Hartell, J., Heisey, P.W., and Senauer, B. 1998. The contribution of geneticresources and diversity to wheat production in the Punjab of Pakistan. American Journal of Agricultural Economics 80(3): 482-493.
30. Smith, J., Potts, S.G., Woodcock, B.A., and Eggleton, P. 2008. Can arable field argins be managed to enhance their biodiversity, conservation and functional value for soil macrofauna? Journal of Applied Ecology 45: 269-278.
31. Smith, A.K., Chewings, V.H., Bastin, G.N., Ferrier, S., Manion, G., and Clifford, B. 2004. Integrating historical datasets to priorities areas for biodiversity monitoring? In: Australian Rangelands Society 13th Biennial Conference: "Living in the outback", Alice Springs, Northern Territory.
32. Vandermeer, J., Van Noordwijk, M., Anderson, J., and Ong, C. 1998. Global change and multi-species agroecosystems: Concepts and issues. Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment 67: 1-22.
33. Vandermeer, J., Perfecto, I., and Liere, H. 2009. Evidence for hyperparasitism of coffee rust (*Hemileia vastatrix*) by the entomogenous fungus, *Lecanicillium lecanii*, through a complex ecological web. Plant Pathology 58: 636–641.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 155-170

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۷۰-۱۵۵

Evaluation of Long Term changes of Crop Species Diversity in Agro-ecosystems of North, Central (Razavi) and South Khorasan provinces (Iran)

M. Nassiri Mahallati[1], A. Koocheki[1*], A. Ghalehgolabbehbahani[2], A. Davari[3], S.S. Moinoddini[2]

Submitted: 19-02-2014
Accepted: 21-08-2014

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Ghalehgolabbehbahani, A., Davari, A and Moinoddini, S.S. 2019. Evaluation of long term changes of crop species diversity in agro-ecosystems of North, Central (Razavi) and South Khorasan provinces (Iran). Journal of Agroecology. 11(1):155-170.

Introduction

Biodiversity is a network of all living organisms, including plants, animals, fungi and other living organisms. In fact, biodiversity refers to the diversity of life and the interactions between living organisms. Agricultural biodiversity as a subset of biodiversity refers to the part of biodiversity used by farmers to produce food. It is well documented that conservation of agricultural biodiversity is crucial for maintaining multifunctional characteristics of agroecosystem as a basis for sustainable crop production. Quantification and monitoring the spatio-temporal variations of crop biodiversity are essential elements for the purpose of biodiversity conservation. Such studies, however, with focusing on spatial variability and temporal changes of crop diversity is largely overlooked. On the other hand, recent studies have shown that merely use of traditional measures such as Shannon and Simpson diversity indices may cause misinterpretation of the results. Therefore, using new measures such as species intactness indices would help to find out the amount of intactness in individual or a number of species over a long period of time. Therefore, the main objective of this study was evaluation of changes over time in crop species diversity at regional scale. Furthermore, two new groups of biodiversity indices for quantification of temporal variation of biodiversity are compared with the common diversity indices.

Materials and Methods

In this study, crop diversity intactness and traditional diversity indices were investigated for North, Central (Razavi) and South Khorasan provinces (located at Northeast of Iran). Long-term data (1983-2008) regarding cultivated area of different crop species within selected cities across three studied provinces were collected from official databases. Time course of crop species diversity was quantified using 3 groups of indices.

- Traditional indices i.e. species richness and Shannon species diversity index (H'), where H' was calculated on the basis of relative cultivated area of species.
- Species intactness indices based on occurrence, calculated by the difference between crop species diversity at the reference time (reference diversity) and observed species diversity at any given time.
- Species intactness indices based on abundance, estimated from the difference between cultivated area (frequency) of crop species at reference time and any given time during the study period.

Finally, time trend of each group of indices was evaluated using regression analysis.

Results and Discussion

Results showed that in three studied provinces both species richness which demonstrates the number of cultivated crop species and Shannon divesity index were increased during the period of 1983-2008. However, Shannon index for Torbate Heydariye, Farooj, Jajarm was decreased over the study period. Although traditional

1 and 2- Professors and Graduate PhD student in Agroecology, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mshhad, Iran, respectively.
3- Postdoctoral Research Associate, The entomology Reaserch Laboratory, Department of Pland and Soil Science, University of Vermont, Burlington Vermont, USA.
(*-Curresponding Author Email: akooch@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/jag.v11i1.32433

indices showed an improvement of crop diversity over time, they are not able to distinguish the structural changes in the crop species composition. For example if new exotic crop species were introduced, Shannon index would show higher diversity because of higher richness. Intactness indeices of crop species indicated a decreasing trend compare with reference years (i.e. 1983 to 1988), showing changes in crop species composition over the studied period which is in contrast with the results of traditional indices. It is supposed that this discrepancy is due to the crucial change of crop diversity pattern and substitution of some local crops by exotic species and vast expansion of intensive cropping systems across three studied provinces. In fact, in the studied regions, introduction of new exotic crops is led to neglection of some indigenes species.

Conclusion

The results of this study indicated that using diversity intactness indices are superior over traditional diversity measures when the objective of the study is evaluation of structural changes in crop species diversity over time . Overall, intactness of crop diversity in three studied provinces was decreased which is seemingly the results of introduction of new crop species and intensification of production systems.

Keywords: Conventional biodiversity indices, Intactness indices, Intensive agriculture, Monitoring

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۸۴-۱۷۱

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 171-184

تأثیر کشت مخلوط غلات و کاربرد کود نیتروژن بر محتوای نیتروژن و عناصر کم مصرف اندام هوایی علف‌های هرز وعملکرد دانه

فرزانه فرامرزی[۱]، محمد صادق تقی زاده[۲*]، علی بهپوری[۲]و سحر افضلی هرسینی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۰۹

فرامرزی، ف.، تقی زاده، م.ص.، بهپوری، ع.، و افضلی هرسینی، س. ۱۳۹۸. تأثیر کشت مخلوط غلات و کاربرد کود نیتروژن بر محتوای نیتروژن و عناصر کم مصرف اندام هوایی علف‌های هرز وعملکرد دانه. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱(۱):۱۸۴-۱۷۱.

چکیده

این مطالعه به منظور بررسی اثر کشت مخلوط غلات و سطوح کاربرد کود نیتروژن بر محتوای نیتروژن و عناصر کم مصرف علف‌های هرز و عملکرد گیاه زراعی انجام شد. تیمارهای مورد مطالعه شامل سیستم‌های مختلف کشت مخلوط ردیفی غلات (پنج نسبت کشت مخلوط گندم (*Triticum aestivum* L.): تریتیکاله (X *Triticosecale wittmack*) و چهار نسبت کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.): تریتیکاله) و دو سطح کود نیتروژن (۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) بودند. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب در سال ۹۲-۹۳انجام شد. در این آزمایش صفات محتوای نیتروژن و عناصر کم مصرف اندام هوایی علف‌های هرز و عملکرد دانه گیاه زراعی بررسی شد. کمترین محتوای نیتروژن اندام هوایی علف‌های هرز مربوط به تیمار تک‌کشتی تریتیکاله با ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن بود. کمترین محتوای آهن و منگنز اندام هوایی علف‌های هرز نیز در تیمارهای ۲۵ درصد گندم: ۷۵ درصد تریتیکاله و ۵۰ درصد جو: ۵۰ درصد تریتیکاله با ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن بدست آمد. علف‌های هرزی که در تک‌کشتی جو رشد کردند دارای کمترین محتوای روی در بافت اندام‌های هوایی خود بودند و افزایش مقدار کود نیتروژن منجر به افزایش محتوای روی در آن‌ها گردید. کمترین محتوای مس در اندام هوایی علف‌های هرز در سیستم ۵۰ درصد جو: ۵۰ درصد تریتیکاله با سطح کود ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بدست آمد. بیشترین عملکرد دانه نیز مربوط به تیمار ۵۰ درصد جو: ۵۰ درصد تریتیکاله با ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن بود. نتایج این مطالعه می‌تواند برای مدیریت اکولوژیک علف‌های هرز از طریق مدیریت عناصر غذایی کم مصرف و همچنین بهبود عملکرد پایدار گیاه زراعی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آهن، تریتیکاله، روی، گندم، مس، منگنز

مقدمه

مدیریت اکولوژیک علف‌های هرز یکی از عملیات کلیدی در سیستم‌های کشاورزی پایدار است. دراین سیستم‌ها، کنترل علف-های هرز باید در درجه اول به‌وسیله تغییر در روابط رقابتی گیاه زراعی و علف‌های هرز با انجام اقداماتی مانند انتخاب تناوب صحیح، انتخاب گونه‌های زراعی و ارقام با قدرت رقابتی بالا و مدیریت دقیق عناصر غذایی انجام شود (Younie & Litterick, 2002; Traore et al., 2003; Mennan & Zandstra, 2005). جمعیت علف‌های هرز ممکن است به وسیله تنوع گونه‌ای در سیستم‌های زراعی نیز کاهش یابد (Corre-Hellou et al., 2011) و یکی از راهکارهای ایجاد تنوع استفاده از سیتم‌های کشت مخلوط است. کشت مخلوط که رشد همزمان دو یا چندگونه گیاه زراعی در یک قطعه زمین در طول یک سال زراعی است (Ariel et al., 2013) می‌تواند منجر به بهبود استفاده از منابع قابل دسترس توسط گیاه زراعی و کاهش فرصت استقرار و رشد علف‌های هرز شود (Corre-Hellou et al., 2011). بعضی از محققان با فرض اینکه گیاهان زراعی و علف‌های هرز به طور عمده برای منابع بالای سطح خاک رقابت می‌کنند، نحوه سرکوب علف‌های هرز را به‌وسیله افزایش زیست توده با دریافت نور توسط کشت‌های مخلوط مطالعه کرده‌اند (Baumann et al., 2000)

۱- دانشجوی دکترای زراعت، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۲- استادیار بخش اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز
(*- نویسنده مسئول: Email: mtaghizadehs@gmail.com)
DOI:10.22067/jag.v11i1.60035

، اما مطالعات زیادی نشان می‌دهند که رقابت برای منابع زیرزمینی مانند عناصر غذایی بیشتر از منابع بالای سطح خاک است (Wilson, 1988; Makvandi et al., 2006; Corre-Hellou et al., 2011). همچنین رقابت بین گونه‌ها برای جذب نور و منابع زیرزمینی از جمله نیتروژن به‌طور واضحی به یکدیگر مرتبط است. شاخص سطح برگ گونه غالب (گیاه زراعی یا علف هرز) در جامعه گیاه زراعی ممکن است به دلیل افزایش نیتروژن قابل دسترس افزایش یابد که این منجر به افزایش توانایی آن گونه برای دریافت تشعشع بیشتر و سایه‌اندازی بر سایر گونه‌ها می‌شود (Corre-Hellou et al., 2006).

هوگارد نیلسن و همکاران (Hauggaard-Nielsen et al., 2001) بیان کردند که افزایش فراهمی نیتروژن در سیستم‌های کشت مخلوط به‌واسطه توسعه ریشه‌ها در فضای بیشتری از خاک، منجر به جذب بیشتر این عنصر توسط گونه‌های زراعی نسبت به علف‌های هرز و در نتیجه تضعیف و کاهش قدرت رقابتی آن‌ها برای جذب نیتروژن می‌شود. در این سیستم‌های کشت به‌دلیل تعامل ریشه‌های گونه‌های مخلوط‌شونده، فعالیت ریشه‌ها و فعالیت میکروبی در رایزوسفر افزایش یافته (Zhang et al., 2013) و دسترسی به عناصر غذایی برای این گونه‌ها افزایش می‌یابد (Gunes et al., 2007). علاوه بر نیتروژن بررسی‌های متعددی نشان می‌دهد که در کشت مخلوط، کارایی استفاده از سایر منابع از جمله عناصر کم مصرف افزایش می‌یابد (Rowe et al., 2005; Awal et al., 2006). انال و همکاران (Inal et al., 2007) گزارش دادند که قابلیت جذب آهن، روی و منگنز در کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و بادم زمینی (*Arachis hypogaea* L.) نسبت به کشت خالص آن‌ها بهبود یافت. همچنین زو و همکاران (Zuo et al., 2000) نیز بیان کردند که برهمکنش ریشه‌های بادام زمینی و ذرت در رایزوسفر در کشت مخلوط منجر به بهبود جذب آهن توسط بادام زمینی می‌گردد و بنابراین افزایش جذب عناصر توسط گونه‌های زراعی در این سیستم‌های کشت منجر به کاهش دسترسی علف‌های هرز به منابع عذایی و در نتیجه تضعیف این گیاهان می‌گردد.

نیتروژن نیز می‌تواند بر جذب سایر عناصر تأثیر گذاشته و در مواردی باعث تشدید جذب آنها گردد(Alizadeh et al., 2008). در مطالعه‌ای شی و همکاران (Shi et al., 2010) اثرات بلند مدت کاربرد سطوح مختلف نیتروژن (۰، ۱۳۰ و ۳۰۰ کیلوگرم درهکتار) را بر غلظت و جذب عناصر کم مصرف (آهن، روی، مس و منگنز) و توزیع این عناصر در بخش‌های مختلف دانه گندم بررسی و عنوان داشتند که کاربرد کود نیتروژن محتوای آهن، روی و مس دانه گندم را افزایش داد ولی بر غلظت منگنز دانه گندم اثر معنی‌داری نداشت. تجمع عناصر کم مصرف در گیاهان، از فرآیندهای متعددی شامل جذب عناصر از خاک به ریشه، از ریشه به ساقه و انتقال مجدد از قسمت‌های رویشی به سمت دانه شامل می‌شود که در تمام این مراحل کلات‌ها و انتقال‌دهنده‌های آنزیمی نقش مهمی دارند که به‌وسیله نیتروژن اثر می‌پذیرند (Von Wiren et al., 1999; Khamadi et al., 2014).

با توجه به سودمندی کشت مخلوط در کاهش رشد علف‌های هرز، از آن به عنوان ابزاری سودمند جهت افزایش عملکرد یک یا تمام گونه‌های همراه (Baumann et al., & Melander, 2003; Hatcher 2000) و بهره‌برداری بیشتر از منابع زیست محیطی موجود، در مقایسه با بوم نظام‌های زراعی تک‌کشتی، استفاده می‌شود Park et al., 2002). مزایایی که این سیستم کشت برای کشاورزان ایجاد می کند، توجه به ویژگی‌های اکولوژیک رقابت ایجاد شده، به‌ویژه در سیستم‌های مخلوط ردیفی را ضروری می‌سازد. لذا عوامل مؤثر در رقابت به گونه‌ای باید کنترل و مدیریت شوند که سبب تداخل بیش از حد درآشیان اکولوژیک گونه‌های مجاور نشده و مانع از ورود دو گیاه در رقابت شدید برای جذب منابع شوند. بطور کلی، استفاده از کشت مخلوط موجب می‌شود که گونه‌های مختلف با دارا بودن خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک ویژه بتوانند بهره‌برداری بهتری از محیط و منابع محیطی به‌عمل آورند (Zare Feizabadi & Emamverdian, 2012).

در مدیریت اکولوژیک سیستم‌های زراعی کاهش جمعیت علف‌های هرز با دستکاری در روابط رقابتی و بدون کاربرد علف‌کش‌ها و هم چنین کاهش عناصر غذایی قابل دسترس برای علف‌های هرز از طریق مدیریت عناصر غذایی بویژه نیتروژن و در نهایت افزایش عملکرد گیاهان زراعی بسیار حائز اهمیت می‌باشند. با توجه به اینکه مطالعات محدودی در زمینه تأثیر سیستم‌های کشت مخلوط غلات و میزان کود نیتروژن بر محتوای عناصر غذایی اندام هوایی علف‌های هرز انجام شده است، این تحقیق به منظور آگاهی بیشتر از محتوای نیتروژن و عناصر کم مصرف (شامل آهن، روی، مس و منگنز) اندام هوایی علف‌های هرز تحت تأثیر توام سیستم‌های مختلف کشت مخلوط غلات و کاربرد کود نیتروژن انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب (عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و۴۷ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی، ارتفاع ۱۱۰۷ متر از سطح دریا، متوسط دمای سالانه ۲۳ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی ۲۷۰ میلی‌متر در سال)، دانشگاه شیراز و در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش شامل: بافت خاک لومی، pH=7/64، هدایت الکتریکی ۱/۵۹ دسی‌زیمنس بر متر، کربن آلی ۰/۰۴ درصد، نیتروژن ۰/۱۲ درصد، فسفر ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، پتاسیم ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، آهن ۷/۳ میلی‌گرم بر

کیلوگرم، منگنز ۱/۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم، روی ۱/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و مس ۱/۶۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد.

این مطالعه به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه‌طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل پنج نسبت متفاوت کشت مخلوط ردیفی "گندم: تریتیکاله" شامل تک‌کشتی گندم (W_{100})، ۷۵ درصد گندم: ۲۵ درصد تریتیکاله ($W_{75}T_{25}$)، ۵۰ درصد گندم: ۵۰ درصد تریتیکاله ($W_{50}T_{50}$)، ۲۵ درصد گندم: ۷۵ درصد تریتیکاله ($W_{25}T_{75}$) و تک‌کشتی تریتیکاله (T_{100})، چهار نسبت متفاوت کشت مخلوط ردیفی "جو: تریتیکاله" شامل تک‌کشتی جو (B_{100})، ۷۵ درصد جو: ۲۵ درصد تریتیکاله ($B_{75}T_{25}$)، ۵۰ درصد جو: ۵۰ درصد تریتیکاله ($B_{50}T_{50}$)، ۲۵ درصد جو: ۷۵ درصد تریتیکاله ($B_{25}T_{75}$) و همچنین دو سطح کود نیتروژن شامل: ۱۰۰ (N_1) و ۲۰۰ (N_2) کیلوگرم در هکتار از منبع کود اوره معمولی (۴۶ درصد) بودند. گندم رقم چمران، جو رقم یوسف و تریتیکاله ET۸۳-۱۸ مورد استفاده قرار گرفتند.

ابعاد هر کرت آزمایشی ۲×۲ متر، فاصله بین آن‌ها نیم متر، فاصله بین بلوک‌ها یک متر بودند. بذور با تراکم کاشت ۴۰۰ بوته در متر مربع ودر هر کرت آزمایشی ۱۰ ردیف با فاصله ۲۰ سانتی‌متر از هم کشت شدند. کاشت به صورت دستی در تاریخ ۹ آذر ۱۳۹۲ صورت گرفت. آبیاری کرت‌ها بلافاصله بعد از کاشت و دور آبیاری تا زمان استقرار گیاهچه‌ها شش روز یکبار و بعد از آن براساس نیاز رطوبتی خاک انجام شد. کوددهی در سه مرحله هم زمان با کاشت، مرحله ساقه رفتن و مرحله ظهور سنبله و هر مرحله به میزان یک سوم از سطوح مورد نظر در اختیار گیاه زراعی قرار گرفت. علف‌های هرز در تمام کرت‌های آزمایشی بدون آنکه کنترلی انجام شود به‌صورت طبیعی رشد کردند. گونه‌های علف هرز غالب مزرعه شامل چچم (*Lolium temulentum* L.)، یولاف وحشی (*Avena fatua* L.) و گل گندم (*Centaurea depressa* M. Bieberstein) بودند.

برای نمونه‌برداری از علف‌های هرز و گیاهان زراعی یک کادر یک متر مربعی به طور تصادفی در هر کرت آزمایشی قرار داده شد و علف‌های هرز داخل آن یک هفته قبل از برداشت گیاهان زراعی در ۱۲ اردیبهشت ماه برداشت شدند. گیاهان زراعی به صورت دستی همزمان با یکدیگر برداشت شدند. این نمونه‌ها جهت خشک کردن به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری نیتروژن و عناصر کم مصرف (آهن، روی، منگنز و مس) از هر کرت آزمایشی یک نمونه یک گرمی از بافت اندام‌های خشک شده علف هرز مورد استفاده قرار گرفت. برای اندازه گیری نیتروژن با استفاده از روش کجلدال (Tedesco et al., 1995) و از دستگاه kjelflex, k-360 و برای اندازه‌گیری عناصر کم مصرف از دستگاه جذب اتمی (PG-990) به‌روش لیندسی و نورول (Lindsay & Norvell, 1978) استفاده شد. آنالیز داده‌ها و ترسیم نمودارها با نرم‌افزار MSTATC ver. 2.1(1991) و Excel (2013) انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

محتوای نیتروژن اندام هوایی علف‌های هرز

سیستم‌های کشت مخلوط غلات و همچنین اثر متقابل سیستم-های کشت و سطوح کود نیتروژن، محتوای نیتروژن اندام هوایی علف‌های هرز را به طور معنی‌داری ($P\leq 0.01$) تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۱). بیشترین محتوای نیتروژن اندام هوایی علف‌های هرز (۱/۵۴ درصد) به تیمار تک‌کشتی گندم و سطح کود نیتروژن ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار تعلق داشت و کمترین (۰/۰۷ درصد) آن نیز در تک‌کشتی تریتیکاله و سطح کودی ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۲). این نتایج حاکی از توانایی بالاتر تریتیکاله نسبت به گندم در سرکوب علف‌های هرز و کاهش دسترسی آن‌ها به نیتروژن در سطح کودی بالاتر (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) است. در تیمار $W_{50}T_{50}$ با افزایش میزان نیتروژن از ۱۰۰ به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، محتوای نیتروژن اندام هوایی علف‌های هرز کاهش یافت که نشان-دهنده جذب بهتر نیترون در این سیستم کشت مخلوط نسبت به علف‌های هرز است. در این کشت مخلوط کمترین محتوای نیتروژن در اندام هوایی علف‌های هرز در تیمار $W_{25}T_{75}$ و سطح کود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (۰/۶۴ درصد) بدست آمد (جدول ۲). در مخلوط جو: تریتیکاله نیز بیشترین محتوای این عنصر (۱/۲۵ درصد) در اندام هوایی علف‌های هرز در تیمار $B_{75}T_{25}$ و سطح کود ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بدست آمد (جدول ۲). با افزایش میزان نیتروژن محتوای آن در اندام هوایی علف‌های هرز در این سیستم کشت مخلوط نیز کاهش یافت. کمترین نیز در تیمار $B_{50}T_{50}$ و سطح کود ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تک‌کشتی جو در سطح کود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نداشت (جدول ۲). در واقع در بیشتر تیمارهای کشت مخلوط و تک‌کشتی جو و تریتیکاله با افزایش میزان نیتروژن به واسطه سرکوب بیشتر علف‌های هرز و همچنین تولید زیست توده بالاتر در این گیاهان (داده‌ها نشان داده نشد) محتوای نیتروژن در اندام‌های هوایی علف‌های هرز کاهش یافت و آن را به گیاه زراعی اختصاص دادند. توانایی پنجه زنی بیشتر در جو و همینطور سیستم ریشه‌ای متراکم‌تر آن (Karadag, 2004) و از سوی دیگر، توانایی تولید زیست‌توده بیشتر و قدرت رقابت بالاتر تریتیکاله در مقابل علف‌های هرز نسبت به گندم، و همچنین ارتفاع بلندتر این دوگیاه (داده‌ها نشان داده نشده‌اند) و سرعت بسته شدن سریعتر کانوپی در آن‌ها (Lamei harvani, 2012) منجر به برتری آنها

نسبت به علف‌های هرز در مقایسه با تک‌کشتی گندم و استفاده بهتر از کود نیتروژن شد. یدالهی و همکاران (Yadollahi et al., 2015) نیز در کشت مخلوط یولاف و گندم یکی از دلیل موفقیت یولاف را در مقابل علف‌های هرز ارتفاع بالاتر این گیاه نسبت به گندم بیان کردند. با این آگاهی، افزایش سهم تریتیکاله در مخلوط‌های گندم: تریتیکاله می‌تواند دلیلی برای کاهش محتوای نیتروژن اندام هوایی علف‌های هرز در این آزمایش باشد. کوره- هلو و همکاران (Corre-Hellou et al., 2011) نیز گزارش دادند که با افزایش میزان نیتروژن، محتوای این عنصر در اندام هوایی علف‌های هرز در کشت مخلوط جو و نخود و تک‌کشتی جو نسبت به تک‌کشتی نخود، به میزان بیشتری کاهش یافت. بطور کلی میزان نیتروژن در اندام هوایی علف‌های هرز در مخلوط‌های جو: تریتیکاله کمتر از گندم: تریتیکاله بود که توانایی بالاتر جو و تریتیکاله در کاهش جذب این عنصر در علف‌های هرز و افزایش آن به نفع گیاه زراعی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر سیستم‌های مختلف کشت مخلوط غلات و سطوح کود نیتروژن بر محتوای نیتروژن و عناصر کم مصرف اندام هوایی علف‌های هرز و عملکرد دانه

Table1- Analysis of variance for the effect of different cereals intercropping systems and nitrogen fertilizer levels on nitrogen and micro nutrients content of weeds shoot and grain yield

منبع تغییرات S. O. V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of Squares					
		محتوای نیتروژن اندام هوایی علف‌های هرز Weeds shoot nitrogen content	عملکرد دانه Grain yield	محتوای عناصر کم مصرف اندام هوایی علف‌های هرز Micro- nutrients content of weeds shoot			
				آهن Fe	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn
بلوک Block	2	0.00 ns	2.093**	6527.60**	69.60**	282.22**	1351.71**
سیستم‌های کشت مخلوط Intercropping system	8	0.61**	5.68**	18972.20**	25.08**	15.21**	243.38**
سطوح کود نیتروژن Nitrogen fertilizer levels	1	0.08 ns	0.13 ns	1692.32 ns	97.28**	12.26**	134.77*
سیستم‌های کشت مخلوط × سطوح نیتروژن Intercropping system× Nitrogen levels	8	0.48**	2.04**	12899.08**	5.61ns	6.33**	88.41**
خطا error	34	0.02	0.18	990.91	8.64	0.63	26.75
ضریب تغییرات Coefficient of Variation (%)	_	19.71	9.25	11.87	14.91	9.49	11.37

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: Non-significant and significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively.

جدول ۲-اثر متقابل سیستم‌های کشت مخلوط غلات و سطوح کود نیتروژن بر محتوای نیتروژن (٪) اندام هوایی علف‌های هرز
Table 2- Interaction of different cereals intercropping systems and nitrogen fertilizer levels on nitrogen content of weeds shoot (%)

سطوح کود نیتروژن Nitrogen fertilizer levels (kg. ha^{-1})	سیستم‌های کشت مخلوط Intercropping system								
	W_{100}	$W_{75}T_{25}$	$W_{50}T_{50}$	$W_{25}T_{75}$	T_{100}	B_{100}	$B_{75}T_{25}$	$B_{50}T_{50}$	$B_{25}T_{75}$
N_1 (100)	1.22^{b*}	0.69^{cd}	1.23^{b}	0.66^{cd}	0.84^{cd}	0.87^{c}	1.25^{b}	0.22^{e}	0.31^{e}
N_2 (200)	1.54^{a}	1.35^{ab}	0.68^{cd}	0.64^{cd}	0.07^{e}	0.31^{e}	0.58^{d}	0.61^{cd}	0.81^{cd}

*میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

*Means with similar letters are not significantly different at 5% of probability based on Duncan's test

W_{100} : تک‌کشتی گندم، T_{100}: تک‌کشتی تریتیکاله، $W_{75}T_{25}$: ۷۵ درصدگندم : ۲۵ درصد تریتیکاله، $W_{50}T_{50}$: ۵۰ درصدگندم : ۵۰ درصد تریتیکاله، $W_{25}T_{75}$: ۲۵ درصد گندم : ۷۵ درصد تریتیکاله، B_{100} :تک‌کشتی جو، $B_{75}T_{25}$: ۷۵ درصد جو : ۲۵ درصد تریتیکاله، $B_{50}T_{50}$: ۵۰ درصد جو : ۵۰ درصد تریتیکاله و$B_{25}T_{75}$:۲۵ درصد جو: ۷۵ درصد تریتیکاله.

W100: Monoculture of wheat, T100: Monoculture of triticale, $W_{75}T_{25}$, $W_{50}T_{50}$ and $W_{25}T_{75}$: Intercropping of wheat and triticale at ratios of 75%: 25%, 50%: 50% and 25%: 75% respectively, B_{100}: Monoculture of barley, $B_{75}T_{25}$, $B_{50}T_{50}$ and $B_{25}T_{75}$ Intercropping of barley and triticale at ratios of 75%: 25%, 50%: 50% and 25%: 75% respectively.

محتوای عناصر کم مصرف اندام هوایی علف‌های هرز

سیستم‌های کشت مخلوط و اثر متقابل آن با سطوح کود نیتروژن بر محتوای عنصر آهن اندام هوایی علف‌های هرز اثر معنی‌داری ($P\leq0.01$) داشتند (جدول ۱). بیشترین محتوای آهن در اندام هوایی علف‌های هرز در تیمار تک‌کشتی گندم و سطح کود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (۳۶۵/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین محتوای این عنصر در مخلوط گندم: تریتیکاله در تیمار $W_{25}T_{75}$ و سطح کود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (۱۵۶/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بدست آمد. در کشت مخلوط جو: تریتیکاله نیز کمترین محتوای آهن در اندام هوایی علف‌های هرز در تیمار $B_{50}T_{50}$ و سطح کود ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۱۸۱/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد (جدول ۳). اثر متقابل دو فاکتور مورد مطالعه بر محتوای منگنز اندام هوایی علف‌های هرز در سطح پنج درصد معنی‌دار ($P\leq0.05$) بود (جدول ۱). بیشترین میزان این عنصر در اندام هوایی علف‌های هرز در این آزمایش به تیمار تک‌کشتی گندم و سطح کود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (۶۰/۶۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. در کشت‌های مخلوط گندم: تریتیکاله و جو: تریتیکاله نیز کمترین محتوای این عنصر در اندام هوایی علف‌های هرز به ترتیب در تیمارهای $W_{25}T_{75}$ و $B_{50}T_{50}$ و سطح کود نیتروژن ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (به ترتیب۳۴/۴۶ و ۳۳/۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بدست آمد (جدول ۳). محتوای این عناصر به میزان قابل توجهی در بیشتر سیستم‌های کشت مخلوط کمتر از تک‌کشتی‌ها بود. کاهش محتوای عناصر کم مصرف در اندام هوایی علف‌های هرز در سیستم‌های مخلوط مربوط به تراکم بالای ریشه‌ها در این سیستم‌ها نسبت به تک‌کشتی‌ها و احتمالا درصد جذب بیشتر این عناصر توسط گیاهان زراعی در سیستم‌های مخلوط و در نتیجه کاهش دسترسی علف‌های هرز به این عناصر بود. روابط متقابل بین گیاهان در سیستم‌های کشت مخلوط می‌تواند حرکت و دسترسی عناصر را در ریزوسفر و در نتیجه جذب آن‌ها را به وسیله گیاهان تحت تأثیر قرار دهد (Wasaki et al., 2003)

اثرات اصلی سیستم‌های کشت و سطوح کود نیتروژن محتوای عنصر روی را در اندام هوایی علف‌های هرز بطور معنی‌داری ($P\leq0.01$) تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۱). بیشترین محتوای روی در اندام هوایی علف‌های هرز در تک‌کشتی گندم به میزان ۲۲/۸۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بدست آمد. همچنین کمترین محتوای این عنصر در مخلوط گندم: تریتیکاله در تیمار $W_{25}T_{75}$ (۱۸/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. بطور کلی در این آزمایش کمترین میزان جذب روی توسط علف‌های هرز به تک‌کشتی جو (۱۵/۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) تعلق داشت که این تیمار توانست تقریباً به میزان ۳۰ درصد محتوای این عنصر را در مقایسه با سایر تیمارها کاهش دهد و بعد از آن کمترین محتوای این عنصر در علف‌های هرز به تیمار $B_{50}T_{50}$ تعلق داشت (شکل ۱). توانایی جذب عناصر توسط علف‌های هرز به گونه‌های علف‌های هرز و گیاهان زراعی موجود در مزرعه وابسته است (Głowacka, 2012). در این آزمایش چچم، یولاف وحشی و گل گندم در مزرعه تراکم بیشتری را نسبت به دیگر گونه‌های علف‌های هرز به خود اختصاص دادند و این احتمالا می‌تواند دلیلی برای محتوای بیشتر عناصر کم مصرف در اندام هوایی علف‌های هرز در تک‌کشتی باشد. مکوندی و همکاران (Makvandi et al., 2006) در آزمایشی نشان دادند که علف‌هرز چچم نسبت به گندم توانایی بالاتری در جذب عناصر کم مصرف و افزایش زیست توده دارد. نتایج تحقیق بربیسایوا و مالیسکی (Berbeciowa & Malicki, 1986) نشان داد که علف هرز سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.) در جذب روی نسبت به گندم زمستانه موفق‌تر بود، اما چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) و

کلزای بهاره (*Brassica napus* L.) توانایی بالاتری در جذب این عنصر نسبت به سلمه‌تره داشتند.

جدول ۳- اثر متقابل سیستم‌های کشت مخلوط غلات و سطوح کود نیتروژن بر محتوای آهن، مس و منگنز اندام هوایی علف‌های هرز (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

Table 3- Interaction of cereals intercropping systems and nitrogen fertilizer levels on iron, copper and manganese content of weeds shoot (mg.kg^{-1})

سیستم‌های کشت مخلوط Intercropping systems	محتوای عناصر کم مصرف اندام هوایی علف هرز Micro- nutrients content of weeds shoot (mg.kg^{-1})					
	آهن Fe		مس Cu		منگنز Mn	
	N_1	N_2	N_1	N_2	N_1	N_2
W_{100}	291.0^{bc*}	367.6^{a}	15.95^{a}	10.99^{b}	55.22^{ab}	60.68^{a}
$W_{75}T_{25}$	232.6^{de}	351.7^{a}	10.19^{bcd}	9.27^{b-e}	45.60^{b-e}	51.75^{abc}
$W_{50}T_{50}$	225.0^{de}	174.1^{ef}	10.79^{bc}	9.58^{b-e}	45.02^{cde}	39.50^{ef}
$W_{25}T_{75}$	211.5def	156.5^{f}	8.94^{de}	9.06^{cde}	40.16^{ef}	34.46^{f}
T_{100}	353.8^{a}	254.5^{cd}	9.41$^{b- e}$	10.18^{bcd}	50.22^{bcd}	47.16^{b-e}
B_{100}	352.4^{a}	291.8^{bc}	9.56^{b-e}	10.95^{b}	52.86^{abc}	45.95^{b-e}
$B_{75}T_{25}$	343.2^{ab}	327.9^{ab}	9.63^{b-e}	8.69^{de}	51.42^{abc}	47.25^{b-e}
$B_{50}T_{50}$	217.8^{de}	181.3^{ef}	6.46^{f}	8.13^{e}	39.53^{ef}	33.55^{f}
$B_{25}T_{75}$	191.3^{ef}	251.1^{cd}	10.16^{bcd}	8.21^{e}	40.85^{def}	37.64^{ef}

*میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر عنصر و فاکتور نیتروژن در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

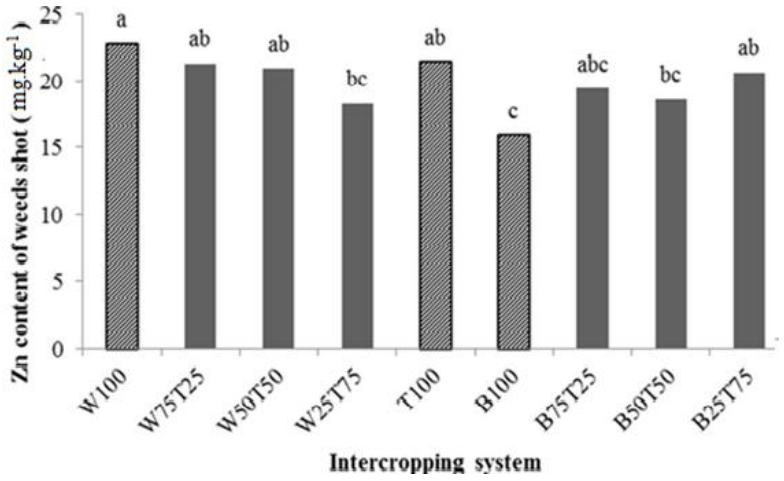
*Means with similar letters for each element and nitrogen are not significantly different at 5% of probability based on Duncan's test

W_{100}: تک‌کشتی گندم، T_{100}: تک‌کشتی تریتیکاله، $W_{75}T_{25}$: ۷۵ درصدگندم : ۲۵ درصد تریتیکاله، $W_{50}T_{50}$: ۵۰ درصدگندم : ۵۰ درصد تریتیکاله، $W_{25}T_{75}$: ۲۵ درصد گندم : ۷۵ درصد تریتیکاله، B_{100} :تک‌کشتی جو، $B_{75}T_{25}$: ۷۵ درصد جو: ۲۵ درصد تریتیکاله، $B_{50}T_{50}$: ۵۰ درصد جو: ۵۰ درصد تریتیکاله و$B_{25}T_{75}$:۲۵ درصد جو: ۷۵ درصد تریتیکاله. N_1 و N_2: به ترتیب ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار.

W_{100}: Monoculture of wheat, T_{100}: Monoculture of triticale, $W_{75}T_{25}$, $W_{50}T_{50}$ and $W_{25}T_{75}$: Intercropping between wheat and triticale at ratio of 75%: 25%, 50%: 50% and 25%: 75% respectively, B_{100}: Monoculture of barley, $B_{75}T_{25}$, $B_{50}T_{50}$ and $B_{25}T_{75}$ Intercropping between barley and triticale at ratio of 75%: 25%, 50%: 50% and 25%: 75% respectively. N_1 and N_2: Nitrogen levels: 100 and 200 kg.ha^{-1}, respectively.

نادری و همکاران (Soleymanpoor et al., 2016) نیز در آزمایشی گزارش دادند که محتوای عنصر روی در اندام هوایی علف‌های هرز در تک‌کشتی جو کمتر از کشت مخلوط آن با نخود بود. افزایش میزان کود نیتروژن از ۱۰۰ به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، منجر به افزایش محتوای عنصر روی در اندام هوایی علف‌های هرز به میزان ۲۱/۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم و افزایش ۱۴/۶۰ درصدی نسبت به سطح کود ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار گردید (شکل ۲). استال و همکاران (Staal et al., 1991) معتقدند که یکی از اثرات افزایش نیتروژن افزایش جذب کاتیون‌ها می‌باشد. بنابراین جذب نیتروژن توسط گیاهان یک افزایش نسبی در محتوای عناصر غذایی دیگر در گیاهان بوجود می‌آورد. از اثرات اصلی نیتروژن می‌توان به افزایش فعالیت متابولیک گیاه، تسریع اغلب فرایندها و تغییر جذب عناصر توسط گیاه اشاره نمود (Alizadeh et al., 2008). خمدی و همکاران (Khamadi et al., 2014) بیان کردند که افزایش میزان نیتروژن منجر به کاهش pH محیط اطراف ریشه و در نتیجه باعث افزایش جذب و حلالیت عناصر میکرو می‌شود و از سوی دیگر افزایش تشکیل پروتئین بعد از افزودن کود نیتروژن می‌تواند منجر به نگهداری روی در ریشه‌ها به صورت کمپلکس روی–پروتئین و انتقال آن به گیاه شود. همچنین برخی از پژوهشگران افزایش همزمان روی و نیتروژن را در برگ نشان از جذب توام این دو عنصر و حاکی از انتقال همزمان آن‌ها به بخش‌های هوایی گیاه عنوان داشتند (Khamadi et al., 2014). علیزاده و همکاران (Alizadeh et al., 2008) در بررسی کاربرد سطوح مختلف کود نیتروژن بر جذب عناصر کم مصرف در گیاه ذرت مشاهده کردند که افزایش میزان نیتروژن منجر به افزایش منگنز در شاخساره ذرت گردید. همچنین این نتایج با یافته‌های مناسک و همکاران (Manasek et al., 2013)، هائو و همکاران (Hao et al., 2007) و خامدی و همکاران (Khamadi et al., 2014) همخوانی دارد. در کشت‌های مخلوط با کاهش دسترسی علف‌های هرز به کود نیتروژن منجر به کاهش غلظت آهن و منگنز در اندام هوایی علف‌های هرز گردید (جدول ۳). اثر سیستم‌های کشت، سطوح کود نیتروژن و اثر متقابل این دو فاکتور بر محتوای مس در اندام هوایی علف‌های هرز معنی‌دار ($P\leq0.01$) بود (جدول ۱). بیشترین محتوای مس در اندام هوایی علف‌های هرز به تیمار تک‌کشتی گندم و سطح کود ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۱۵/۹۵

میلی‌گرم بر کیلوگرم) تعلق داشت. در کشت‌های مخلوط گندم: تریتیکاله و جو: تریتیکاله کمترین محتوای این عنصر در اندام هوایی علف‌های هرز به ترتیب در تیمارهای $W_{25}T_{75}$ و $B_{50}T_{50}$ و سطح کود ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (به ترتیب ۸/۹۴ و ۶/۴۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بدست آمد (جدول ۳). در تیمار تک‌کشتی گندم با افزایش میزان کود نیتروژن، محتوای عنصر مس در اندام هوایی علف‌های هرز کاهش یافت. کاهش غلظت مس در سطح نیتروژن بالاتر ممکن است به این دلیل باشد که افزایش میزان رشد در نتیجه مصرف بیشتر نیتروژن در اندام هوایی علف هرزو یا جذب بیشتر سایر عناصر در مقایسه با مس در سطح کود بیشتر منجر به رقیق شدن این عنصر در گیاه شود (Khamadi et al., 2014). به طور کلی، میزان جذب عناصر کم مصرف به‌وسیله علف‌های هرز در این مطالعه به صورت آهن> منگنز> روی> مس بود که با نتایج تحقیق نادری و همکاران (Soleymanpoor et al., 2016) در بررسی میزان جذب عناصر کم مصرف توسط علف‌های هرز در کشت‌های مخلوط غلات: لگوم‌ها و مطالعه سالم و ال-گیزاوی و همکاران (Salem & El-Gizawy, 2012) در بررسی اهمیت عناصر کم مصرف در ذرت و همچنین یافته‌های هائو و همکاران (Hao et al., 2007) مطابقت داشت. در تیمارهای کشت مخلوط با کاهش دسترس علف‌های هرز به کود نیتروژن و کاهش جذب سایر عناصر، غلظت مس در اندام هوایی علف‌های هرز افزایش یافت.



شکل ۱- اثر سیستم‌های کشت مخلوط غلات بر محتوای روی اندام هوایی علف‌های هرز

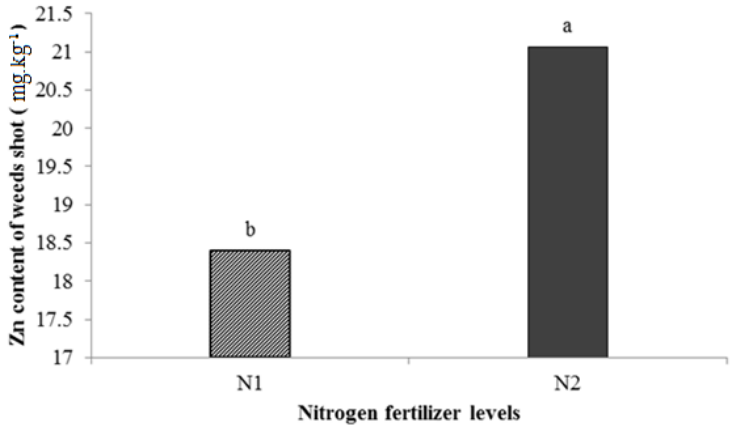
Fig. 1- Effect of cereals intercropping systems on Zn content of weeds shoot

ستون‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Columns with similar letters are not significantly different at 5% of probability based on Duncan's test

W_{100}: تک‌کشتی گندم، T_{100}: تک‌کشتی تریتیکاله، $W_{75}T_{25}$: ۷۵ درصدگندم : ۲۵ درصد تریتیکاله، $W_{50}T_{50}$: ۵۰ درصدگندم : ۵۰ درصد تریتیکاله، $W_{25}T_{75}$: ۲۵ درصد گندم : ۷۵ درصد تریتیکاله، B_{100} :تک‌کشتی جو، $B_{75}T_{25}$: ۷۵ درصد جو : ۲۵ درصد تریتیکاله، $B_{50}T_{50}$: ۵۰ درصد جو : ۵۰ درصد تریتیکاله و$B_{25}T_{75}$:۲۵ درصد جو: ۷۵ درصد تریتیکاله.

W_{100}: Monoculture of wheat, T_{100}: Monoculture of triticale, $W_{75}T_{25}$, $W_{50}T_{50}$ and $W_{25}T_{75}$: Intercropping of wheat and triticale at ratios of 75%: 25%, 50%: 50% and 25%: 75% respectively, B_{100}: monoculture of barley, $B_{75}T_{25}$, $B_{50}T_{50}$ and $B_{25}T_{75}$: Intercropping of barley and triticale at ratios of 75%: 25%, 50%: 50% and 25%: 75% respectively.



شکل ۲- اثر سطوح کود نیتروژن بر محتوای روی اندام هوایی علف‌های هرز

Fig. 2- Effect of nitrogen fertilizer levels on Zn content of weeds shoot

N_1 و N_2: به ترتیب ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار

N_1 and N_2: Nitrogen levels: 100 and 200 $kg.ha^{-1}$, respectively.

عملکرد دانه گیاه زراعی

سیستم‌های کشت مخلوط و اثر متقابل آن با سطوح کود نیتروژن بطور معنی‌داری ($P\leq0.01$) عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۱). سیستم تک‌کشتی گندم در سطح کود نیتروژن ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار دارای کمترین عملکرد دانه (۳/۰۴ تن در هکتار) بود. در این تیمار، علف‌های هرز بیشترین محتوای نیتروژن را داشتند (جدول ۲). همچنین محتوای عناصر کم مصرف اندام هوایی علف-های هرز در تک‌کشتی گندم بیشتر از کشت‌های مخلوط بود. در واقع علف‌های هرز با کسب منابع بیشتر در این تیمار موجب کاهش عملکرد دانه گیاه زراعی شدند. در کشت مخلوط گندم: تریتیکاله در تیمار $W_{50}T_{50}$، افزایش میزان نیتروژن منجر به افزایش عملکرد دانه (۴/۱۳ تن در هکتار) گردید (جدول ۴) که نشان‌دهنده استفاده بیشتر گیاهان زراعی از منابع در این تیمار کشت مخلوط است. در سیستم-های کشت مخلوط جو: تریتیکاله در تمام تیمارهای کشت مخلوط با افزایش میزان نیتروژن عملکرد افزایش یافت که مزیت این سیستم کشت را در استفاده از منابع در مقابل علف‌های هرز نشان می‌دهد. بیشترین عملکرد دانه در این آزمایش متعلق به تیمار $B_{50}T_{50}$ و سطح کود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (۷/۲۶ تن در هکتار) بود. کمترین عملکرد دانه نیز مربوط به تک‌کشتی جو و سطح کود ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود، البته در این تیمار با افزایش میزان کود نیتروژن عملکرد گیاه افزایش یافت (جدول ۴)، که نشان می‌دهد جو دارای توانایی بالایی برای جذب عناصر است. بطور کلی جو و تریتیکاله در سطح کود بیشتر عملکرد بالاتری نسبت به گندم داشتند. جو به واسطه ریشک-های بلندتر و در نتیجه ظرفیت فتوسنتزی بالاتر و پنجه‌زنی بیشتر (Nour Mohamadi et al., 2010) دارای عملکرد بالاتری نسبت به تک‌کشتی گندم بود.

از سوی دیگر، سوتون و دابلده (Sutton & Dubbelde, 1980) یکی از دلایل موفقیت تریتیکاله را نسبت به گندم برای تولید عملکرد بیشتر، افزایش زیست توده این گیاه در مرحله گرده افشانی و رسیدگی دانستند و بیان داشتند که این گیاه با تولید زیست توده بالاتر منابع بیشتری را به خود اختصاص می‌دهد. استرادا-کامپوزانو و همکاران (Estrada-Campuzano et al., 2012) دلیل تولید زیست توده بالاتر در تریتیکاله را نسبت به گندم، راندمان مصرف بالاتر تشعشع بیان کردند که این راندمان بالاتر احتمالاً به دلیل ضریب استهلاک پایین‌تر نور در این گیاه و در نتیجه توزیع بهتر تشعشع در کانوپی می‌باشد (Muurinen & Peltonen-Sainio, 2006). علاوه براین، توانایی بالاتر تریتیکاله نسبت گندم در سرکوب علف‌های هرز به واسطه خصوصیات مرفولوژیک آن از جمله ارتفاع بلندتر و سیستم ریشه‌ای قوی‌تر و در پی آن کاهش منابع در دسترس علف‌های هرز، منجر به افزایش عملکرد این گیاه نسبت به گندم گردید. در کشت مخلوط جو: تریتیکاله حضور دو گیاه جو و تریتیکاله به میزان مساوی در این سیستم کشت به واسطه خصوصیات مرفولوژیک این دو گیاه از جمله ارتفاع متفاوت و در نتیجه افزایش استفاده از نور، قدرت پنجه-زنی بیشتر در جو، بسته شدن سریع کانوپی در این سیستم (Lamei Harvani, 2012) و در کل روابط مکملی جو و تریتیکاله، توانستند با سرکوب بیشتر علف‌های هرز منجر به جذب منابع بیشتر و افزایش عملکرد گردند. اسکندری و علیزاده امرایی (Eskandari & Alizade Amraie, 2016) گزارش دادند که در کشت مخلوط ذرت و لوبیا چشم بلبلی (*Vigna sinensis* L.) وزن خشک علف‌های هرز کاهش یافت و دو گیاه در مصرف منابع به‌طور مکمل عمل کردند که منجر به افزایش عملکرد آن‌ها گردید. احمدوند و حاجی‌نیا (Ahmadvand & Hajinia, 2016) نیز در بررسی کشت مخلوط جایگزینی سویا

(*Glycine max* L.) و ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.) بیان کردند که افزایش نسبت این دو گیاه در کشت مخلوط منجر به افزایش عملکرد آن‌ها می‌شود. رامیرز و گارسیا (Ramirez-Garcia et al., 2014) نیز در کشت مخلوط جو: ماش (*Vigna radiata* L.) بیشترین محتوای نیتروژن را در کشت مخلوط و سطح کود بالاتر نیتروژن مشاهده کردند، همچنین جو نسبت به ماشک محتوای نیتروژن بالاتری داشت. آبادیان و همکاران (Abadian et al., 2015) نیز بیشترین عملکرد ریحان را در کشت مخلوط آن با لوبیا چشم بلبلی و با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف کود نیتروژن) و مصرف ۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن گزارش کردند و اظهار داشتند که تمامی ترکیب‌های کشت مخلوط به‌دلیل کنترل علف‌های هرز عملکرد کل بیشتری نسبت به تک‌کشتی ریحان تولید کردند.

جدول ٤-اثر متقابل سیستم‌های کشت مخلوط غلات و سطوح کود نیتروژن بر عملکرد دانه (تن در هکتار)

Table 4- Interaction of cereals intercropping systems and nitrogen fertilizer levels on grain yield (t.ha^{-1})

سطوح کود نیتروژن Nitrogen fertilizer levels (kg. ha^{-1})	سیستم‌های کشت مخلوط Intercropping system								
	W_{100}	$W_{75}T_{25}$	$W_{50}T_{50}$	$W_{25}T_{75}$	T_{100}	B_{100}	$B_{75}T_{25}$	$B_{50}T_{50}$	$B_{25}T_{75}$
N_1 (100)	$4.11^{d\text{-}g*}$	5.06^{c}	$3.80^{e\text{-}i}$	6.13^{b}	4.48^{cde}	3.31^{hi}	3.54^{ghi}	6.17^{b}	$3.94^{e\text{-}h}$
N_2 (200)	3.04^{i}	$3.97^{e\text{-}h}$	$4.13^{d\text{-}g}$	4.81^{cd}	$3.67^{f\text{-}i}$	$4.42^{c\text{-}f}$	5.17^{c}	7.26^{a}	4.95^{c}

*میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

*Means with similar letters are not significantly different at 5% of probability based on Duncan's test

W_{100} : تک‌کشتی گندم، T_{100}: تک‌کشتی تریتیکاله، $W_{75}T_{25}$: ۷۵ درصدگندم : ۲۵ درصد تریتیکاله، $W_{50}T_{50}$: ۵۰ درصدگندم : ۵۰ درصد تریتیکاله، $W_{25}T75$: ۲۵ درصد گندم : ۷۵ درصد تریتیکاله، B_{100} :تک‌کشتی جو، $B_{75}T_{25}$: ۷۵ درصد جو : ۲۵ درصد تریتیکاله، $B_{50}T_{50}$: ۵۰ درصد جو : ۵۰ درصد تریتیکاله و$B25T_{75}$:۲۵ درصد جو: ۷۵ درصد تریتیکاله.

W_{100}: Monoculture of wheat, T_{100}: Monoculture of Triticale, $W_{75}T_{25}$, $W_{50}T_{50}$ and $W_{25}T_{75}$: Intercropping of wheat and triticale at ratios of 75%: 25%, 50%: 50% and 25%: 75% respectively, B_{100}: Monoculture of barley, $B_{75}T_{25}$, $B_{50}T_{50}$ and $B_{25}T_{75}$: Intercropping of barley and triticale at ratios of 75%: 25%, 50%: 50% and 25%: 75% respectively.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که محتوای نیتروژن و عناصر کم مصرف اندام هوایی علف‌های هرز و همین‌طور عملکرد دانه تحت تأثیر اثر متقابل سیستم‌های کشت مخلوط غلات و سطوح کود نیتروژن قرار گرفتند. بیشترین محتوای نیتروژن در اندام هوایی علف-های هرز مربوط به سیستم تک‌کشتی گندم و سطح کود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین از این نظر تک‌کشتی‌های جو و تریتیکاله برای کاهش جذب عناصر کم مصرف توسط علف های هرز موفق‌تر از تک‌کشتی گندم بودند. در تک‌کشتی گندم، محتوای نیتروژن علف‌های هرز با افزایش میزان کود نیتروژن از ۱۰۰ به ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت که نشان‌دهنده توانایی بیشتر علف-های هرز نسبت به گندم در جذب این عنصر است. اما در کشت‌های مخلوط با افزایش میزان نیتروژن محتوای این عنصر در اندام هوایی علف‌های هرز کاهش یافت که توانایی رقابتی بالاتر گیاه زراعی را در این سیستم‌های کشت در مقابل علف‌های هرز برای جذب نیتروژن نسبت به تک‌کشتی نشان می‌دهد. کمترین میزان این عنصر در کشت مخلوط گندم: تریتیکاله مربوط به تیمار $W_{25}T_{75}$ و در کشت جو: تریتیکاله مربوط به تک‌کشتی تریتیکاله با سطح کود ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار $B_{50}T_{50}$ نداشت. همچنین محتوای عناصر کم مصرف در اندام های‌هوایی علف‌های هرز به میزان قابل توجهی در بیشتر سیستم‌های کشت مخلوط کمتر از تک‌کشتی‌ها بود. در این مطالعه گونه‌های زراعی در سیستم‌های مخلوط احتمالا به واسطه توسعه ریشه‌هایشان در بخش وسیع‌تری از خاک، توانستند توانایی جذب عناصر را توسط علف‌های هرز محدود کنند و با مصرف بیشتر نیتروژن، محتوای عناصر کم مصرف آهن و منگنز را در اندام هوایی علف‌های هرز کاهش دادند. کمترین میزان این عناصر به تیمارهای $W_{25}T_{75}$ و $B_{50}T_{50}$ به ترتیب در مخلوط‌های گندم: تریتیکاله و جو: تریتیکاله با سطح کود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار تعلق داشت. همچنین کاهش غلظت این عناصر در سیستم‌های کشت مخلوط تحت تأثیر سطوح کود نیتروژن منجر به افزایش غلظت مس در اندام هوایی علف‌های هرز گردید و کمترین میزان این عنصر در کشت‌های مخلوط گندم: تریتیکاله و جو: تریتیکاله به ترتیب مربوط به تیمارهای $W_{25}T_{75}$ و $B_{50}T_{50}$ با سطح کود ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. کمترین میزان روی نیز به تیمار تک‌کشتی جو و $W_{25}T_{75}$ در مخلوط گندم: تریتیکاله تعلق داشت. همچنین افزایش میزان کود نیتروژن منجر به افزایش این عنصر گردید. عملکرد دانه غلات نیز تحت تأثیر اثر متقابل سیستم‌های کشت مخلوط و سطوح کود نیتروژن قرار گرفت. در مخلوط‌های گندم: تریتیکاله متوسط عملکرد

دانه نسبت به تک‌کشتی گندم بالاتر بود و کمترین عملکرد دانه به تیمار تک‌کشتی گندم و سطح کود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار تعلق داشت. همچنین بیشترین عملکرد دانه در این آزمایش مربوط به تیمار $B_{50}T_{50}$ و سطح کود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. اثر متقابل سیستم-های کشت و سطوح کود نیتروژن نشان داد که در کشت‌های مخلوط با افزایش میزان نیتروژن عملکرد دانه افزایش یافت، که نشان‌دهنده استفاده بیشتر از منابع در این سیستم‌های کشت نسبت به تک‌کشتی بود. بطور کلی نتایج این مطالعه حاکی از این است که می‌توان به وسیله کشت مخلوط غلات، میزان کود نیتروژن و سایر عناصر را برای علف‌های هرز کاهش داد و به عنوان یک روش مدیریتی اکولوژیک از آن برای کاهش جمعیت علف‌های هرز مورد استفاده قرار داد.

منابع

Abadian, H., Yarnia, M., Pirdashti, H.A., Abasi, R., and Farahvash, F. 2015. Effect of intercropping pattern and nitrogen fertilizer on basil (*Ocimum basiilicum* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) yield under weed competitive conditions. Journal of Crop Production 3: 1-18. (In Persian with English Summary)

Ahmadvand, G., and Hajinia, S. 2016. Ecological aspects of replacement intercropping patterns of soybean (*Glycine max* L.) and millet (*Panicum miliaceum* L.). Journal of Agroecology 4: 485-498. (In Persian with English Summary)

Alizadeh, A., Majidi, A., and Normohamadi, G. 2008. Effect drought stress and soil nitrogen on nutrient uptake in maize (704cv). Journal of research in Agricultural Science 4: 51- 59. (In Persian with English Summary)

Ariel, C.E., Eduardo, O.A., Benito, G.E., and Lidia, G. 2013. Effects of two plant arrangements in corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L. Merrill) intercropping on soil nitrogen and phosphorus status and growth of component crops at an Argentinean Argiudoll. American Journal of Agriculture and Forestry 2: 22-31.

Awal, M. A., Koshi, H., and Ikeda, T. 2006. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. Journal of Agricultural and Forest Meteorology 139: 74-83.

Baumann, D.T., Kropff, M.J., and Bastiaans, L. 2000. Intercropping leeks to suppress weeds. Journal of Weed Research 40: 359–374.

Corre-Hellou, G., Fustec, J., and Crozat, Y. 2006. Interspecific competition for soil N and its interactions with N_2 fixation, leaf expansion and crop growth in pea–barley intercrops. Journal of Plant and Soil 282:195–208.

Corre-Hellou, G., Dibet, A., Hauggaard-Nielsen, H., Crozat, Y., Gooding, M., Ambus, P., Dahlmann, C., von Fragstein, P., Pristeri, A., Monti, M., and Jensen, E.S. 2011.The competitive ability of pea–barley intercrops against weeds and the interactions with crop productivity and soil N availability. Journal of Field Crops Research 122: 264–272.

Eskandari, H., and Alizadeh-Amraie, A. 2016. Evaluation of growth and species composition of weeds in maize-cowpea intercropping based on additive series under organic farming condition. Journal of Agroecology 2: 227-240. (In Persian with English Summary)

Estrada-Campuzano, G., Slafer, G.A., and Miralles, D.J. 2012. Differences in yield, biomass and their components between triticale and wheat grown under contrasting water and nitrogen environments. Journal of Field Crops Research 128: 167–179.

Fallah, S., Baharlui, S., and Abasi Soraki, A. 2014. Evaluation of competitive and economic indices of canola (*Brassica napus* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) intercropping under different amounts of nitrogen fertilizer. Journal of Agroecology 3: 571-581. (In Persian with English Summary)

Głowacka, A. 2012. Content and uptake of micro elements (Cu, Zn, Mn, Fe) by maize (*Zea mays* L.) and accompanying weeds. Acta Agrobotanica 65: 179–188.

Gunes, A., Inal, A., Adak, M.S., Alpaslan, M., Bagci, E.G., Erol, T., and Pilbeam, D.J. 2007. Mineral nutrition of wheat, chickpea and lentil as affected by intercropped cropping and soil moisture. Journal of Nutrient Cycling in Agroecosystems 78: 83–96.

Hao, H., Wei, Y., Yang, X., Feng, Y., and Wu, C. 2007. Effects of different nitrogen fertilizer levels on Fe, Mn, Cu and Zn concentrations in shoot and grain quality in rice (*Oryza sativa*). Journal of Rice Science 14: 289–294.

Hatcher, P.E., and Melander, B. 2003. Combining physical, cultural and biological methods prospects for integrated non-chemical weed management strategies. Journal of Weed Research 43: 303-322.

Hauggaard-Nielsen, H., Ambus, P., and Jensen, E.S. 2001. Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea–barley intercropping. Journal of Field Crops Research 70: 101–109.

Inal, A., Gunes, A., Zhang, F., and Cakmak, I. 2007. Peanut/maize intercropping induced changes in rhizosphere andnutrient concentrations in shoots. Journal of Plant Physiology and Biochemistry 45: 350-356.

Karadag, Y., 2004. Forage yields, seed yields and botanical compositions of some legume-barely mixtures under rainfed condition in semi-arid regions of Turkey. Asian Journal of Plant Sciences 3: 295-299.

Khamadi, F., Mesgarbashi, M., Hasibi, P., Farzaneh, M., and Enayatzamir, N. 2014. Influence of crop residue and nitrogen levels on nutrient content in grain wheat. Journal of Agronomy (Pajouhesh and Sazandegi) 108: 158-166. (In Persian with English Summary)

Khan, M.I., and Shah, F. 2011. Effect of potassium nitrate and thiourea on seed germination of crops and weeds. In Tenth ACSS Conference on Crop production for improved African livelihoods and a better environment for future generations, Maputo, Eduardo-Mondlane University, Mozambique, 10 - 13 October 2011, p. 461–463.

Lamei Harvani, J. 2012. Technical and economical evaluation of lathyrus intercropping with barley and triticale in Zanjan Province dry condition. Journal of Crop Production and Processing 4: 9-102. (In Persian with English Summary)

Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for Zn, Fe, Mn, and Cu. American Journal of Soil Science Society 42: 421–428.

Makvandi, M.A., Latifian, M., and Soleymannejadian, A. 2007. Investigate the Competitive model of wheat and ryegrass in different nutritional conditions. Journal of New Findings in Agriculture 2: 175-188. (In Persian with English Summary)

Malicki, L., and Berbeciowa, C.Z. 1986. Uptake of more important mineral components by common field weeds on loess soil. Acta Agrobotanica 39: 129–141.

Manasek, J., Losak, T., Prokes, K., Hlusek, J., Vitezova, M., Skarpa, P., and Filipcik, R. 2013.Effect of nitrogen and potassium fertilization on micronutrient content in grain maize (*Zea mays* L.). Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis 1:123–128.

Mennan, H., and Zandstra, B.H. 2005. Effect of wheat (*Triticum aestivum*) cultivars and seeding rate on yield loss from *Galium aparine* (cleavers). Short communication. Journal of Crop Protection 24: 1061-1067.

Muurinen, S., and Peltonen-Sainio, P. 2006. Radiation-use efficiency of modern and old spring cereal cultivars and its response to nitrogen in northern growing conditions. Journal of Field Crops Research 96: 363–373.

Nabati Nasaz, M., Gholipouri, A., and Mostafavi Rad, M. 2016. Evaluation of forage yield and important agronomic indices of corn affected by intercropping systems with peanut and nitrogen rates. Journal of Agroecology 1: 70-81. (In Persian with English Summary)

Soleymanpoor, L., Naderi, R., and Najafi, M. 2016. Evaluation of metal micronutrients uptake in pure culture and intercropping of certain cereal with pea and faba bean under weeds management. Journal of Crop Improvement 4: 1017-1031. (In Persian)

Nour Mohamadi, G., Siadat, A., and Kashani, A. 2010. Cereal crops. Shahid Chamran University Publications, Ahwaz, Iran. 468 pp. (In Persian)

Park, S.E., Benjamin, L.R., and Watkinson, A.R. 2002. Comparing biological productivity in cropping system a competition approach. Journal of Applied Ecology 39: 416-426.

Ramirez-Garcia, J., Martens, H.J., Quemada, M., and Thorup-Kristensen, K. 2014. Intercropping effect on root growth and nitrogen uptake at different nitrogen levels. Journal of Plant Ecology 1–10. Access online at www.jpe.oxfordjournals.org (October 30).

Rowe, E.C., Noordwijk, M.V., Suprayogo, D., and Cadisch, G. 2005. Nitrogen use efficiency of monoculture and hedgerow intercropping in the humid tropics. Journal of Plant and Soil 268: 61-74.

Salem, H.M., and El-Gizawy, N.K.B. 2012. Importance of micronutrients and its application methods for improving maiz (*Zea mays* L.) yield grown in clay soil. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 12: 954-959.

Shi, R., Zhang, Y., Chen, X., Sun, Q., Zhang, F., Rcemheld, V., and Zou, C. 2010. Influence oflong-term nitrogen fertilization on micronutrient density in grain of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Cereal Science 51: 165–170.

Staal, M.F., Maatheusis, J.M., and Elzennga, T.M. 1991. Na^+/K^+ antiport activity in tonoplast vesicles from roots of the salt tolerant plantago maritina and the salt sensitive plantago media. Plant Physiology 82: 164-179.

Sutton, B.G., and Dubbelde, E.A. 1980. Effects of water deficit on yield of wheat and triticale. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry 20: 594–598.

Tedesco, M.J., Gianello, O.C., Bissani, C.A., Bohnen, H., and Volkweiss, S.J. 1995. Analysis of soil, plants and other materials. Porto Alegre: Soil Department, Federal University Rio Grande.

Traore, S., Mason, S.C., Martin, A. R., Mortensen, D.A., and Spotanski, J.J. 2003. Velvetleaf interference effects on yield and growth of grain sorghum. Journal of Agronomy 95: 1602-1607.

Von Wiren, N., Klair, S., Bansal, S., Briat, J.F., and Khord, H. 1999. Nicotianamine chelates both Fe III and Fe II implications for metal transport in plants. Journal of Plant Physiology 119: 1107-1114.

Wasaki, J., Yamamura, T., Shinano, T., and Osaki, M. 2003. Secreted acid phosphatase is expressed in cluster lupin in response to phosphorus deficiency. Journal of Plant and Soil 248: 129-136.

Wilson, J.B. 1988. Shoot competition and root competition. Journal of Applied Ecology 25: 279–296.

Yadollahi, P., Asgharipour, M.R., Ghanbari, A., and Galavi, M. 2015. The evaluation of light interception and weed control at wild oat (*Avena fatua*) - wheat (*Triticum aestivum*) intercropping. Journal of Crop Science Research in the Dry Areas 1:19-34. (In Persian with English Summary)

Younie, D., and Litterick, A. 2002. Crop protection in organic farming. Journal of Pest Outlook 13: 158–159.

Zare Feizabadi, A., and Emanverdian, A. 2012. Evaluation of wheat cultivars intercropping effect on agronomic properties and grain yield. Journal of Agroecology 2: 144-150. (In Persian with English Summary)

Zhang, X., Huang, G., Bian, X., and Zhao, Q. 2013. Effects of root interaction and nitrogen fertilization on the chlorophyll content, root activity, photosynthetic characteristics of intercropped soybean and microbial quantity in the rhizosphere. Journal of Plant, Soil and Environment 59: 80–88.

Zuo, Y., Zhang, F., Li, X., and Cao, Y. 2000. Studies on the improvement in iron nutrition of peanut by intercropping with maize on a calcareous soil. Journal of Plant and Soil 220: 13–25.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 171-184

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۸۴-۱۷۱

Effect of Cereals Intercropping Systems and Application of Nitrogen Fertilizer on Nitrogen and Micronutrients Content of Weeds Shoot and Grain Yield

F. Faramarzi[1], M.S. Taghizadeh[2*], A. Behpoori[2] and S. Afzali Harsini[1]

Submitted: 02-11-2016
Accepted: 01-08-2017

Faramarzi, F., Taghizadeh, M.S., Behpoori, A., and Afzali Harsini, S. 2019. Effect of cereals intercropping systems and application of nitrogen fertilizer on nitrogen and micronutrients content of weeds shoot and grain yield. Journal of Agroecology. 11(1):171-184.

Introduction

Weed management is a key issue in ecological management of agroecosystems, and weed control should be tackled primarily by altering the competitive balance between crop and weeds. This can be through measures such as the correct choice of rotation, the choice of crop species and cultivars with more competitive ability and precision nutrient management. The infestation of weeds may also be significantly reduced by crop species diversification in cropping systems. Therefore, intercropping system is one of the ways to diversity. It is likely that intercrops promote the use of the available resources by crops, thus, leaving less opportunity for the establishment and growth of weeds. In addition to cropping system components, the absorption of nutrients may be affected and in some cases be increased by nitrogen. Reduction of available nutrients to weeds is one of the ecological approaches for to weaken weeds and to increase crop yield. This experiment was conducted to investigate the effects of cereals intercropping systems and nitrogen levels on nitrogen and micro-nutrients (Fe, Zn, Cu and Mn) content of weeds shoot and crop grain yield.

Materials and Methods

This experiment was carried out at the Darab faculty of Agriculture and Natural Resources, Shiraz University, Iran during 2013-14 cropping season. Treatments were arranged in a factorial experiment based on randomized complete block design (RCBD) with three replicates. Treatments were five different sowing ratios of wheat: triticale consisted of 100: 0, 75: 25, 50: 50, 25: 75, 0: 100, four different sowing ratios of barley: triticale consisted of 100: 0, 75: 25, 50: 50, 25: 75 and two nitrogen levels (100 and 200 kg N ha^{-1}). Nitrogen and micro-nutrients (Fe, Zn, Cu and Mn) content of weeds shoot and grain yield were measured and compared statistically.

Results and Discussion

The lowest and the highest nitrogen content of weeds shoot was observed in the monoculture of triticale with 200 kg N ha^{-1} and in the monoculture of wheat with 200 kg N ha^{-1} respectively. The interaction of intercropping systems and nitrogen levels led to decrease of nitrogen content in weeds tissue. There were the lowest Fe and Mn content of weeds shoot in W50T50 and B50T5050 intercropping systems with 200 kg N ha^{-1}. The W25T75 and monoculture of barley (B100) showed the lowest Zn content for weeds shoot and increasing nitrogen fertilizer resulted in an increase in Zn content of weeds. The Cu content of weed shoot was higher in monocultures than that in intercropping systems. The lowest Cu content in weeds shoot was observed in W50T50 and B75T25 where 100 kg N ha^{-1} applied to the experimental plots. Furthermore, grain yield in wheat: triticale intercropping was greater than that in monoculture of

1- PhD student of Agronomy- College of Agricultural and Natural Resources, Tehran University,Tehran, Iran
2- Assistant professor of Agroecology- Darab Faculty of Agriculture and Natural Resources- Shiraz University, Shiraz, Iran
*-Corresponding author Email: mtaghizadehs@gmail.com
DOI:10.22067/jag.v11i1.60035

wheat. In this study, B50T50 cropping system with 200 kg N ha^{-1} showed the highest grain yield. Generally, grain yield of crops increased with rising nitrogen amount in intercropping systems.

Conclusion

The results of this study showed that nitrogen, Fe and Mn content of weeds shoot decreased where they grew in intercropping systems with the highest nitrogen fertilizer level. However, Cu content of weeds shoot decreased in intercropping systems and lower nitrogen fertilizer level. Furthermore, Zn content of weeds shoot decreased in intercropping systems and high amount of nitrogen fertilizer increased this micro-nutrient in weeds shoot. According to the results, crop grain yield increased significantly ($P \leq 0.01$) where a higher amount of nitrogen fertilizer applied to cereal intercropping systems. These findings have implications for ecological management of weeds in cropping systems and increasing crop yield through increasing cereal crop diversity and management of nitrogen and micro-nutrients (Fe, Zn, Cu and Mn).

Keywords: Copper, Iron, Manganese, Triticale, Wheat, Zinc

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۹۸-۱۸۵

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 185-198

تأثیر تنش خشکی و اسید هیومیک بر رشد، عملکرد و شکر تولیدی چغندرقند (*Beta vulgaris* L.)

امراله اسماعیلی[۱] و محمودرضا تدین[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۲۱

اسماعیلی، ا.، و تدین، م. ر. ۱۳۹۸. تأثیر تنش خشکی و اسید هیومیک بر رشد، عملکرد و شکر تولیدی چغندرقند (*Beta vulgaris* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱(۱) ۱۹۸-۱۸۵.

چکیده

با توجه به قرار گرفتن ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک جهان، توجه به اثرات تنش رطوبتی بر رشد گیاه چغندرقند ضروری به نظر می‌رسد. اسید هیومیک می‌تواند به‌طور مستقیم، اثرات مثبتی بر رشد گیاه بگذارد. رشد قسمت هوایی و ریشه گیاه چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) توسط اسید هیومیک تحریک می‌شود، ولی اثر آن روی ریشه، برجسته‌تر است، حجم ریشه را افزایش داده و باعث اثربخشی سیستم ریشه می‌گردد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه شهرکرد با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۰۵۰ متر از سطح دریا در سال ۱۳۹۴ انجام شد. تیمارها شامل چهار سطح مختلف تنش خشکی شامل حفظ رطوبت خاک در حد ۱۰۰ ٪ ظرفیت زراعی (بدون تنش)، حفظ رطوبت خاک در حد ۸۵ ٪ ظرفیت زراعی (تنش ملایم)، حفظ رطوبت خاک در حد ۷۰ ٪ ظرفیت زراعی (تنش متوسط) و حفظ رطوبت خاک در حد ۴۵ ٪ ظرفیت زراعی (تنش شدید) به‌عنوان عامل اصلی و کاربرد چهار سطح مختلف اسید هیومیک به صورت پودر HUMAX95%-WSG (شرکت بازرگان کالا) به نسبت‌های صفر، ۲، ۴ و ۶ کیلوگرم در هکتار)) به‌صورت محلول‌پاشی در سه مرحله شامل مرحله چهار برگی، هشت برگی (پس از وجین) و شانزده برگی (پس از دومین مرحله خاک‌دهی) به عنوان عامل فرعی، اجرا شد. وزن شاخساره از ابتدای اندازه‌گیری‌ها روند افزایشی داشت ولی محدودیت آب باعث کاهش شیب افزایش وزن شاخساره شد و این کاهش شیب باعث شد تا در نهایت در تیمارهای تنش خشکی، حداکثر وزن شاخساره نسبت به تیمار شاهد، کاهش یافت. در همه سطوح آبیاری و غلظت‌های اسید هیومیک، شاخص سطح برگ تا اواسط فصل رشد روند افزایشی داشت و پس از آن نسبت به نیمه اول فصل رشد با شیبی ملایم‌تر، شروع به کاهش کرد. کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش عملکرد ریشه شد و با افزایش مقدار اسید هیومیک، عملکرد ریشه نیز روند افزایشی نشان داد به نحوی که در هر سطح تیمار آبیاری، بیشترین عملکرد ریشه از تیمار ۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و کمترین عملکرد ریشه از تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک به دست آمد. کاهش آب مصرفی در تیمارهای ۸۵، ۷۰ و ۴۵ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب باعث کاهش ۰/۵، ۰/۵ و ۱/۳ درصدی محتوای قند نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین کاربرد ۲ و ۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک به ترتیب باعث ۰/۱ و ۱/۵ در صد کاهش محتوای قند شد، در حالی‌که کاربرد ۴ کیلوگرم اسید هیومیک تأثیری بر محتوای قند نداشت. کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش عملکرد ریشه شد به نحوی‌که در تیمارهای کاربرد ۲، ۴ و ۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک، نسبت به تیمار عدم استفاده اسید هیومیک، عملکرد ریشه به ترتیب ۴۱/۶، ۸۴/۸ و ۱۱۰/۵ در صد افزایش نشان داد. کاربرد ۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک در زراعت چغندرقند قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: درصد قند خالص، شاخص سطح برگ، عملکرد ریشه

مقدمه

تنش خشکی، در زمان حال و آینده مهم‌ترین چالش پیش روی تولید محصولات کشاورزی به ویژه در کشورهای در حال توسعه خواهد بود و با توجه به قرار گرفتن ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک جهان، توجه به اثرات تنش رطوبتی بر رشد گیاهان ضروری به نظر می‌رسد. درحدود یک سوم از زمین‌های قابل کشت دنیا به طور قابل توجهی با کمبود آب مواجه هستند و گزارش شده است که تنش خشکی به عنوان عامل اصلی کاهش عملکرد در چغندرقند است (Ober, 2001). تنش خشکی از توسعه بیشتر سلول و تقسیم سلولی ممانعت به‌عمل می‌آورد و سبب کاهش عملکرد در گیاهان می‌شود، با اینکه گزارش شده است که چغندر قند گیاهی نسبتاً مقاوم به خشکی است، اما جهت دستیابی به عملکرد بالا بکارگیری راهکارهائی که بتواند اثر تنش خشکی را کاهش دهد بسیار مورد توجه است. بیشتر راهکارها شامل کاهش تعرق، حفظ تثبیت دی اکسیدکربن و کاهش تنفس نوری

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

(*- نویسنده مسئول: Email: mrtadayon@yahoo.com)
DOI:10.22067/jag.v11i1.62811

در شرایط تنش خشکی ا ست. بر رسی شش ژنوتیپ چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) تحت شرایط رطوبتی متعارف، تنش خ شکی متو سط و تنش خ شکی شدید ن شان داده ا ست که تنش خ شکی باعث کاهش عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید شد (Sharifi & Dehghanian, 2014). ابیانه و جوزی (Abyaneh & Jovzi, 2016) در بررسی چغندرقند تحت شرایط کم‌آبیاری م شاهده کردند، کاهش م صرف آب باعث کاهش معنی‌دار عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص می‌گردد. محدودیت رطوبت در خاک باعث کاهش سطح برگ و در پی آن کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش عملکرد ریشه می‌شود (Gardner et al., 1985). در بررسی فیروزآبادی و هم‌کاران (Firoozabadi et al., 2003) عملکرد ریشه در شرایط نرمال، تنش ملایم و شدید که بصورت مداوم طی فصل رشد اعمال شد به ترتیب ۵۸/۶، ۴۵/۸ و ۳۴/۷ تن در هکتار بود. این در حالی است که بازا (Bazza, 1993) بیشترین کاهش عملکرد را در زمان تنش در مرحله توسعه برگی چغندرقند گزارش کرد. کم آبی و دمای بالا در دوره رشد علاوه بر کاهش رشد موجب افزایش قند در ریشه و افزایش ناخالصی‌های ریشه چغندرقند به ویژه ترکیبات نیتروژن می‌شود (Arnon, 1996). اعمال تنش خشکی در اواخر فصل رشد، سبب افزایش غلظت ناخالصی‌های ریشه به‌ویژه پتاسیم، نیتروژن مضره و گاهی سدیم شده و در نتیجه باعث افزایش ملاس می‌گردد (Ober et al., 2004). بالا بودن عیار قند در شرایط تنش خشکی را به علت از دست رفتن آب ریشه و همچنین کوچک بودن ریشه‌های چغندرقند می‌دانند.

امروزه با توجه به شرایط زیست‌محیطی، استفاده از انواع اسیدهای آلی برای بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی گیاهان زراعی و باغی رواج پیداکرده است، اسید هیومیک یکی از این ترکیبات است. مقادیر بسیار کم از اسـید های آلی اثرات فراوانی در بهبود ویژگی های فیزیکی، شـیمیایی و زیسـتی خاک داشـته و به علت وجود ترکیبات شـبه هورمونی، اثرات مفیدی در افزایش تولید و بهبود محصولات کشاورزی دارند. اسید هیومیک اثرات مثبتی بر رشد گیاه دارد. رشد قسمت هوایی و ریشه گیاه توسط اسید هیومیک تحریک می‌شود ولی اثر آن بر روی ریشه، برجسته‌تر ا ست، حجم ریشه را افزایش داده و باعث اثربخشی سامانه ریشه می‌گردد. ا سید هیومیک جذب نیتروژن، پتا سیم، کلسیم، منیزیم و ف سفر را تو سط گیاه افزایش می‌دهد. کاربرد ا سید هیومیک، کلروز گیاهان را بهبود می‌بخشـد که احتمالاً نتیجه توانایی اسـید هیوم یک برای نگ هداری آهن خاک به فرمی که قا بل جذب و سوخت‌وساز می‌با شد. این پدیده می‌تواند در خاک‌های قلیایی و آهکی مؤثر باشـد که معمولاً کمبود آهن قا بل جذب و مواد آلی را دار ند (Sardashti & Alidoost, 2007). اسـتفاده از اسـید هیومیک باعث رشـد اندام هوایی و افزایش تولید گیاهان زراعی و باغی می‌شـود، که دلیل آن، افزایش جذب عناصری نظیر نیتروژن، کلسیم، فسفر، پتاسیم، منگنز، آهن، روی و مس اسـت (Harper et al., 2000). مطالعات ن شان داده ا ست که کاربرد ا سید هیومیک، موجب انتقال گلوکز از بین غشـاهای سـلولی در گیاهان پیاز، چغندرقند و گوجه‌فرنگی می‌شـود (Tan, 2003).

با توجه به مطالب مذکور آزمایش حا ضر با هدف برر سی اثر تنش خ شکی و ا سید هیومیک بر ر شد، عملکرد و میزان قند چغندرقند اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه پژوهشـی دانشـگاه شـهرکرد با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۰۵۰ متر از سطح دریا در سال ۱۳۹۴ انجام شـد. قبل از اجرای طرح، از خاک مزرعه نمونه مرکبی تهیه گردید و جهت تعیین ویژگی های فیزیکی و شـیمیایی خاک و همچنین نیاز کودی گیاه به آزمایشگاه آب و خاک ارسال شد (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های خاک مزرعه آزمایشی (عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر)

Table 1- Soil properties of experimental field (0-30 cm depth)

هدایت الکتریکی	اسیدیته	کربن	نیتروژن کل	فسفر محلول	پتاسیم محلول	روی	منگنز	آهن	مس
EC	pH	C	N	P	K	Zn	Mn	Fe	Cu
($dS.m^{-1}$)		(%)				($mg.kg^{-1}$)			
0.461	8.04	0.698	0.072	1.9	241	0.58	8.11	4.53	0.93

بافت خاک شامل ۳۰٪ شن، ۳۵/۵٪ سیلت و ۳۴/۵٪ ما سه بود. اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در پنج نو بت (یک نو بت قبل از کشـت، چهار نوبت پس از کشـت (پس از رویش، چهار برگی، شـش برگی، ۱۰ برگی) به‌صورت سرک)، سوپر فسفات تریپل ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کشت، سولفات پتاسیم ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از ک شت، گوگرد ک شاورزی ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به همراه ۹ کیلوگرم در هکتار باکتری تیوباسیلوس قبل از کشت، سولفات آهن ۴۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کشـت، سـولفات روی ۱۵کیلوگرم در هکتار قبل از کشـت، سـولفات منگنز۲۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کشـت، اسـید بوریک۲۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کشت.

آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی درچهار تکرار انجام شد. تیمارها شامل ۴ سطح مختلف تنش خشکی شامل حفظ رطوبت خاک در حد ۱۰۰ ٪ ظرفیت زراعی (بدون تنش)، حفظ رطوبت خاک در حد ۸۵ ٪ ظرفیت زراعی (تنش ملایم)، حفظ رطوبت خاک در حد ۷۰ ٪ ظرفیت زراعی (تنش متوسط) و حفظ رطوبت خاک در حد ۴۵ ٪ ظرفیت زراعی (تنش شدید) به‌عنوان عامل اصلی و کاربرد چهار سطح مختلف اسید هیومیک به صورت پودر HUMAX95%-WSG (شرکت بازرگان کالا) به نسبت‌های صفر، ۲، ۴ و ۶ کیلوگرم در هکتار)) به‌صورت محلول‌پاشی در سه مرحله شامل مرحله چهار برگی، هشت برگی (پس از وجین) و شانزده برگی (پس از دومین مرحله خاک‌دهی) به عنوان عامل فرعی، اجرا شد.

در این آزمایش از بذر مونوژرم چغندر قند، رقم خارجی کاستیل تولید کشور بلژیک استفاده شد. میزان ظرفیت زراعی مزرعه جهت اعمال تنش با استفاده از دستگاه رطوبت سنج (تانسیومتر) اندازه‌گیری شد و مقادیر آب مورد نیاز برای هر تیمار با استفاده از کنتور به هر کرت داده شد. زمان اعمال تنش ۴۰روز پس از کاشت بود.

به‌منظور بررسی چگونگی اثر تیمارها بر رشد گیاه و تعیین شاخص‌های رشد، در فواصل زمانی ۲۰روز یک بار (۵ مرحله) اقدام به نمونه‌برداری از بوته‌ها شد. بدین منظور با حذف دو ردیف کناری و رها کردن یک متر حاشیه از بالا و پایین کرت، از سه ردیف وسط هر کرت نمونه‌برداری صورت گرفت. برای اندازه‌گیری قطر ریشه، تعداد ۳ ریشه سالم را انتخاب و طول و قطر آن‌ها ثبت و سپس میانگین طول و قطر آن‌ها به‌عنوان طول و قطر ریشه تیمار موردنظر منظور می شود. وزن تر شاخساره بوته‌های انتخاب شده، توسط ترازوی دیجیتال Sartorius مدل MG 312 با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. سپس اندام هوایی گیاه به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی گراد درون آون قرار گرفته و وزن خشک آن‌ها نیز اندازه‌گیری گردید. برای تعیین شاخص سطح برگ (LAI) چغندرقند در هر مرحله نمونه‌برداری، کلیه برگ‌های بوته‌های انتخاب شده روی کاغذ شطرنجی قرار داده شد و سپس عکس‌برداری شدند. سپس مساحت هر برگ با گرفتن عکس از برگ‌ها و توسط نرم‌افزار اتوکد اندازه‌گیری گردید. شاخص سطح برگ از نسبت سطح برگ هر بوته به سطح زمینی که توسط آن اشغال شده بود محاسبه گردید. مراحل اندازه‌گیری شاخص سطح برگ شامل ۵ مرحله شامل: ۱) قبل از اعمال تنش ۲) ۲۰ روز بعد از مرحله اول ۳) ۲۰ روز بعد از مرحله دوم ۴) ۲۰ روز بعد از مرحله سوم ۵) زمان برداشت بود. در صد شکر قابل استحصال از رابطه زیر بدست آمد (Khajepoor, 2007).

درصد قند ملاس- درصد قند ناخالص= شکر قابل استحصال

در پایان داده های جمع‌آوری‌شده توسط نرم‌افزار SAS (9.1) و MSTATC مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفته و مقایسه میانگین‌ها نیز به روش LSD در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودارها توسط برنامه Sigmaplot (12.5) صورت گرفت.

نتایج و بحث

وزن شاخساره

نتایج نشان داد به جز مرحله اول نمونه‌برداری (۲۵ روز پس از سبز شدن: قبل از اعمال تیمارهای آزمایش)، در سایر مراحل اثر آبیاری، اسید هیومیک و برهمکنش آبیاری× اسید هیومیک بر وزن خشک شاخساره معنی‌دار بود (جدول ۲). وزن شاخساره از ابتدای اندازه‌گیری‌ها روند افزایشی داشت ولی محدودیت آب باعث کاهش شیب افزایش وزن شاخساره شد و این کاهش شیب باعث شد تا در نهایت در تیمارهای تنش خشکی، حداکثر وزن شاخساره نسبت به شرایط عدم وجود تنش خشکی، کاهش یافت. همان‌گونه که از شکل ۱ مشخص است، در هر رژیم رطوبتی، مصرف اسید هیومیک باعث افزایش وزن خشک شاخساره شده است و این اثر اسید هیومیک به‌ویژه در مراحل انتهایی رشد مشهودتر است.

در بیشتر گیاهان زراعی، روند تجمع ماده خشک در طول فصل رشد به صورت سیگموئیدی است، بدین صورت که در ابتدای رشد، سرعت تجمع ماده خشک، کم وتدریجی است و با گذشت زمان و افزایش شاخ و برگ، میزان فتوسنتز افزایش پیدا کرده و شیب تجمع ماده خشک، شدت بیشتری پیدا می‌کند؛ به‌طوری‌که در نقطه‌ای از منحنی به حداکثر خود می‌رسد و بعد از آن به دلیل افزایش سن و پیری برگ‌ها از مقدار ماده خشک کاسته شده و در نهایت متوقف می‌شود (Gardner et al., 1985). کاهش تجمع ماده خشک در شرایط تنش، به دلیل کمبود آب و بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش فتوسنتز و نیز افزایش دمای برگ است (Iramki et al., 2000). اورکات و نیلسون (Ourcut & Nilsen, 2009) نیز دلیل کاهش وزن خشک اندام هوایی در شرایط تنش خشکی را کاهش سطح برگ دانستند که باعث کاهش دریافت نور و میزان فتوسنتز می‌شود. تحقیقات نشان داد کاربرد اسید هیومیک باعث شد وزن خشک بوته چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) در شرایط تنش خشکی کمتر کاهش یابد (Sanjarimijani et al., 2016).

اسید هیومیک به دلیل اثرات هورمونی، در بهبود جذب مواد غذائی و افزایش زیست‌توده ریشه و شاخساره، مانند یک اسید آلی مشتق از هوموس عمل می‌کند (Nikbakht & Kafi, 2008). اسید هیومیک با افزایش جمعیت موجودات زنده خاک، اصلاح وضعیت فیزیکی، اثرات آنزیمی و هورمونی، pH خاک، تعدیل رشد گیاه و افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی و شوری اثر داشته و باعث

افزایش قدرت جذب مواد غذائی، افزایش جوانه‌زنی و رشـــد ریشـــه و بهبود محصـــول از لحاظ کمی و کیفی می‌گردد (Cangi et al., 2006).

جدول ۱- تجزیه واریانس وزن خشک شاخساره چغندرقند در رژیم‌های آبیاری و مقادیر مختلف اسید هیومیک

Table 2- Analysis of variance of sugar beet shoot weight under irrigation regimes and humic acid application conditions

		روز پس از سبز شدن Days after sowing				
		25	45	65	85	105
منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares				
بلوک Block	2	1.43**	33.23ns	134.31ns	450.59ns	427.61ns
آبیاری Irrigation (irr)	3	0.19ns	19462.33**	77882.26**	223361.32**	223047.86**
خطای a Error a	6	0.09	79.7	318.5	110.45	106.42
اسید هیومیک Humic acid (humic)	3	0.16ns	1707.20**	6832.83**	10015.54**	9897.78**
آبیاری×اسید هیومیک irr*humic	9	0.36ns	299.02**	1196.93**	3207.81**	3271.90**
خطا Error	24	0.33	45.15	180.45	790.03	756.4
ضریب تغییرات CV (%)	-	2	4.4	4.4	5.7	5.8

ns: غیر معنی‌دار* و **: معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

ns: Non-significant* and **: significant at 1% probability level

شاخص سطح برگ

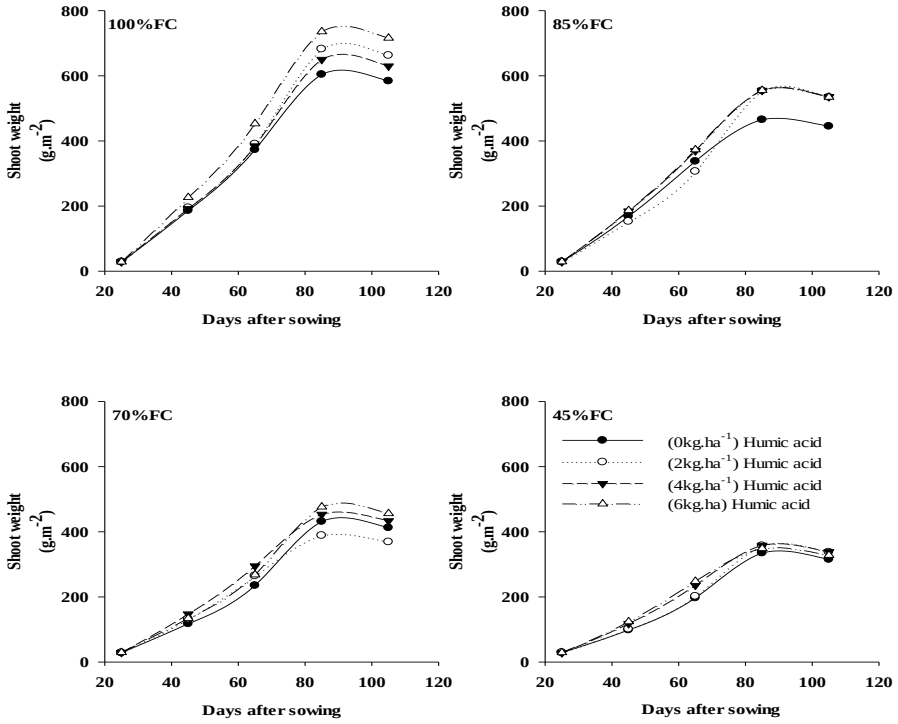
نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد به جز مرحله اول اندازه‌گیری (۲۵ روز پس از سـبز شـدن) در سـایر مراحل، اثر آبیاری، اسید هیومیک و برهم‌کنش آبیاری× اسید هیومیک بر شاخص سطح برگ چغندرقند معنی‌دار بود (جدول ۲). در همه ســطوح آبیاری و غلظت‌های اسید هیومیک، شاخص سطح برگ تا اواسط فصل رشد روند افزایشـی نشـان داد و پس از آن با شـیبی ملایم‌تر از نیمه اول فصل رشد، شروع به کاهش کرد. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود، با کاهش میزان آب مصرفی، شاخص سطح برگ در مرحله آخر اندازه‌گیری (۱۰۵ روز پس از سبز شدن) کمتر شده است، در واقع این موضوع بدان معنا است که با وجود آب کافی، گیاه تا اواخر فصل رشد سطح برگ بیشتری را جهت انجام فتوسنتز و تولید ماده خشک حفظ می‌کند؛ در حالی‌که در شـرایط محدودیت آب، شـاخص سـطح برگ در اواخر فصل رشد که دوره انباشت مواد فتوسنتزی در ریشه‌های چغندرقند است، پایین است.

با کاهش آب مصرفی، شاخص سطح برگ چغندرقند روند کاهشی داشته است، همچنین در هر سطح آبیاری نیز، با کاهش غلظت اسید هیومیک، شاخص سطح برگ روند کاهشی نشان داد به نحوی‌که در هر سطح آبیاری، بیشترین شاخص سطح برگ، در غلظت شش لیتر اسـید هیومیک در هکتار و کمترین میزان شـاخص سـطح برگ در شرایط عدم کاربرد اسید هیومیک مشاهده شد (شکل ۲).

خشکی باعث کاهش سطح برگ می‌شود که این وضعیت به دلیل کاهش آماس سلولی و پژمردگی و جمع شدن پهنک در شرایط تنش شـدید و در نهایت، پیری زودرس برگ‌های گیاه می‌باشـد (Earl et al., 2003). در شرایط تنش شدید سرعت توسعه برگ کاهش یافته و رشد برگ ممکن است متوقف شود. همچنین، تنش خشکی، شاخص سـطح برگ را با کاهش آغازش برگ های جدید تحت تأثیر قرار می‌دهد (Prasad et al., 2008). تداوم تنش خشـکی پیری برگ را سرعت می‌بخشد (Souza Claudia, 2003) و به مرگ بافت برگ و ریزش آن، به‌ویژه برگ‌های قدیمی و رسیده منجر می‌شود.

مصرف اسید هیومیک باعث افزایش شاخص سطح برگ در ذرت شد (Ghorbani et al., 2010). اسید هیومیک به دلیل افزایش میزان نیتروژن گیاه (Sharif et al., 2002) سبب افزایش شاخص سطح و همچنین سرعت بالاتر گسترش سطح برگ شده است. آلبایراک و کاماز (Albayrak & Camas, 2005) نیز گزارش کردند که تیمار ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک، سبب گسترش بیشتر سطح

برگ شـد. پژوهش‌ها نشـان داد کاربرد اسـید هیومیک باعث افزایش سطح برگ گندم شد (Sabzevari & Khazaei, 2009).



شکل ۱- روند تغییرات وزن خشک شاخساره چغندرقند در رژیم‌های آبیاری و مقادیر مختلف اسید هیومیک در طی روزهای پس از کاشت

Fig. 1- Trends of sugar beet shoot weight under irrigation regimes and humic acid application conditions during days after sowing time

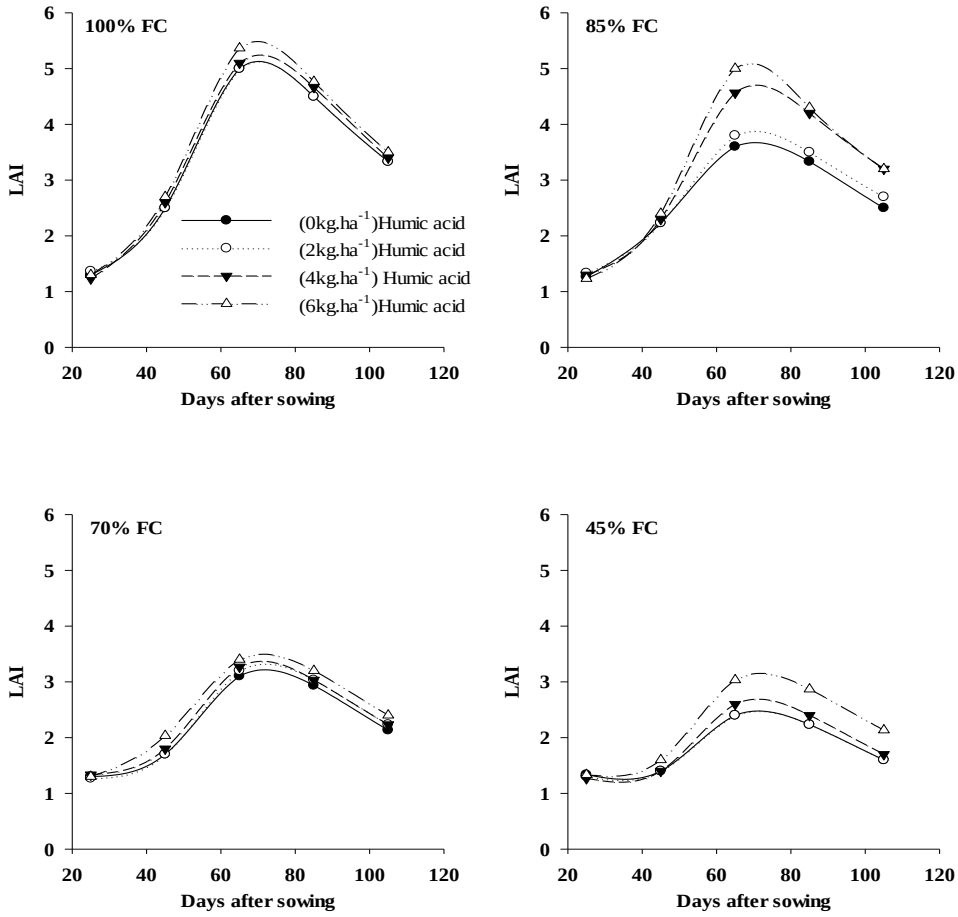
جدول ۲- تجزیه واریانس شاخص سطح برگ چغندرقند در رژیم‌های آبیاری و مقادیر مختلف اسید هیومیک

Table 3- Analysis of variance of sugar beet LAI under irrigation regimes and humic acid application conditions

		روز پس از سبز شدن Days after sowing				
		25	45	65	85	105
منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares				
بلوک Block	2	0.0015ns	0.192**	0.226ns	0.132ns	0.053ns
آبیاری Irrigation (irr)	3	0.0013ns	3.122**	14.642**	10.714**	6.181**
خطای a Error a	6	0.0017	0.001	0.123	0.164	0.036
اسید هیومیک Humic acid (humic)	3	0.0024ns	0.152**	1.130**	0.722**	0.413**
آبیاری× اسید هیومیک irr*humic	9	0.0058ns	0.005**	0.187**	0.116**	0.072**
خطا Error	24	0.0097	0.0005	0.004	0.006	0.002
ضریب تغییرات CV (%)	-	7.6	1.1	1.7	2.2	1.5

ns: غیر معنی‌دار *و **: معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

ns: Non-significant* and **: significant at 1% probability level



شکل ۲- شاخص سطح برگ چغندرقند در رژیم‌های آبیاری و مقادیر مختلف اسید هیومیک

Fig. 2- Sugar beet LAI under irrigation regimes and humic acid application conditions

قطر ریشه

اثر آبیاری، اسید هیومیک و برهمکنش آبیاری× اسید هیومیک بر قطر ریشه معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد کاهش آب آبیاری، باعث کاهش قطر ریشه چغندرقند و مصرف اسید هیومیک باعث افزایش قطر ریشه در همه مراحل اندازه‌گیری شد (جدول ۴). شصت و پنج روز پس از سبز شدن، در تیمارهای ۸۵، ۷۰ و ۴۵ در صد ظرفیت زراعی، قطر ریشه به ترتیب ۸/۹، ۲۰/۲ و ۳۳/۶ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. ۸۵ روز پس از کاشت نیز قطر ریشه در تیمارهای ۸۵، ۷۰ و ۴۵ در صد ظرفیت زراعی به ترتیب ۱۸/۹، ۲۱/۸ و ۲۷/۱ در صد کاهش نشان داد. همچنین در ۱۰۵ روز پس از سبز شدن نیز، تیمارهای ۸۵، ۷۰ و ۴۵ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب باعث کاهش ۱۴/۶، ۲۴/۲ و ۲۹/۷ در صد کاهش قطر ریشه نسبت به تیمار شاهد شدند. محدودیت آب، علاوه بر کاهش واحدهای فتوسنتز کننده (برگ ها) باعث کاهش فتوسنتز نیز می‌گردد، زیرا که در شرایط محدودیت آب، گیاه برای حفظ رطوبت، اقدام به بستن روزنه‌ها کرده و در این شرایط ورود دی اکسید کربن به گیاه دچار محدودیت می شود و این موضوع باعث محدودیت عمل فتوسنتز و کاهش تولید مواد پرورده می‌گردد (Shabala, 2011)، به دنبال کاهش مواد پرورده، انتقال این مواد به ریشه‌ها نیز کاهش پیدا می‌کند و در نتیجه رشد قطری و طولی ریشه محدود می‌گردد.

در زمان ۶۵ روز پس از سبز شدن، مصرف ۲، ۴ و ۶ کیلوگرم اسید هیومیک در هکتار، به ترتیب باعث افزایش ۵/۴، ۸/۶ و ۱۰/۱ درصد افزایش قطر ریشه شد. مقادیر افزایش قطر ریشه، ۸۵ روز پس از سبز شدن در تیمارهای ۲، ۴ و ۶ کیلوگرم اسید هیومیک در هکتار به ترتیب برابر ۱/۹، ۴ و ۶/۵ در صد بود. ۱۰۵ روز پس از سبز شدن نیز ۳/۱، ۷/۷ و ۱۲/۳ درصد افزایش قطر ریشه در اثر مصرف به ترتیب ۲، ۴ و ۶ کیلوگرم اسید هیومیک در هکتار مشاهده شد. همچنین، نتایج نشان داد در هر سه مرحله اندازه‌گیری، بیشترین قطر ریشه از تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک به دست آمد (جدول ۴).

جدول ۳- تجزیه واریانس قطر ریشه چغندرقند در رژیم‌های آبیاری و مقادیر مختلف اسید هیومیک

Table 4- Analysis of variance of sugar beet root diameter under irrigation regimes and humic acid application conditions

		روز پس از سبز شدن Day after sowing		
		65	85	105
منابع تغییرات SOV	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of Squares		
بلوک Block	2	0.89**	0.92ns	1.25ns
آبیاری Irrigation (irr)	3	9.81**	12.32**	21.39**
خطای a Error a	6	0.05	0.21	0.57
اسید هیومیک Humic acid (humic)	3	0.50**	0.49**	2.51**
آبیاری× اسید هیومیک irr*humic	9	0.02**	0.19**	0.45**
خطا b Error b	24	0.001	0.01	0.04
ضریب تغییرات CV (%)	-	1.1	1.6	2.5

ns: غیر معنی‌دار و **: معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱

ns: Non-significant * and **: significant at 1% probability level

جدول ٤- قطر ریشه (سانتی‌متر) چغندرقند در رژیم‌های آبیاری و مقادیر مختلف اسید هیومیک

Table 5- Sugar beet root diameter (cm) under irrigation regimes and humic acid application conditions

رژیم آبیاری(براساس ظرفیت زراعی) Irrigation regime	اسید هیومیک Humic acid ($kg.ha^{-1}$)	روز پس از سبز شدن Days after sowing		
		65	85	105
100%	0	6.0c*	8.1c	9.2d
	2	6.1b	8.2c	9.6c
	4	6.3a	8.5b	10.2b
	6	6.3a	9.3a	11.4a
85%	0	5.3f	6.7e	8.1ef
	2	5.6e	6.9d	8.3e
	4	5.7d	7.0d	9.0d
	6	5.9c	7.0d	9.0d
70%	0	4.6i	6.6e	7.4hi
	2	5.0h	6.6e	7.6gh
	4	5.0h	6.7e	7.6gh
	6	5.1g	6.7e	7.9fg
45%	0	3.8l	6.0g	6.8k
	2	4.0k	6.2fg	7.0jk
	4	4.3j	6.3f	7.2ij
	6	4.3j	6.3f	7.3hij

*در هر مرحله صفات دارای حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار ندارند.

* In each measurement, means with same letters don't have significant difference, LSD, 0.05.

در سطوح تنش خشکی، کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی می‌گردد (Rahi et al., 2012). آنها اظهار داشتند در شرایط تنش خشکی، اسید هیومیک از طریق افزایش سطوح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باعث تحمل بیشتر گیاه به تنش خشکی می‌گردد. افزایش قطر ریشه در زمان استفاده از اسید هیومیک در تحقیق حاضر نیز احتمالاً به دلیل نقش اسید هیومیک در افزایش رشد و جذب عناصر غذایی و همچنین افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی بوده است

عملکرد ریشه

نتایج نشان داد اثر تیمارهای آبیاری و اسید هیومیک در سطح احتمال یک در صد و برهمکنش تیمارهای آبیاری× اسید هیومیک در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد ریشه معنی‌دار بود (جدول ۵).

بررسی‌ها نشان داد کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش عملکرد ریشه شد و با افزایش مقدار اسید هیومیک، عملکرد ریشه نیز روند افزایشی نشان داد به نحوی‌که در هر سطح تیمار آبیاری، بیشترین عملکرد ریشه از تیمار ۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و کمترین عملکرد ریشه از تیمار عدم کاربرد اسید هیومیک به دست آمد (شکل ۳). عملکرد ریشه در رژیم‌های آبیاری ۸۵، ۷۰ و ۴۵ درصد ظرفیت زراعی، نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب ۴/۲، ۱۱/۳ و ۱۸/۲ در صد کاهش نشان داد. همچنین کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش عملکرد ریشه شد به نحوی‌که در تیمارهای کاربرد ۲، ۴ و ۶ کیلوگرم اسید هیومیک در هکتار ، نسبت به تیمار عدم استفاده اسید هیومیک، عملکرد ریشه به ترتیب ۴۱/۶، ۸۴/۸ و ۱۱۰/۵ درصد افزایش نشان داد.

جدول ۵- تجزیه واریانس عملکرد ریشه، عملکرد قند کل، عملکرد قند خالص، محتوای قند، درصد قند خالص و ضریب استحصال شکر در رژیم‌های آبیاری و مقادیر مختلف اسید هیومیک

Table 6- Analysis of variance of sugar beet root yield, sugar content, pure sugar percent and molasses percent under irrigation regimes and humic acid application conditions

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی df	عملکرد ریشه sugar beet root yield	محتوای قند sugar content	درصد قند خالص pure sugar percent	درصد ملاس molasses percent
		میانگین مربعات Mean of squares			
بلوک Block	2	4.81ns	0.15ns	0.11ns	0.02ns
آبیاری Irrigation (irr)	3	2896**	0.33ns	0.08ns	0.45**
خطای a Error a	6	2.74	0.13	0.02	0.02
اسید هیومیک Humic acid (humic)	3	238.1**	0.17ns	7.82**	0.35**
آبیاری×اسید هیومیک irr*humic	9	17.24*	0.14*	3.09**	0.03**
اسید هیومیک×بلوک Block*humic	6	3.2ns	0.069ns	0.58ns	0.01**
خطا b Error b	18	8.03	0.059	0.27	0.003
ضریب تغییرات CV (%)	-	5.1	1.1	3.1	2.8

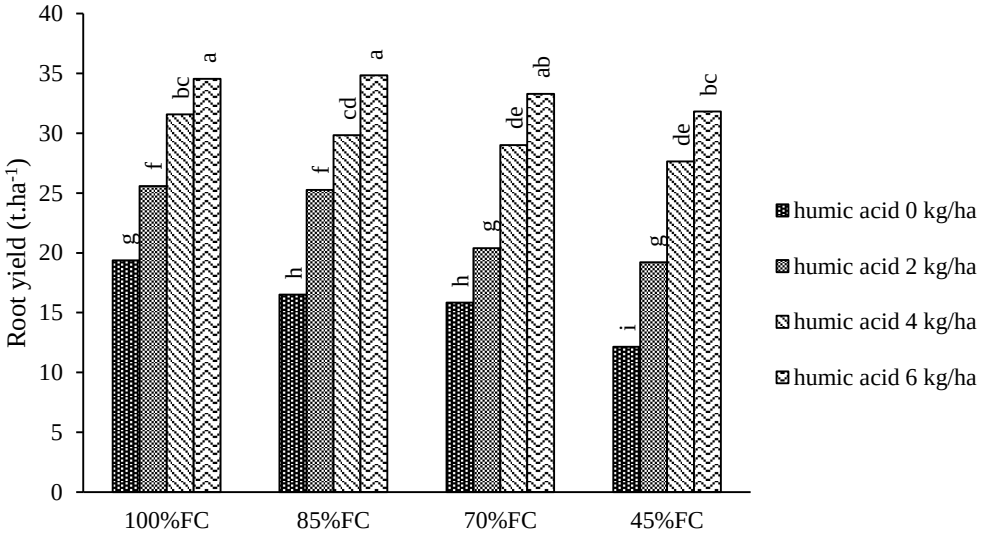
ns: غیر معنی‌دار، * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

ns: Non-significant, * and **: significant at 5% and 1% probability levels, respectively

تعدادی از پژوهشگران گزارش کرده‌اند که عملکرد ریشه در چغندرقند شدیدا به کم آبی حساس بوده و با بروز تنش، کاهش می‌یابد (Mohamadian et al., 2005). نادعلی و همکاران (Nadali et al., 2010) نیز گزارش کردند عملکرد ریشه در شرایط رطوبت نرمال نسبت به تنش افزایش معنی‌داری داشت علت کاهش عملکرد تحت تنش آن است که کمبود آب رشد چغندرقند را کاهش داده، بویژه باعث کم شدن آماس سلول و افزایش پتانسیل آب خاک شده است (Scott & Jaggard, 1993). همان‌گونه که از شکل ۴ مشخص است، در شرایطی که شاخص سطح برگ افزایش داشته است عملکرد ریشه نیز روند افزایشی نشان می‌دهد، در آزمایش حاضر نیز تنش خشکی شاخص سطح برگ را کاهش داد و کاهش این صفت به نوبه خود باعث کاهش عملکرد ریشه شده است. از طرفی، باید به نقش اسید

هیومیک در افزایش شاخص سطح برگ نیز توجه کرد، اسید هیومیک از طریق افزایش شاخص سطح برگ باعث افزایش تولید ماده خشک و انباشت آن در ریشه و در نهایت افزایش عملکرد ریشه شده است.

گزارش شده است که کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش فعالیت آنزیم رابیسکو و افزایش فتو سنتز می‌گردد (Delfine et al., 2005)، همچنین همان‌گونه که در بالا اشاره شد کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش سرعت رشد محصول و شاخص سطح برگ نیز می‌گردد. در نتیجه افزایش صفات مذکور باعث می‌گردد آسیمیلات بیشتری به سمت ریشه چغندرقند منتقل شده و در نهایت عملکرد ریشه نسبت به شرایط عدم کاربرد اسید هیومیک افزایش یابد.

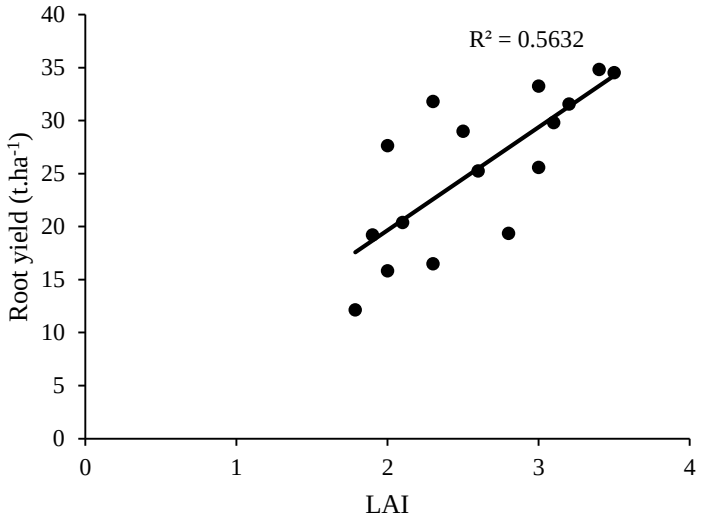


شکل ۳- مقایسه میانگین عملکرد ریشه چغندرقند در رژیم‌های آبیاری و مقادیر مختلف اسید هیومیک

میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد، با استفاده از آزمون LSD ندارند.

Fig. 3- Mean comparisons for sugar beet root yield under irrigation regimes and humic acid application conditions

Means with same letters don't have significant difference, LSD, 0.05.

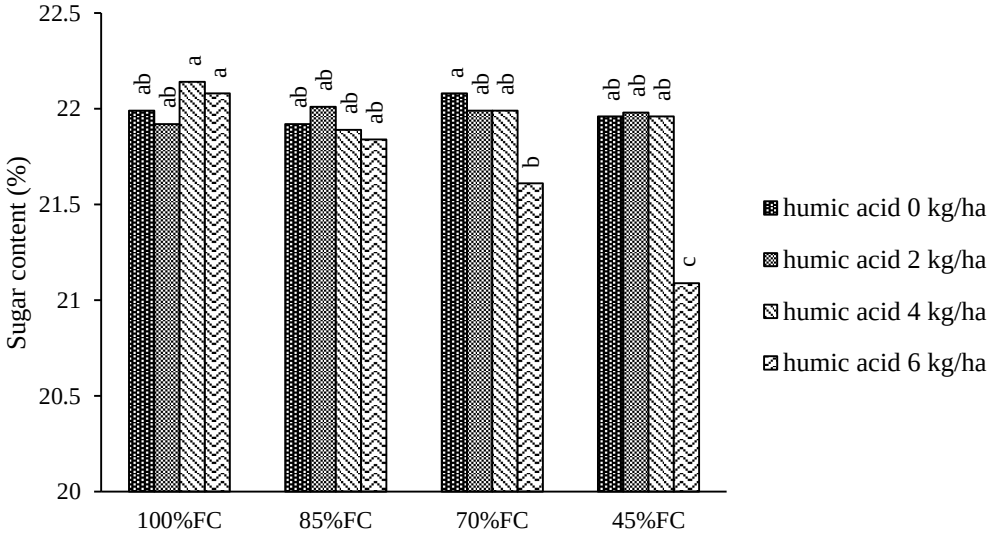


شکل ٤- برازش عملکرد ریشه چغندرقند در مقابل شاخص سطح برگ

Fig. 4- Sugar beet root yield versus LAI

محتوای قند

نتایج نشان داد اثر برهمکنش آبیاری× اسید هیومیک بر محتوای قند در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). بررسی میانگین داده‌ها نشان داد به جز در تیمارهای ۷۰ و ۴۵ درصد ظرفیت زراعی، میانگین محتوای قند سایر تیمارها اختلاف چندانی با یکدیگر نداشت (شکل ۵). کاهش آب مصرفی در تیمارهای ۸۵، ۷۰ و ۴۵ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب باعث کاهش ۰/۵، ۰/۵ و ۱/۳ درصدی محتوای قند نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین کاربرد ۲ و ۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک به ترتیب باعث ۰/۱ و ۱/۵ درصد کاهش محتوای قند شد، در حالی‌که کاربرد ۴ کیلوگرم اسید هیومیک تاثیری بر محتوای قند نداشت. چنین به نظر می‌سد که غلظت بهینه برای افزایش محتوای قند، ۴ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک باشد و مقادیر کمتر یا بیشتر از این مقدار اثر معکوس داشته و باعث کاهش محتوای قند شده است. ریشه چغندرقند دارای ۷۵ در صد آب و حدود ۲۵ در صد ماده خشک است که از ۲۵ درصد ماده خشک حدود ۲۰ درصد آن محلول در آب و حدود ۵ درصد آن در آب غیرمحلول است که بخش انحلال‌ناپذیر ریشه را شامل می شود و جزء الیافی ریشه چغندرقند است که به آن مارک گفته می‌شود (Winter, 1981). به دلیل اینکه تمامی قند موجود در ریشه قابل استخراج نیست و قسمتی نیز در داخل ملاس باقی می ماند از ۲۰ درصد مواد محلول، فقط حدود ۱۶ درصد آن به‌عنوان ماده قندی یا ساکارز می‌باشد که قابلیت کریستاله شدن را داراست و حدود چهار درصد مابقی را مواد غیرساکارزی تشکیل می‌دهد که شامل انواع قندها مانند گلوکز، فروکتوز، رافینوز و غیره است.



شکل ۵- مقایسه میانگین محتوای قند در رژیم‌های آبیاری و مقادیر مختلف اسید هیومیک

میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد، با استفاده از آزمون LSD ندارند.

Fig. 5- Means comparisons for sugar beet sugar content under irrigation regimes and humic acid application conditions

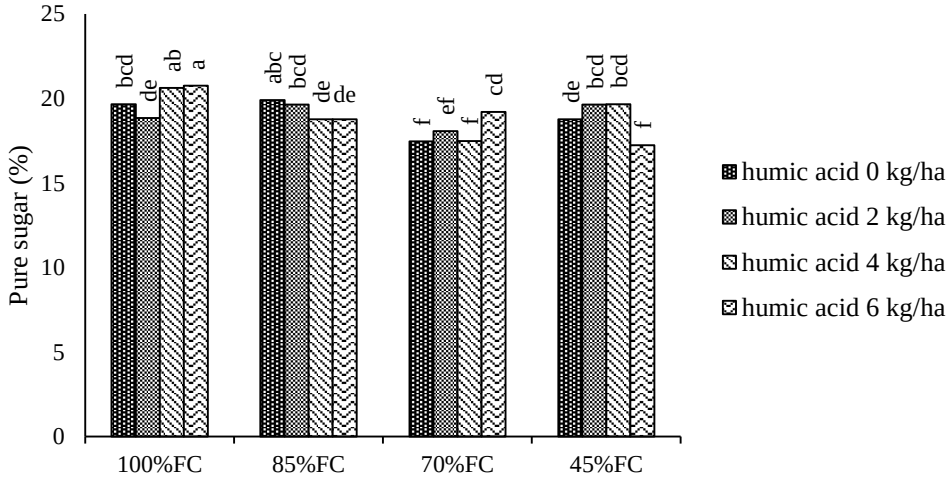
Means with same letters don't have significant difference, LSD, 0.05.

درصد قند خالص

اثر اسید هیومیک و برهمکنش آبیاری× اسید هیومیک بر درصد قند خالص معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج نشان داد اثر تیمارهای آبیاری بر در صد قند خالص مشهودتر از اثر تیمارهای اسید هیومیک بود (شکل ۶)، به نحوی‌که در تیمارهای آبیاری ۸۵، ۷۰ و ۴۵ درصد ظرفیت زراعی، درصد قند خالص به ترتیب ۳/۵، ۹/۶ و ۵/۸ درصد کاهش نشان داد در حالی‌که در تیمارهای ۲، ۴ و ۶ کیلوگرم اسید هیومیک در هکتار به ترتیب ۰/۵، ۱ و ۰/۲درصد افزایش نشان داد.

درصد ملاس

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر آبیاری، اسید هیومیک و برهمکنش آبیاری× اسید هیومیک بر درصد ملاس معنی‌دار است (جدول ۵). تنش خشکی باعث افزایش درصد ملاس شد (شکل ۷). تیمارهای آبیاری ۸۵، ۷۰ و ۴۵ درصد آبیاری باعث شد درصد ملاس به ترتیب ۷/۳، ۱۲/۶ و ۱۶ درصد افزایش یابد. کاربرد ۲، ۴ و ۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک به ترتیب درصد ملاس را ۲/۹ درصد افزایش و ۱/۴ و ۱۲/۹ درصد کاهش داد.

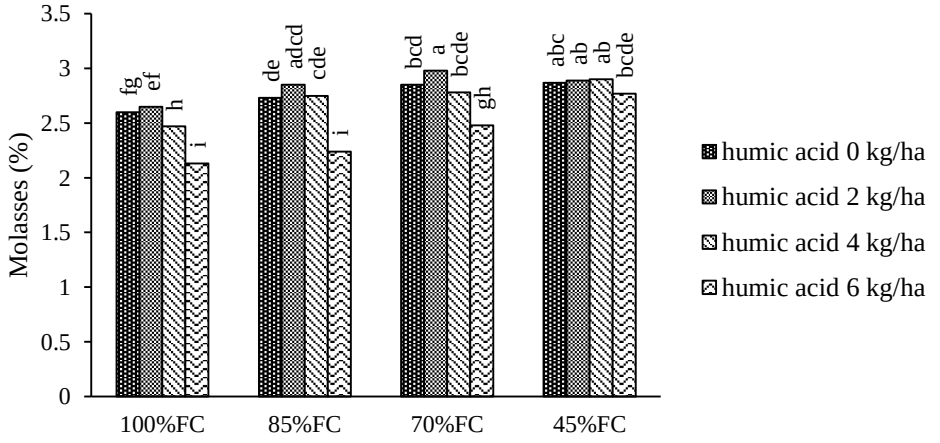


شکل ٦- مقایسه میانگین قند خالص چغندرقند در رژیم‌های آبیاری و مقادیر مختلف اسید هیومیک

میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد، با استفاده از آزمون LSD ندارند.

Fig. 6- Means comparisons for sugar beet pure sugar (%) under irrigation regimes and humic acid application conditions

Means with same letters don't have significant difference, LSD, 0.05.



شکل ۷- مقایسه میانگین درصد ملاس چغندرقند در رژیم‌های آبیاری و مقادیر مختلف اسید هیومیک

میانگین‌های دارای حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد، با استفاده از آزمون LSD ندارند.

Fig. 7- Means comparisons for sugar beet molasses (%) under irrigation regimes and humic acid application conditions

Means with same letters don't have significant difference, LSD, 0.05.

نتیجه گیری

نتایج نشـــان داد تنش خشـــکی باعث کاهش عملکرد ریشـــه چغندرقند می‌گردد اما کاربرد اســـید هیومیک تا حدودی اثرات مخرب تنش خ شکی را کاهش می‌دهد. بنابراین، در صورتی که امکان تأمین ۱۰۰ در صد رطوبت ظرفیت زراعی نبا شد، می‌توان با تأمین ۸۵ در صد رطوبت ظرفیت زراعی و کاربرد شش کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک نیز به عملکرد ریشه و قند قابل قبولی دست یافت.

منابع

Albayrak, S., and Camas, N. 2005. Effect of different levels and application times of humic acid on root and leaf yield and yield component of forage turnip. Journal of Agronomy 42: 130-133.

Bazza, M. 1993. Effect of drought stress and the time of its occurrence in the cycle on sugar beet yield and technological quality. Pp. 119-130. In: Proceedings of the 56th IIRB Winter Congress, Brussels, Belgium.
Cangi, R., Tarakcioglu, C., and Yasar, H. 2006. Effect of humic acid applications on yield, fruit characteristics and nutrient uptake in Ercis grape (*V. vinifera* L.) cultivar. Asian Journal of Chemistry 18: 1493-1499.
Delfine, S., Tognetti, R., Desiderio, E., and Alvino, A. 2005. Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. Agronomy for Sustainable Development 25: 183-191.
Earl, H.J., and Davis, R.F. 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. Agronomy Journal 95: 688-696.
Firoozabadi, M., Abdollahian-Noghabi, M., Rahimzadeh, F., Moghadam, M., Fisher, R.A., and Wood, J.T. 1979. Drought resistance in spring wheat cultivars. III, Yield associations with morpho-physiological traits. Australian Journal of Agricultural Research 30.
Gardner, F., Brentpearce, R., and Mitchell, R. 1985. Lowa States University Press.404 pp.
Harper, S.M., Kerven, G.L., Edwards, D.G., and Ostatek-Boczynski, Z. 2000. Characterisation of fulvic and humic acids from leaves of Eucalyptus camaldulesis and from decomposed hay. Soil Biochemistry 32: 1331-1336.
Jaggard, KW., Dewar, A.M., and Pidgeon, J.D. 1998. The relative effects of drought stress and virus yellows on the yield of sugar beet in the UK, 1980–1995. Journal of Agricultural Science 130: 337-343.
Jovzi, M., and Zare Abyaneh, H. 2016. Effects of nitrogen fertilizer and deficit irrigation on quantitative and qualitative traits of sugar beet. Journal of Sugar Beet 31: 156-141.
Khajepoor, M.R. 2007. Cultivation of Industrial Crops. Jihad Daneshgahi, Isfahan, Iran. 564 pp. (In Persian)
Mohammadian, R., Moghaddam, M., Rahimian, H., and Sadeghian, S.Y. 2005. Effect of early season drought stress on growth characteristics of sugar beet genotypes. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 29(5): 357-368.
Nadali, I.M.A.N., Paknejad, F.A.R.Z.A.D., Moradi, F.O.U.A.D., and Vazan, S.A.E.I.D. 2010. Effects of methanol on yield and some quality characteristics of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cv. Rasoul in drought and non-drought stress conditions. Seed and Plant Production Journal 26(1): 95-108.
Nikbakht, A., and Kafi, M. 2008. Effect of humic acid on plant growth. Journal of Plant Nutrition 31: 2155-2167.
Ober, E. 2001. The search for drought tolerance in sugar beet. British Sugar Beet 69(1): 40-43.
Ober, E.S., Clark, C.J.A., Jaggard, K.W., and Pidgeon, J.D. 2004. Progress towards improving the drought tolerance of sugar beet. Zuckerindustrie 129(2): 101–104.
Ourcut, D., and Nilsen, E.T. 2009. Salinity and drought stress. In: Physiology of Plants under Stress 177-235.
Pidgeon, J.D., Werker, A.R., Jaggard, K.W., Richter, G.M., Lister, D.H., and Jones, P.D. 2001. Climatic impact on the productivity of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Europe 1961–1995. Agricultural for Meteorology 109: 27–37.
Prasad, P.V.V., Pisipati, S.R., Mutava, R.N., and Tuinstra, M.R. 2008. Sensitivity of grain sorghum to high temperature stress during reproductive development. Crop Science 48(5): 1911-1917.
Rahi, A., Davoodifar, M., Azizi, F., and Habibi, D. 2012. Evaluation of humic acid and graph trends in *Dactylis glomerata*, Gronomy and Plant breeding 8(3): 15-28.
Sabzevari, S., and Khazaie, H.R. 2010. The effect of foliar application with humic acid on growth, yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Agroecology 1(2): 53-63. (In Persian with English Summary)
Sanjarimijani, M., Sirousmehr, A.R., and Fakheri, B. 2016. The effects of drought stress and humic acid on morphological traits, yield and anthocyanin of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). Journal of Agroecology 8(3): 346-358. (In Persian with English Summary)
Sardashti, A., and Alidoost, M. 2007. Evaluation of humic acid compounds in north forest soil of Iran. 15th congress of Crystal. Iran. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. 361pp. (In Persian with English Summary)
Scott, R.K., and Jaggard, K.W. 1993. Crop Physiology and Agronomy. In: D. A. Cooke and R. K. Scott (Eds.). The Sugar Beet Crop. pp. 179-237. Londan, Champan and Hall.
Shabala, S. 2011. Plant Stress Physiology. Cabi Press, 329 pp.
Sharif, M., Khattak, R.A., and Sarir, M.S. 2002. Effect of different levels of lignitic coal derived humic acid on growth of maize plants. Plant Analysis 33: 3567–3580.
Sharifi, M., and Dehghanian, E. 2014. Evaluation of root yield and sugar content of new sugar beet hybrid to deficit and optimum irrigation. Sugar Beet 30(2): 193-205.(In Persian with English Summary)
Souza Claudia, R., de, Maroco João, P., Santos Tiago, P., dos, Rodrigues, M., Lucília, Lopes Carlos, M., Pereira João, S. Chaves, M., Manuela. 2003. Partial root zone drying: regulation of stomatal aperture and carbon assimilation in field-grown grapevines (*Vitis vinifera* cv. Moscatel). Functional Plant Biology 30: 653-662.
Tan, K.H. 2003. Humic Matter in Soil and the Environment. Marcel Dekker, New York.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 185-198

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۹۸-۱۸۵

Influence of Drought Stress and Humic Acid on Growth, Yield and Sugar Production of Sugar Beet

A. Esmaili [1] and M.R. Tadayon[2*]

Submitted: 23-02-2017
Accepted: 13-08-2017
Esmaili, A and Tadayon, M.R. 2019. Influence of drought stress and humic acid on growth, yield and sugar production of sugar beet. Journal of Agroecology. 11(1):185-198.

Introduction

Most of the food for the world comes from some 150 plant species cultivated as crops. Sugar (the common name for sucrose) is obtained from only two crops, cane and beet. Sugar cane has been produced in large quantities in tropical regions for many centuries and continues to dominate the world supply of sugar. In contrast, sugar beet is a relatively new crop, appearing in temperate regions in the nineteenth century and spreading widely only in the twentieth century. Sugar beet is now grown in some 50 countries and provides about a quarter of the 140 Mt sugar currently used each year. In a world with increasing demand for water, and where agriculture consumes most of the available fresh water, the problem of how to maintain or increase agricultural productivity with sustainable use of water resources is an enormous challenge. Drought is a major limitation and the most significant environmental stress to crop productivity worldwide. This stress is the most important and common abiotic factor that limits sugar beet production in semi-arid regions and also in some parts of Europe. Due to putting Iran in the arid and semi-arid and climate, it is essential to study the effects of water stress on plant growth. In the last decade, the impact of drought has been recognized as a major cause of yield losses in sugar beet. Humic substances play a vital role in soil fertility and plant nutrition. Plants grown on soils which contain adequate humic acid are less subject to stress, are healthier, produce higher yields; and the nutritional quality of harvested foods and feeds are superior. Humic acid can be directly, have positive effects on plant growth. Shoots and roots growth is stimulated by the humic acid, but its effect on the roots, is more prominent, root volume and the effectiveness of its root system will increase by humic acid.

Materials and Methods

In order to study the effect of drought stress and humic acid on sugar beet an experiment was conducted as split plot in randomized complete block design (RCBD) base at Research Station of Shahrekord University in 2013. The main factor including: irrigation treatments (100%, 85%, 70% and 45% FC) and sub factors were humic acid at four levels (0, 2, 4 and 6 kg ha^{-1}). Before planting seeds were disinfected with benomyl fungicide. Then planting was conducted in 10 plants m^{-2} density. Irrigation treatments was applied 40 days after sowing (unfolding of third trifoliate leaf) and continued in the growing season. Humic acid application was performed at three stages inclusive 4^{th}, 8^{th} and 16^{th} leaf formation. Shoot dry weight, leaf area index, root diameter, root yield, sugar content, pure sugar percentage and molasses percentage was recorded. Data from these experiments were analyzed by analysis of variance using t-Student test for LSD calculation and are described as significant at the $P < 0.05$ level.

Results and Discussion

Shoots weight showed increasing trend at all treatments, but application of water restriction treatments reduced shoot weight. At all levels of irrigation and concentrations of humic acid, leaf area index showed an increasing trend until mid-season and then a gentler slope than the first half of the growing season began to fall. Deficit irrigation reduced root diameter but humic acid application increased it. Humic acid application increased root yield and increase the amount of humic acid, also increased the root yield. So that, highest root yield was recorded from of six kg.ha^{-1} humic acid treatment and the lowest root yield was obtained from the treatment of not using of humic acid application at each level of irrigation. Root yield in 85%, 70% and 45% of field capacity decreased by 4.2%, 11.3% and 18.2% respectively, while application

1 and 2- Msc. student and Associated Professor of Agronomy, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
(*- Corresponding Author Email: mrtadayon@yahoo.com)
DOI:10.22067/jag.v11i1.62811

of 2, 4 and 6 kg.ha^{-1} humic acid increased root yield by 416%, 84.8% and 110 % respectively. Application of 2, 4 and 6 kg.ha^{-1} humic acid reduced molasses percentage by 2.9%, 1.4% and 12.9% respectively.

Conclusion
Application of humic acid enhances the root yield so that treatments 2, 4 and 6 kg per hectare humic acid, increased root yield by 41.6, 84.8 and 110.5 percent respectively.

Keywords: Leaf area index, Pure sugar content, Root yield

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۲۱۵-۱۹۹

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 199-215

تأثیر تلقیح با قارچ *Piriformospora indica* بر عملکرد دانه، جذب و کارآیی مصرف نور سویا (*Glycine max* (L.) Merr.) تحت شرایط تنش کم‌آبی

گودرز احمدوند[1]* و سمیه حاجی‌نیا[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۰۷

احمدوند، گ.، و حاجی نیا، س. ۱۳۹۸. تأثیر تلقیح با قارچ *Piriformospora indica* بر عملکرد دانه، جذب و کارآیی مصرف نور سویا (*Glycine max* (L.) Merr.) تحت شرایط تنش کم‌آبی. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱(۱): ۲۱۵-۱۹۹.

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر تلقیح با قارچ *Piriformospora indica* بر جذب و کارآیی مصرف نور سویا (*Glycine max* (L.) Merr.) تحت شرایط تنش کم‌آبی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا در دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ اجرا شد. عامل اصلی آبیاری در سه سطح (آبیاری پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشت تبخیر) و عامل فرعی کاربرد قارچ *P. indica* در دو سطح (تلقیح و عدم تلقیح با قارچ) بود. صفات مورد بررسی شامل شاخص سطح برگ، ماده خشک، جذب تشعشع، کارآیی مصرف نور و عملکرد دانه بود. در هر دو سال زراعی با اعمال تنش کم‌آبی، سطح برگ و تجمع ماده خشک، کاهش یافت. کاربرد قارچ در سطوح مختلف آبیاری، سبب افزایش سطح برگ و تجمع ماده خشک شد. بیشترین مقدار کارآیی مصرف نور (۱/۷۵ و ۱/۸۵ گرم بر مگاژول به‌ترتیب در سال اول و دوم) در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ تحت شرایط عدم تنش کم‌آبی و کمترین مقدار آن (۱/۱۰ و ۱/۱۵ گرم بر مگاژول به‌ترتیب در سال اول و دوم) در گیاهان تلقیح نشده تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی به‌دست آمد. تنش شدید کم‌آبی، عملکرد دانه سویا را به‌میزان ۵۷/۲۰ درصد کاهش داد. قارچ *P. indica*، در شرایط عدم تنش، تنش متوسط و تنش شدید کم‌آبی، عملکرد دانه سویا را به‌ترتیب ۱۳/۶۷، ۲۲/۸۵ و ۲۲/۱۴ درصد در مقایسه با عدم تلقیح، افزایش داد. نتایج نشان‌دهنده تأثیر مثبت قارچ *P. indica* در سطوح مختلف آبیاری بر شاخص سطح برگ، ماده خشک، جذب و کارآیی مصرف نور سویا بود، به‌طوری‌که کاربرد قارچ منجر به کاهش اثرات تنش و بهبود عملکرد سویا تحت شرایط تنش کم‌آبی گردید.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، تشعشع فعال فتوسنتزی، قارچ درون‌زی، کارآیی مصرف تابش

مقدمه

سویا (*Glycine max* (L.) Merr.) از مهم‌ترین دانه‌های روغنی در جهان و ایران محسوب می‌شود و با دارا بودن ۲۵-۱۸ درصد روغن و ۵۰-۳۰ درصد پروتئین، یکی از منابع عمده تولید روغن و پروتئین گیاهی است و اهمیت ویژه‌ای در تغذیه انسان، دام و طیور دارد (Khajehpour, 2007). تنش کم‌آبی یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد سویا می‌باشد، به‌طوری که برآورد شده است تنش خشکی باعث کاهش ۲۴ تا ۵۰ درصدی عملکرد دانه سویا شده است (Sadeghipour & Abbasi, 2012).

تنش‌های محیطی از راه ایجاد محدودیت در تأمین مواد فتوسنتزی لازم، سبب کاهش رشد اندام‌های هوایی و عملکرد می‌شوند. یکی از بارزترین اثرات کاهش رشد گیاه، کاهش سطح برگ است. ابوطالبیان و همکاران (Aboutalebian et al., 2016) گزارش کردند با افزایش شدت تنش خشکی، حداکثر شاخص سطح برگ کاهش یافت به‌طوری که در تنش‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر در مقایسه با عدم تنش (۵۰ میلی‌متر تبخیر) شاخص سطح برگ به‌ترتیب ۳ و ۳۶ درصد کاهش یافت. گزارش شده است تنش کم‌آبی، میزان شاخص سطح برگ، جذب نور خورشید و ماده خشک در سویا را کاهش داد (Adeboye et al., 2016). از آن‌جا که برگ‌ها اندام اصلی فتوسنتز کننده در گیاه می‌باشند، لذا کاهش شاخص سطح برگ

۱ و ۲- به ترتیب دانشیار و دانش آموخته دکتری زراعت- فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا همدان
(*- نویسنده مسئول: Email: gahmadvand@basu.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v11i1.66827

در اثر تنش، سبب عدم ایجاد منبع فیزیولوژیکی کافی جهت استفاده از نور دریافتی و تأمین اسیمیلات‌های لازم برای پر کردن دانه و در نتیجه کاهش عملکرد می‌گردد (Sarmadnia & Koocheki, 1989). بنابراین از دیرباز، یکی از شیوه‌های ارزیابی کارکرد گیاهان، اندازه‌گیری مقدار نور دریافتی توسط گیاه و محاسبه کارآیی تبدیل آن به ماده خشک است تا جایی که از راه پایش الگوی دریافت تشعشع توسط تاج‌پوشش طی دوره رشد، می‌توان کاهش عملکرد ناشی از وقوع تنش‌های محیطی را تبیین کرد (Pazoki & Kariminejad, 2010).

تمام شواهد نشان می‌دهد که هر چه جذب نور در جامعهٔ گیاهی بیشتر باشد، عملکرد نیز بیشتر خواهد بود. عزت‌احمدی و همکاران (Ezzat Ahmadi et al., 2012) دریافتند که تنش خشکی سبب کاهش شاخص سطح برگ گندم (*Triticum aestivum* L.) و متعاقب آن کاهش قابل‌توجه کارآیی مصرف نور نسبت به حالت آبیاری مطلوب گردید. کاهش کارآیی مصرف نور در شرایط تنش خشکی نیز در سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) گزارش شده است (Garofalo & Rinaldi, 2015). از جمله دلایل کاهش کارآیی مصرف نور در گیاهان تحت شرایط تنش کم‌آبی، کاهش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی گزارش شده است (Garofalo & Rinaldi, 2015). دیمیرتاس و همکاران (Demirtas et al., 2010) با بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و کیفیت سویا، نشان دادند که تنش خشکی در طول مراحل رشد رویشی، عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار نداد، در حالی‌که اعمال یک یا چند تنش خشکی در طی پر شدن دانه، به کاهش قابل‌توجه عملکرد دانه منجر گردید.

یکی از راه‌های افزایش تحمل به تنش کم‌آبی و افزایش عملکرد در گیاهان زراعی، کاربرد قارچ‌های همزیست است. قارچ *Piriformospora indica* دارای رابطه همزیستی با ریشه اغلب گیاهان زراعی بوده و از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر و برخی عناصر کم‌مصرف، باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (Oelmuller et al., 2009). همچنین پتانسیل زیادی در افزایش تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی مانند خشکی دارد (Ghabooli et al., 2013; Xu et al., 2017). تلقیح ریشه گیاه ذرت (*Zea mays* L.) با قارچ *P. indica* در شرایط تنش خشکی سبب افزایش ماده خشک و کاهش اثرات تنش خشکی در گیاه ذرت شد (Xu et al., 2017). همچنین نامبردگان مشاهده نمودند غلظت پرولین و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهان تیمار شده با قارچ، نسبت به گیاهان شاهد، افزایش یافت. در پژوهشی دیگر نشان داده شده است که تلقیح ریشه گیاه جو (*Hordum vulgare* L.) با قارچ *P. indica* در شرایط تنش خشکی، سبب افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه جو به‌ترتیب به میزان ۳۹ و ۴۶ درصد نسبت به گیاهان تلقیح نشده گردید (Ghabooli et al., 2011). سایر تحقیقات نیز نشان دادند که تحت شرایط تنش خشکی می‌توان از قارچ *P. indica* در جهت افزایش رشد و عملکرد گیاه گندم استفاده نمود (Yaghoubian et al., 2014). ابوطالبیان و خلیلی (Aboutalebian & Kahlili, 2014) گزارش کردند کاربرد کود زیستی میکوریزا و کاربرد توأم آن با *برادی‌رایزوبیوم* (*Bradyrhizobium japonicum*) تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی، به‌ترتیب عملکرد دانه سویا را ۷۰ و ۹۳ درصد نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) افزایش داد.

با توجه به اهمیت به‌کارگیری روش‌های مناسب برای کاهش اثرات سوء تنش کم‌آبی، هدف از اجرای این تحقیق، بررسی تأثیر تلقیح با قارچ *P. indica* بر جذب و کارآیی مصرف نور، شاخص سطح برگ و عملکرد دانه سویا در سطوح مختلف آبیاری بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا همدان واقع در روستای دستجرد با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۶۹۰ متر از سطح دریا، طی دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ اجرا گردید. این منطقه از نظر اقلیمی بر اساس اقلیم‌نمای دومارتن جزء مناطق نیمه‌خشک و سرد، با میانگین بارندگی سالیانهٔ ۳۳۰ میلی‌لیتر است (Zare-Abyaneh et al., 2010).

مجموع بارندگی سال اول و دوم در طول دوره رشد، به‌ترتیب ۹/۷ و ۱۹/۱ میلی‌متر بود (جدول ۱). میانگین دمای محیط در طول دوره رشد، در سال اول آزمایش ۲۴/۱ درجه و در سال دوم ۲۴/۶ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۱).

میزان تبخیر روزانه از تشتک تبخیر کلاس A در طول دوره رشد سویا در سال اول از ۳/۸ تا ۱۶/۴ میلی‌متر و در سال دوم از ۴/۱ تا ۱۴/۸ میلی‌متر متغیر بود (شکل ۱).

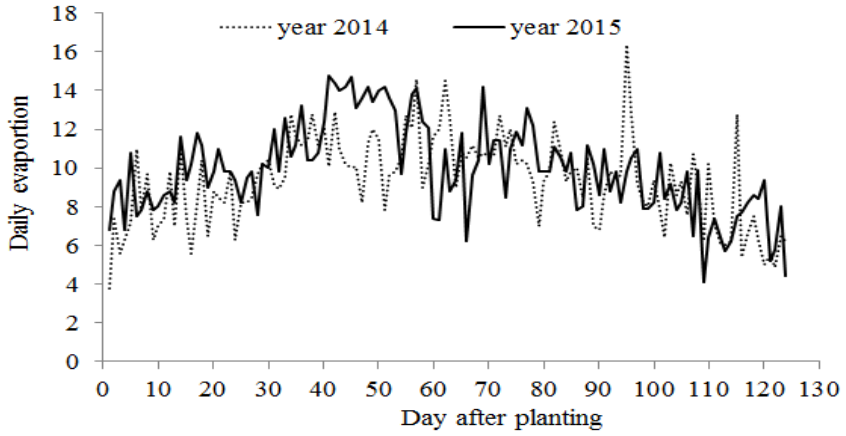
بافت خاک محل آزمایش لومی و سال قبل از اجرای آزمایش به‌صورت آیش بود. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است.

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. کرت‌های اصلی شامل رژیم‌های آبیاری در سه سطح (آبیاری پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی آب از تشت تبخیر کلاس A که به‌ترتیب به‌عنوان عدم تنش، تنش متوسط و تنش شدید کم‌آبی در نظر گرفته شدند) و قارچ *P. indica* در دو سطح (تلقیح و عدم تلقیح با قارچ) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

جدول ۱- دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای متوسط و میزان بارندگی در طول دوره رشد سویا در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤

Table 1- Maximum (T max), minimum (T min), and average temperature (T mean) and rainfall during growing season of soybean at 2014 and 2015 years

روز پس از کاشت Day after planting	2014				2015			
	دمای حداقل T min (◦C)	دمای حداکثر T max (◦C)	متوسط دما T mean (◦C)	بارندگی Rainfall (mm)	دمای حداقل T min (◦C)	دمای حداکثر T max (◦C)	متوسط دما T mean (◦C)	بارندگی Rainfall (mm)
0-10	8.9	27.0	18.8	8.8	10.5	29.6	21.0	0.2
10-20	10.0	28.8	20.5	0.1	12.5	34.2	24.2	0.0
20.30	11.4	30.3	22.3	0.3	11.1	33.1	23.4	0.0
30-40	15.2	35.1	26.0	0.0	13.3	35.4	25.2	0.0
40-50	14.9	33.6	25.1	0.3	19.1	37.8	29.6	0.0
50-60	17.3	36.9	28.7	0.0	17.6	35.9	27.3	4.0
60-70	15.7	35.3	26.2	0.0	13.6	33.9	24.6	0.0
70-80	14.4	36.6	26.3	0.0	14.4	35.4	26.2	0.0
80-90	15.3	35.5	25.9	0.2	14.9	36.9	26.9	0.0
90-100	14.6	34.2	25.2	0.0	13.4	36.4	24.8	0.0
100-110	12.2	33.0	23.5	0.0	11.9	30.5	21.1	13.5
110-120	12.2	31.2	22.2	0.0	12.3	28.7	20.5	0.0



شکل ۱- میزان تبخیر روزانه (میلی‌متر) در طول دوره رشد سویا در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤

Fig. 1- Daily evaporation (mm) during growing season of soybean at 2014 and 2015 years

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک)

Table 2- Physical and chemical characteristics of experimental field soil (soil depth 0-30 cm)

سال Year	بافت Texture	هدایت الکتریکی EC (dS. m^{-1})	اسیدیته pH	ماده آلی Organic Matter (%)	فسفر قابل جذب Available P (ppm)	پتاسیم قابل جذب Available K (ppm)	نیتروژن کل Total N (%)
2014	لومی Loam	0.38	7.50	1.10	20.00	456.00	0.08
2015	لومی Loam	0.18	8.00	1.00	11.00	326.00	0.02

جدایه قارچ *P.indica* در ارلن‌های حاوی ۵۰۰ میلی‌لیتر محیط کشت مایع اختصاصی (Hill & Kafer, 2001)، کشت و بر روی شیکر با دور 100 rpm قرار گرفت و پس از ۲۰ روز اقدام به جمع‌آوری میسلیوم‌ها شد. در نهایت ۱۰ گرم از اندام‌های قارچی (میسلیوم‌ها و اسپور) با ۱۰۰ گرم ماسه بادی استریل مخلوط و به عنوان مایه تلقیح استفاده شد (Tripathi et al., 2013). تکثیر قارچ در آزمایشگاه‌های گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا صورت گرفت. جهت اعمال تیمار قارچ، بذرها با مایه تلقیح (به میزان ۱۰۰ گرم مایه تلقیح به ازای هر کیلوگرم بذر) آغشته و بلافاصله اقدام به کشت گردید (Tripathi et al., 2013).

بذر مورد استفاده سویا رقم M_9 از مرکز تحقیقات دانه‌های روغنی الشتر (لرستان) تهیه شد. رقم سویا جزء ارقام رشد نامحدود از گروه رسیدگی سه با دورهٔ رشدی ۱۲۰ روز و مقاوم به ورس می‌باشد. عملیات کاشت سویا در سال اول و دوم به‌ترتیب در دهم و اول خرداد ماه در کرت‌هایی شش ردیفه با طول چهار متر و فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر انجام شد. فاصله نهایی بوته‌ها روی خطوط کاشت، پنج سانتی‌متر بود. کاشت بذر با تراکم دو برابر انجام و برای دست‌یابی به تراکم مطلوب ۴۰ بوته در مترمربع، گیاهان در مرحله چهار تا شش برگی تنک شدند.

اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت بذور انجام گرفت. گیاهان تا مرحله سه برگی به طور منظم و یکنواخت آبیاری شدند. بعد از این مرحله اعمال تیمارهای آبیاری بر اساس تبخیر از تشت تبخیر کلاس A صورت گرفت. میزان تبخیر با نصب تشت تبخیر کلاس A در مزرعه به‌طور روزانه اندازه‌گیری شد و آبیاری هر تیمار، پس از رسیدن میزان تبخیر تجمعی به مقدار مورد نظر، انجام شد. آبیاری به صورت جوی و پشته‌ای و با لوله‌های پلی‌اتیلنی انجام و مقدار آب مصرفی در هر بار آبیاری با استفاده از کنتور، کنترل گردید. نیاز آبی هر گیاه، با تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش فائو پنمن مونتیث و ضرایب گیاهی در منطقه مورد آزمایش از معادله‌های یک و دو تعیین گردید (Allen et al., 1998). برای تعیین تبخیر و تعرق مرجع از داده‌های تبخیر از تشت تبخیر کلاس A و ضرایب تشت استفاده شد (Allen et al., 1998).

معادله (۱) $ET_0= K_p\times E_{pan}$

در این معادله E_{pan}، K_p و ET_0: به ترتیب تبخیر از تشت، ضریب تشت و تبخیر و تعرق مرجع است. در این تحقیق ضریب تشت محاسبه شده از روش پیشنهاد شده آلن و همکاران (Allen et al., 1998)، با توجه به موقعیت و محل استقرار آن به طور میانگین ۰/۶۵ منظور شد.

معادله (۲) $ET_{crop}= K_c\times ET_0$

در این معادله ET_{crop}: تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر در روز)، K_c: ضریب گیاهی (بدون واحد) است (Allen et al., 1998). برای تعیین ضرایب گیاهی سویا در مراحل مختلف نمو از دستورالعمل فائو استفاده گردید (Allen et al., 1998). حجم آب مورد نیاز در هر بار آبیاری با در نظر گرفتن بارندگی موثر، مساحت هر کرت و راندمان آبیاری (۸۰ درصد) برآورد گردید (Doorenbos & Kassam, 1979). میزان آب مصرفی در طول دوره رشد در جدول ۳ بیان شده است.

جدول ۳- مقدار آب مصرف شده (مترمکعب در هکتار) در طول دوره رشد سویا

Table 3- The amount of water used ($m^3 .ha^{-1}$) in soybean growing season

آبیاری Irrigation (mm evaporation from pan class A)	2014	2015
60	6840	7106
90	5220	5440
120	4140	4284

در ابتدای فصل، هر کرت به دو قسمت تقسیم شد که در یک قسمت نمونه‌گیری‌های تخریبی و قسمت دیگر به برآورد عملکرد اختصاص یافت. به منظور تعیین وزن خشک کل و سطح برگ، از ۳۰ روز پس از کاشت، نمونه‌برداری تخریبی آغاز شد و هر ۱۵ روز یک بار تا انتهای دوره رشد، ادامه یافت. بدین منظوردر هر بار نمونه‌برداری، سه بوته به‌طور کاملاً تصادفی و با در نظر گرفتن اثر حاشیه از هر یک از کرت‌ها برداشت شد و به آزمایشگاه منتقل گردید. جهت تعیین شاخص سطح برگ از دستگاه سطح برگ سنج استفاده شد. همچنین جهت تعیین وزن خشک کل سویا نیز ابتدا نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و سپس توسط ترازو توزین گردیدند. به منظور بیان تغییرات شاخص سطح برگ سویا نسبت به روزهای بعد از کاشت، از معادله لجستیک- پیک (معادله ۳) استفاده گردید (Hosseinpanahi et al., 2010).

معادله

$$Y= a+b\times4\times(\exp(-(x-c)/d))/(1+\exp(-(x-c)/d))^{\wedge2} \quad (۳)$$

در این معادله، a: عرض از مبداء، b: زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ، c: حداکثر شاخص سطح برگ و d: نقطه عطف منحنی که در آن رشد سطح برگ وارد مرحله خطی می‌شود و x: زمان بر حسب روزهای پس از کاشت است.

جهت ارزیابی تغییرات ماده خشک سویا در زمان، معادله سیگموئیدی (معادله ۴) بهترین برازش را به داده‌های به‌دست آمده داشت (Hosseinpanahi et al., 2010).

$$TDM= a /(1+ b \times exp(-c \times x)) \quad (۴)$$ معادله

در این معادله TDM: تجمع ماده خشک برحسب گرم در مترمربع، a: حداکثر تجمع ماده خشک، b: ثابت معادله، c: سرعت رشد نسبی و x: زمان بر حسب روز پس از کاشت است.

جهت محاسبه میزان جذب و کارآیی مصرف تابش، ابتدا میزان تشعشع روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی همدان به روش ارائه شده توسط خودریان و فن‌لار (Goudriaan & Van Laar, 1994) محاسبه گردید. سپس این مقادیر بر اساس تعداد ساعات آفتابی گرفته شده در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ از ایستگاه هواشناسی مرکز همدان، اصلاح و نور جذب شده روزانه برای سویا بر اساس معادله ۵ محاسبه شد (Tsubo et al., 2005). سپس تشعشع جذب شده از حاصل‌ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در درصد نور جذب شده به‌دست آمد. مقدار کل تشعشع جذب شده به صورت تجمعی از طریق حاصل ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در انتگرال کسر تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده نسبت به زمان، محاسبه گردید.

$$I_{abs}= I_0 \times (1-p) \times (1- exp(-k \times LAI) \quad (۵)$$ معادله

I0: مقدار تشعشع رسیده به بالای تاج پوشش سویا (مگاژول بر مترمربع)، I_{abs}: مقدار تشعشع جذب شده توسط تاج پوشش سویا (مگاژول بر مترمربع)، p: ضریب انعکاس (۰/۰۵)، K: ضریب خاموشی نور در سویا (۰/۵۰) و LAI: شاخص سطح برگ سویا است (Muchow, 1985). کارآیی مصرف نور بر حسب گرم بر مگا ژول، از طریق محاسبه شیب خط رگرسیونی بین ماده خشک (گرم در متر مربع) و میزان تشعشع جذب شده بصورت تجمعی (مگاژول بر متر مربع) محاسبه گردید (Tsubo et al., 2005). برای تعیین عملکرد دانه گیاه سویا، در هر دو سال زراعی در تاریخ ۱۰ مهر با لحاظ حاشیه، سطحی معادل دو مترمربع، برداشت شد.

قبل از تجزیه واریانس داده‌ها، ابتدا یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی با استفاده از آزمون بارتلت بررسی گردید. تجزیه واریانس مرکب داده‌ها بر اساس مدل تصادفی بودن سال و با فرض ثابت بودن فاکتورهای آبیاری و قارچ بر روی صفات انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. تجزیه آماری داده‌ها با نرم‌افزارهای SAS var 9.1 و MSTAT انجام شد و برای برازش منحنی‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای Slide Write و Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

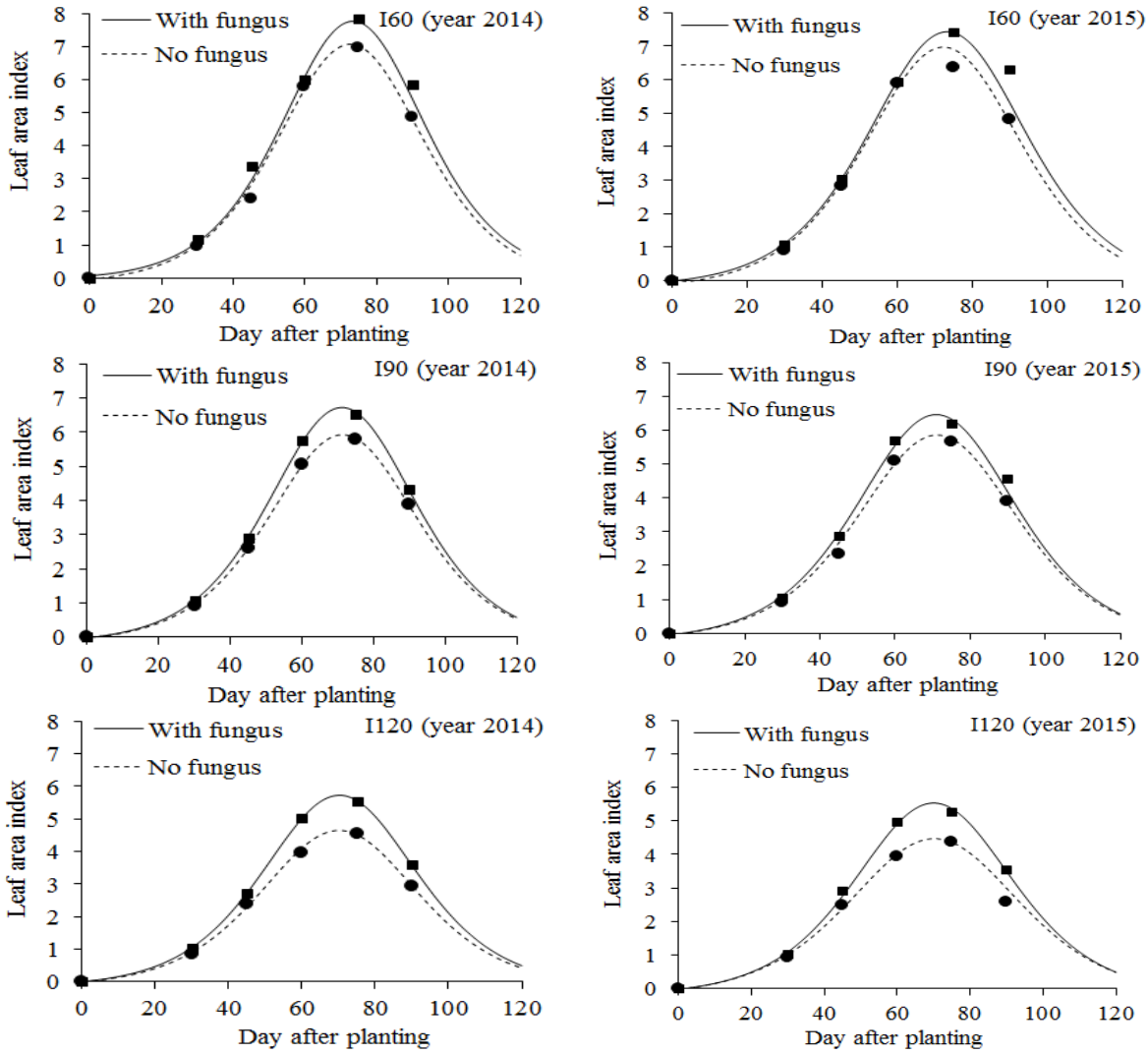
نتایج این آزمایش حاکی از روند مشابه تغییرات شاخص سطح برگ سویا در طول فصل رشد صرف‌نظر از نوع تیمار در هر دو سال زراعی بود (شکل ۲). به‌طوری‌که در ابتدای فصل رشد با گذشت زمان، شاخص سطح برگ به کندی افزایش یافت و در ادامه افزایش شاخص سطح برگ روند خطی پیدا کرد تا این‌که در حدود ۷۵–۷۰ روز پس از کاشت به حداکثر مقدار خود رسید و در اواخر فصل رشد به‌دلیل پیری و ریزش برگ‌های پایین تاج‌پوشش، روند نزولی در پیش گرفت (شکل ۲).

نتایج نشان داد تنش کم‌آبی باعث کاهش حداکثر شاخص سطح برگ سویا شد، چنین روندی در هر دو سال زراعی به‌خوبی مشهود بود. کاربرد قارچ *P. indica* موجب کاهش اثرات نامطلوب تنش کم‌آبی و مانع از کاهش شدید سطح برگ سویا تحت شرایط تنش کم‌آبی شد. در سال اول، گیاهان سویا تلقیح شده با قارچ *P. indica* تحت شرایط عدم تنش کم‌آبی، حداکثر شاخص سطح برگ معادل ۷/۷۵ را به خود اختصاص دادند. کمترین میزان این صفت (۴/۵۱) نیز در گیاهان تلقیح نشده تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی به‌دست آمد (شکل ۲). در سال دوم، بیشترین و کمترین شاخص سطح برگ سویا به‌ترتیب در گیاهان سویا تلقیح شده با قارچ *P. indica* در شرایط عدم تنش کم‌آبی (۷/۴۳) و گیاهان تلقیح نشده در شرایط تنش شدید کم‌آبی (۴/۳۸) به‌دست آمد (شکل ۲).

رشد برگ اولین فرآیندی است که به تنش کم‌آبی واکنش نشان داده و کاهش می‌یابد. تنش کم‌آبی در طول دوره رشد رویشی منجر به کوچک شدن، تسریع در زردی و پیر شدن برگ‌ها گردیده و شاخص سطح برگ و میزان جذب نور توسط گیاه را کاهش می‌دهد. این نتایج مطابق با یافته‌های بسیاری از محققان در زمینه کاهش شاخص سطح برگ سویا تحت تأثیر تنش کم‌آبی بود (Adeboye et al., 2016; Aboutalebian et al., 2016). کاهش محتوای نسبی آب برگ، کاهش پتانسیل فشاری سلول‌های برگ و افزایش میزان اسید آبسزیک، باعث توقف رشد برگ و کاهش تقسیم سلولی شده و تأمین نشدن اسیمیلات مورد نیاز برای رشد برگ و کاهش فتوسنتز از مهم‌ترین علل احتمالی کاهش شاخص سطح برگ بر اثر تنش خشکی ذکر شده است (Anjum et al., 2011).

افزایش شاخص سطح برگ با کاربرد قارچ به‌خصوص در شرایط تنش کم‌آبی احتمالاً می‌تواند به علت بهبود جذب عناصر غذایی به‌ویژه عنصر فسفر در خاک باشد که باعث افزایش تعداد و سطح برگ گیاه شده است (Oelmuller et al., 2009). در پژوهشی روی ذرت تحت شرایط تنش کم‌آبی مشاهده شد. همزیستی با قارچ *P. indica* باعث افزایش سطح برگ و تحمل گیاه ذرت به خشکی شده است (Xu et al., 2017). افزایش سطح برگ در واقع به افزایش بازده فتوسنتزی برگ و سرانجام، افزایش ماده خشک منجر می‌شود.

در بیشتر آزمایشات صورت گرفته در رابطه با همزیستی قارچ‌های میکوریز، عنوان شده که کاربرد این قارچ‌ها و ریزجانداران، باعث بهبود شاخص سطح برگ شده است (Ghabooli et al., 2011; Aboutalebian et al., 2016). در حقیقت، قارچ *P. indica* علاوه بر فراهم کردن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، از طریق تولید هورمون‌های محرک رشد، می‌تواند اثرات مثبتی را در گیاه ایجاد نماید (Michal Johnson et al., 2013). افزایش شاخص سطح برگ در گیاهان تلقیح شده با قارچ *P. indica* به‌ویژه در شرایط تنش شدید کم‌آبی، بیانگر سودمندی اثرات قارچ *P. indica* در بهبود جذب آب، عناصر غذایی، فتوسنتز و در نهایت سطح برگ گیاه بود.



شکل ۲- تأثیر قارچ *Piriformospora indica* بر شاخص سطح برگ سویا در رژیم‌های مختلف آبیاری طی دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤

Fig. 2- Effect of fungus *Piriformospora indica* on leaf area index of soybean under different irrigation regimes in both years (2014 and 2015)

جدول ٤- پارامترهای مدل غیر خطی برازش داده شده تیمارهای رژیم آبیاری و قارچ بر روند شاخص سطح برگ سویا

Table 4- Effect of non linear model parameters fitted to irrigation regimes and fungus on leaf area index of soybean

آبیاری Irrigation (mm evaporation from pan class A)	قارچ Fungus	2014					2015				
		a	b	c	d	R^2	a	b	c	d	R^2
60	با قارچ With fungus	-0.09	7.84	73.5	13.56	0.99	-0.17	7.61	73.4	14.16	0.99
	بدون قارچ No fungus	-0.16	7.27	72.6	13.58	0.95	-0.24	7.22	72.3	14.02	0.99
90	با قارچ With fungus	-0.18	6.89	71.0	13.74	0.99	-0.23	6.70	71.1	14.28	0.96
	بدون قارچ No fungus	-0.16	6.07	71. 6	14.00	0.99	-0.22	6.09	71.2	14.31	0.99
120	با قارچ With fungus	-0.15	5.89	70.4	14.04	0.96	-0.19	5.75	69.9	14.34	0.98
	بدون قارچ No fungus	-0.16	4.81	70.1	14.49	0.98	-0.24	4.71	70.2	15.66	0.99

a: عرض از مبداء، b: زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ، c: حداکثر شاخص سطح برگ و d: نقطه عطف منحنی که در آن رشد سطح برگ وارد مرحله خطی می‌شود

a: Intercept, b: Time to reach the maximum leaf area index, c: Maximum leaf area index and d: The curve turning point (when leaf area index inters the linear phase).

ماده خشک

در هر دو سال زراعی، تجمع ماده خشک (صفر تا ۱۲۰ روز پس از کاشت) در طول زمان از یک رابطه سیگموئیدی تبعیت کرد. در ابتدای دوره رشد، تجمع ماده خشک درهمه تیمارها پایین بود و اختلاف چندانی بین تیمارهای آبیاری و قارچ دیده نشد. با بزرگ شدن گیاه، رشد اندام‌های هوایی و سطح فتوسنتز کننده افزایش یافته و سرعت تجمع ماده خشک بیشتر شد، به‌طوری که در تیمار عدم تنش کم‌آبی به‌علت فراهم بودن آب قابل استفاده در مقایسه با سایر تیمارها ماده خشک بیشتری در واحد سطح تولید گردیده و این اختلاف با افزایش رشد گیاه زیادتر شده است. در حدود ۱۰۰ روز پس از کاشت، تجمع ماده خشک به بیشترین مقدار خود رسید و از آن پس روند تقریباً ثابتی را دنبال کرد (شکل ۳).

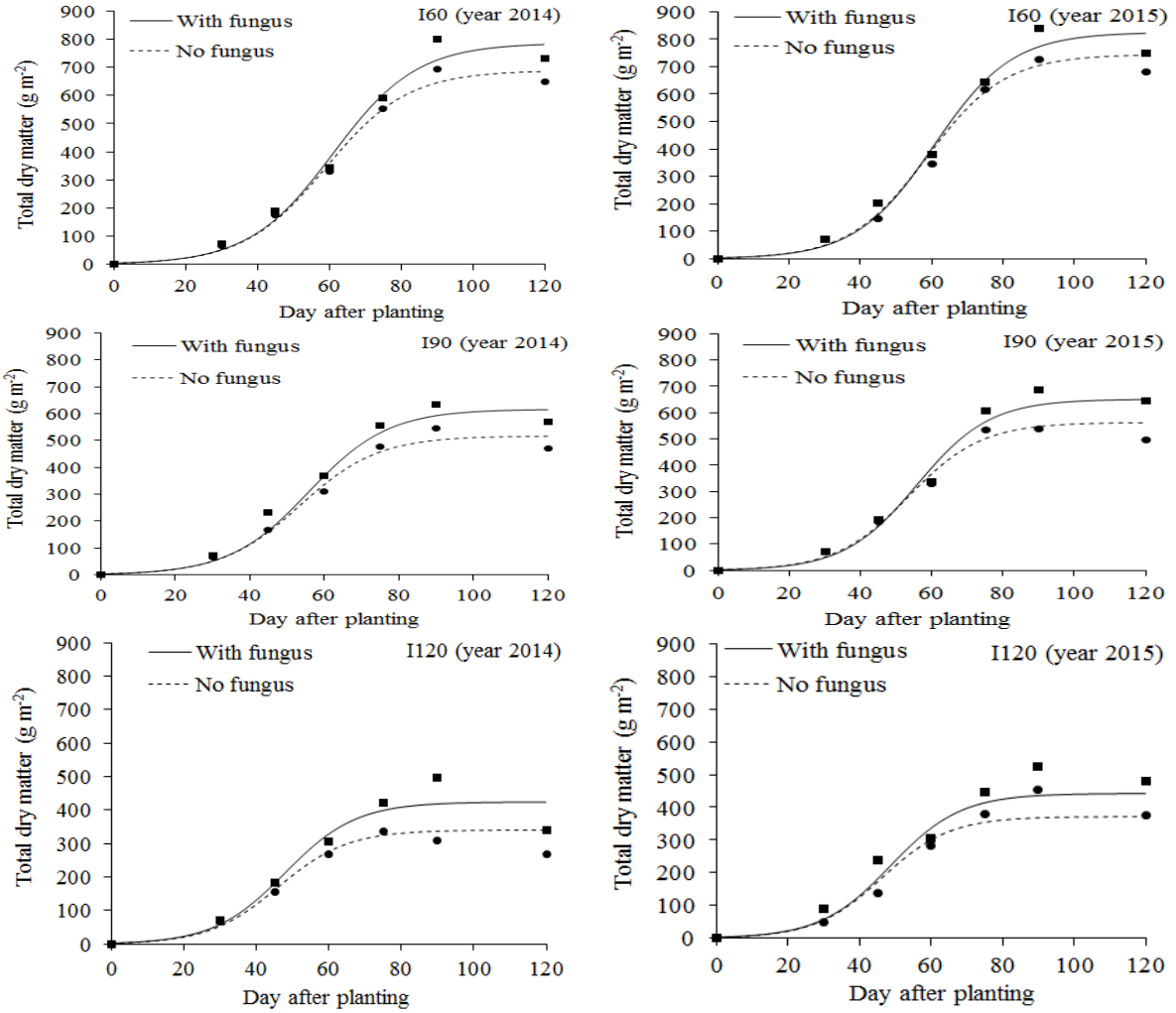
نتایج نشان داد که حداکثر تجمع ماده خشک سویا در هر دو سال زراعی تحت تأثیر تیمارهای تنش کم‌آبی و کاربرد قارچ *P. indica* قرار گرفت. تحت شرایط عدم تنش کم‌آبی، بیشترین تجمع ماده خشک در سال اول (۷۹۸ گرم بر متر مربع) و در سال دوم (۸۶۹ گرم بر متر مربع) با کاربرد قارچ *P. indica* به‌دست آمد که به‌ترتیب ۱۵/۰۲ و ۱۱/۹۸ درصد بیشتر از تیمار بدون قارچ بود. تحت شرایط تنش متوسط کم‌آبی، بیشترین تجمع ماده خشک در سال اول (۶۳۳ گرم بر متر مربع) و در سال دوم (۶۸۶ گرم بر متر مربع) مربوط به گیاهان تلقیح شده با قارچ *P. indica* بود که نسبت به گیاهان تلقیح نشده به‌ترتیب ۱۶/۴۷ و ۱۲/۸۵ درصد افزایش یافت. تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی، تلقیح با قارچ *P. indica* تجمع ماده خشک در سال اول و دوم را نسبت به شاهد به‌ترتیب ۲۱/۵۳ و ۱۵/۶۰ درصد افزایش داد (شکل ۳).

کاهش بسیار شدید سطح برگ و عدم جذب تشعشع کافی و نیز کاهش تولیدات فتوسنتزی، باعث کاهش ماده خشک تحت شرایط تنش کم‌آبی شد. تنش کم‌آبی با محدودیت‌هایی که در جذب آب توسط گیاه و همچنین جذب عناصر غذایی برای گیاه ایجاد می‌کند باعث کاهش ماده خشک می‌شود (Ashraf & Foolad, 2007). اسبورن و همکاران (Osborne et al., 2002) بیان داشتند که علت افزایش تولید ماده خشک در شرایط آبیاری مطلوب، گسترش بیشتر و تداوم سطح برگ بود که موجب ایجاد منبع فیزیولوژیکی کافی جهت استفاده هر چه بیشتر از نور دریافتی و تولید ماده خشک در ذرت گردید. دانشیان و همکاران (Daneshian et al., 2011) اثر تنش کم‌آبی را بر تجمع ماده خشک و شاخص‌های رشد سویا، بررسی کردند. تنش کم‌آبی به‌دلیل کاهش سطح برگ، میزان تجمع ماده خشک را در گیاه کاهش داد.

با توجه به اثرات مثبت قارچ *P. indica* بر سطح برگ و جذب نور، بدیهی است که ماده خشک در گیاهان تلقیح شده نسبت به گیاهان تلقیح نشده افزایش یابد. قارچ با ارتقای سطح جذب ازطریق میسلیوم‌های خود، فراهمی آب و عناصر را برای گیاه افزایش می‌دهد

و بهبود میزان فتوسنتز، تولید قندها و مواد ذخیره‌ای را موجب می‌شود و در نتیجه رشد اندام‌های هوایی و ریشه‌ها افزایش می‌یابد. افزایش تجمع ماده خشک می‌تواند وابسته به سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر و جذب مقادیر بالای عناصر غذایی از جمله فسفر و آهن و در نتیجه بهبود رشد گیاه باشد (Oelmuller et al., 2009). همچنین قارچ از طریق تولید هورمون اکسین، سبب افزایش طول ریشه و جذب بیشتر عناصر غذایی می‌شود که نتیجهٔ آن بهبود رشد اندام‌های هوایی گیاه است (Michal Johnson et al., 2013). از آن‌جا که قارچ از مناطق خشک و بیابانی جداسازی شده است، این احتمال می‌رود که توانایی القای مقاومت به خشکی را داشته باشد (Oelmuller et al., 2009).

علی‌اصغرزاده و همکاران (Aliasgharzad et al., 2006) در آزمایشی روی سویا تحت شرایط تنش کم‌آبی گزارش نمودند که گیاهان تیمار شده با *برادی‌رایزوبیوم ژاپونیکوم* (*Bradyrhizobium japonicum*) و *گلوموس اتونیکاتوم* (*Glumus etanicatum*) دارای وزن خشک اندام‌های هوایی بالاتر و پتانسیل آب بیشتری بودند و مکانیزم اصلی ایجاد شده در این گیاهان را اجتناب از خشکی عنوان نمودند. اثرات مثبت قارچ *P. indica* بر افزایش مقدار وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه ذرت در شرایط تنش خشکی نیز توسط سایر محققان گزارش شده است (Xu et al., 2017).



شکل ۳- تأثیر قارچ *Piriformospora indica* بر ماده خشک کل سویا در رژیم‌های مختلف آبیاری طی دو سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴

Fig. 3- Effect of fungus *Piriformospora indica* on total dry matter of soybean under different irrigation regimes in both years (2014 and 2015)

جذب تشعشع

الگوی تغییرات زمانی جذب تشعشع در همه تیمارها در هر دو سال زراعی از الگوی رشد سطح برگ تبعیت کرد. بدین ترتیب که متناسب با افزایش شاخص سطح برگ، میزان تشعشع جذب شده توسط تاج‌پوشش گیاه در تمامی تیمارها نیز به‌تدریج افزایش یافت و سپس به‌علت کاهش شاخص سطح برگ در انتهای دوره رشد، روند نزولی در پیش گرفت (شکل ۴). این موضوع با نتایج سایر محققان مبنی بر تطابق روند افزایش شاخص سطح برگ با روند جذب تشعشع، مطابقت دارد (Yousef Nia et al., 2015).

نتایج نشان داد که درصد جذب نور با کاربرد قارچ *P. indica* در سطوح مختلف آبیاری در هر دو سال، افزایش یافت (شکل ۴). در سال اول میزان کل تشعشع جذب شده در بالای تاج‌پوشش در ۷۷ روز پس از کاشت سویا معادل ۱۶/۴۵ مگاژول بر متر مربع در روز بود. بیشترین میزان نور جذب شده (۱۵/۳۳ مگاژول بر متر مربع در روز) در گیاهان سویا تلقیح شده با قارچ تحت شرایط عدم تنش کم‌آبی و کمترین میزان (۱۱/۸۹ مگاژول بر متر مربع در روز) تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی و عدم تلقیح با قارچ، مشاهده شد (شکل ۴). در سال دوم در ۸۵ روز پس از کاشت، کل تشعشع جذب شده حدود ۱۷/۰۳ مگاژول بر متر مربع در روز بود (شکل ۴). گیاهان سویا تلقیح شده با قارچ تحت شرایط عدم تنش با ۱۵/۵۶ مگاژول بر مترمربع در روز، بیشترین و گیاهان تلقیح نشده تحت شرایط عدم تنش کم‌آبی با ۱۲/۹۵ مگاژول بر مترمربع در روز، کمترین جذب تشعشع را دارا بودند (شکل ۴). با اعمال تنش کم‌آبی، میزان جذب نور فعال فتوسنتزی کاهش یافت (شکل ۴). احتمالاً این کاهش جذب نور ناشی از کاهش سطح برگ بوده است. تنش کم‌آبی، سطح برگ گیاه را به علت پژمردگی و جمع شدن پهنک، کاهش می‌دهد، با کاهش سطح برگ، جذب تشعشع فعال فتوسنتزی کاهش می‌یابد (Ngugi et al., 2013). موچو (Muchow, 1985) گزارش کرد که وقوع تنش کم‌آبی از زمان استقرار گیاهچه و ادامه یافتن آن تا زمان بلوغ بقولات دانه‌ای مختلف مانند سویا، باعث کاهش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی و مقدار ماده خشک اندام‌های هوایی می‌شود. همچنین گزارش شده است بیشترین میزان تشعشع فعال فتوسنتزی سویا (۳۹۲ مگاژول بر مترمربع در روز) تحت شرایط آبیاری کامل و کمترین میزان (۳۳۳ مگاژول بر متر مربع) تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی، به‌دست آمده است (Adeboye et al., 2016).

جذب نور توسط تاج‌پوشش سویا در گیاهان تلقیح شده با قارچ بیشتر بود که به نظر می‌رسد، به علت رشد بهتر و سطح برگ بیشتر سویا از طریق فراهم شدن آب و عناصر غذایی باشد. گوش (Ghosh, 2000) ضمن بررسی اثر کودهای زیستی و هورمون‌های رشد بر تولید کنجد (*Sesamum indicum* L.)، گزارش کرد که کارآیی جذب انرژی تابشی به میزان سطح برگ و توزیع برگ‌ها در داخل سایه‌انداز، بستگی داشت. تولید ماده خشک و عملکرد نهایی به میزان تشعشع جذب شده و کارآیی مصرف نور وابسته است و جذب نور نیز به نوبه خود به میزان تشعشع برخورد کرده به تاج‌پوشش و شاخص سطح برگ بستگی دارد (Shariatmadari et al., 2011). بنابراین هر گونه شرایط نامساعد محیطی مانند عدم تأمین آب مطلوب مورد نیاز برای گیاه باعث کاهش سطح برگ و در نتیجه کاهش جذب نور می‌شود که در نتیجه موجب کاهش فتوسنتز و عملکرد می‌گردد.

جدول ۵- پارامترهای مدل غیر خطی برازش داده شده تیمارهای رژیم آبیاری و قارچ بر روند ماده خشک کل سویا
Table 5- Non linear model parameters fitted to irrigation regimes and fungus on total dry matter of soybean

آبیاری Irrigation (mm evaporation from pan class A)	قارچ Fungus	2014				2015			
		a	b	c	R^2	a	b	c	R^2
60	با قارچ With fungus	786	182	0.08	0.98	825	256	0.09	0.97
	بدون قارچ No fungus	688	172	0.08	0.98	744	219	0.09	0.97
90	با قارچ With fungus	616	182	0.09	0.98	651	238	0.09	0.95
	بدون قارچ No fungus	516	159	0.09	0.97	562	183	0.09	0.95
120	با قارچ With fungus	424	130	0.101	0.93	422	139	0.101	0.91
	بدون قارچ No fungus	340	121	0.104	0.92	371	133	0.105	0.89

a: حداکثر تجمع ماده خشک، b: ثابت معادله و c: سرعت رشد نسبی

a: Maximum dry matter, b: A constant coefficient and c: Relative growth rate

کارآیی مصرف نور

در هر دو سال زراعی، تجمع ماده خشک سویا ارتباط خطی با تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی داشت و ضریب همبستگی آن در بین تیمارهای مختلف بین ۰/۷۳ تا ۰/۸۶ متغیر بود. شیب این ارتباط، بیانگر کارآیی مصرف نور در سویا است (شکل ۵).

تحت شرایط عدم تنش کم‌آبی، بیشترین مقدار کارآیی مصرف نور (۱/۷۵ و ۱/۸۵ گرم بر مگاژول به‌ترتیب در سال اول و دوم) در گیاهان سویا تلقیح شده با قارچ، به‌دست آمد که به‌ترتیب ۱۳/۳۷و ۴/۵۱ درصد بیشتر از گیاهان تلقیح نشده بود (شکل ۵). تحت شرایط تنش متوسط کم‌آبی، با کاربرد قارچ *P. indica*، بیشترین میزان کارآیی مصرف نور به میزان ۱/۵۱ و ۱/۷۱ گرم بر مگاژول به‌ترتیب در سال اول و دوم در گیاهان تلقیح شده با قارچ مشاهده گردید که نسبت به گیاهان تلقیح نشده به‌ترتیب ۱۲/۷۸ و ۹/۶۱ درصد، بیشتر بود (شکل ۵). تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی، بیشترین کارآیی مصرف نور در گیاهان تلقیح شده با قارچ مشاهده گردید، که ۱۷/۴۸ و ۱۷/۸۷ درصد در مقایسه با عدم تلقیح با قارچ، افزایش یافته بود (شکل ۵).

مقادیر گزارش شده برای کارآیی مصرف نور سویا در مطالعات مختلف بسته به شرایط آزمایش، متفاوت می‌باشد. سینگر و همکاران (Singer et al., 2011) مقدار کارآیی مصرف نور را در سویا، ۱/۴۴ گرم بر مگاژول بیان کردند، که در محدوده مقادیر به‌دست آمده در این آزمایش قرار می‌گیرد.

کاربرد قارچ *P. indica* از طریق افزایش رشد رویشی و سبزینه‌ای گیاه می‌تواند تأثیر مستقیم بر افزایش جذب تشعشع فتوسنتزی و در نتیجه افزایش کارآیی مصرف نور داشته باشد. به‌نظر می‌رسد قارچ *P. indica* با قابلیت افزایش دسترسی به عناصر غذایی به‌خصوص فسفر، باعث افزایش رشد رویشی و در نتیجه افزایش سطح برگ و توسعه بیشتر کانوپی شده که موجب افزایش کارآیی محصول در استفاده از انرژی نورانی و سنتز بیشتر مواد فتوسنتزی می‌شود. آروین و وفابخش (Arvin & Vafabakhsh, 2016) گزارش دادند کاربرد باکتری *سودوموناس فلورسنس* (*Pseudomonas fluorescens*) باعث افزایش کارآیی مصرف نور در گیاه کلزا تحت شرایط عدم تنش و تنش کم‌آبی شد. کاربرد باکتری در شرایط تنش نسبت به عدم کاربرد آن از طریق ایجاد کلونی در اطراف ریشه و جذب رطوبت و تخفیف شرایط تنش، باعث بالا رفتن کارآیی مصرف نور در کلزا شده بود (Arvin & Vafabakhsh, 2016).

تنش کم‌آبی سبب کاهش در اندازه برگ‌ها، وزن خشک اندام‌های هوایی، شاخص سطح برگ، تعداد برگچه و متوسط سطح برگ می‌شود. بنابراین در مجموع، خشکی بر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه تأثیر گذاشته و پیامد آن نیز می‌تواند کاهش کارآیی مصرف نور باشد (Hu et al., 2014). تنش کم‌آبی از طریق اختلال در فرآیندهای رشد سلولی، توسعه برگ و فتوسنتز، باعث استفاده کمتر از نور خورشید، کاهش ساخت مواد و در نهایت، کاهش کارآیی مصرف نور خورشید در مقایسه با شرایط عدم تنش می‌شود. به عبارتی دیگر، تنش کم‌آبی از یک سو با کاهش رشد و ماده‌سازی از توسعه سطح برگ ممانعت می‌کند، از سوی دیگر خشکی با تأثیر بر تخریب سلول‌های برگ و نکروزه شدن برگ‌ها، سطح برگ را در گیاه کاهش می‌دهد که این خود یکی از عمده دلایل کاهش میزان کارآیی مصرف نور در گیاه به حسب می‌آید (Arvin & Vafabakhsh, 2016). مطالعات نشان داده است که کاهش در ظرفیت فتوسنتزی تاج‌پوشش ناشی از کاهش خشکی باعث کاهش در کارایی مصرف نور گردید (Bat-Oyun et al., 2011). تبارزاده و همکاران (Tabarzad et al., 2016) مقدار کارآیی مصرف نور در گیاه جو را تحت شرایط ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب ۲/۱۲، ۱/۶۰ و ۱/۵۱ گرم بر مگاژول گزارش کردند. این محققان علت کاهش کارآیی مصرف نور تحت شرایط تنش خشکی را کاهش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی گزارش نمودند.

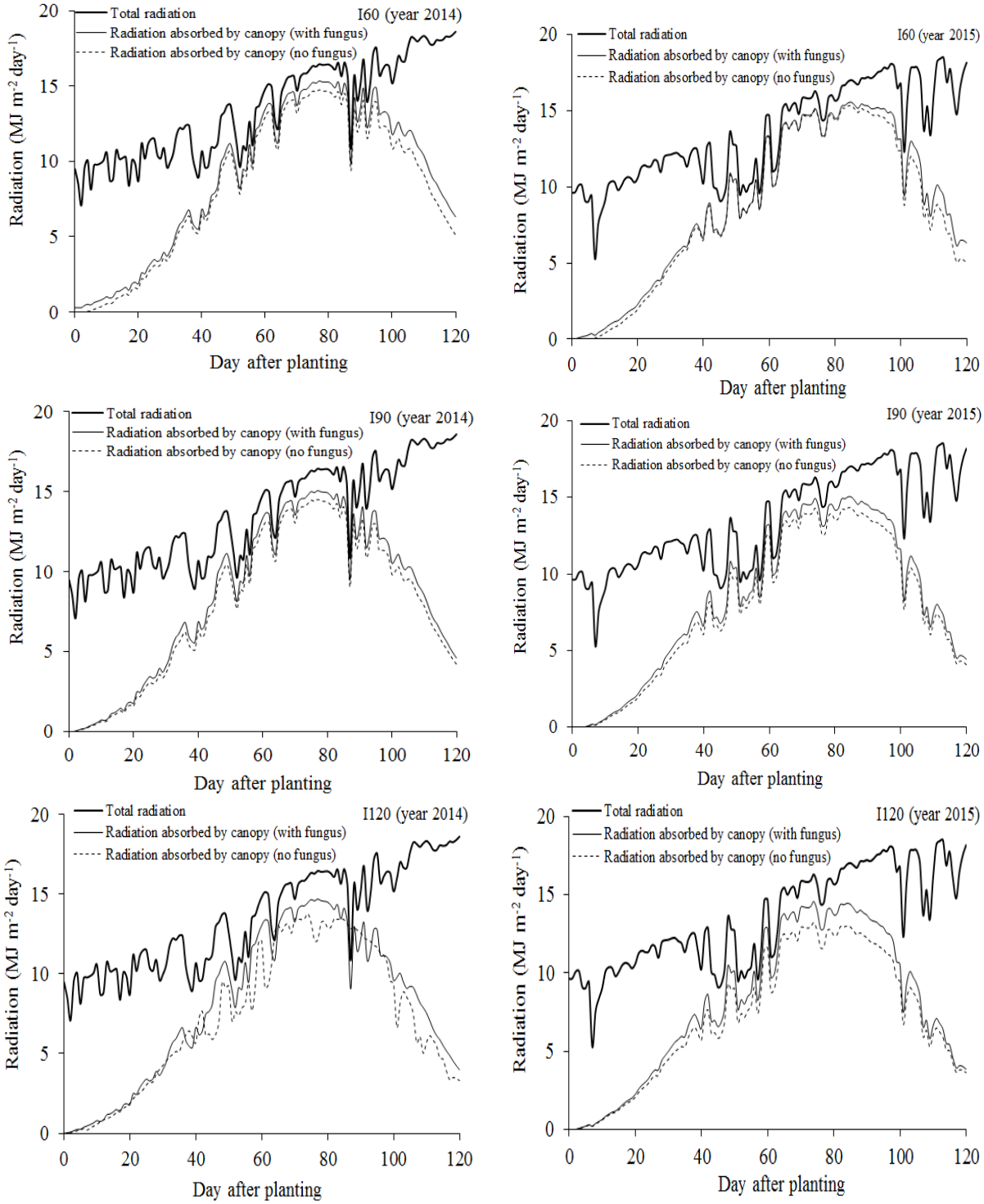
عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که عملکرد دانه تحت تأثیر اثرات آبیاری، کاربرد قارچ و اثرات متقابل دوگانه (آبیاری× قارچ) قرار گرفت (جدول ۶). تنش شدید کم‌آبی، عملکرد دانه سویا را به‌میزان ۵۷/۲۰ درصد کاهش داد (شکل ۶). قارچ *P. indica* تأثیر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد دانه سویا در همه سطوح آبیاری داشت (شکل ۶). قارچ *P. indica* در شرایط عدم تنش، تنش متوسط و تنش شدید کم‌آبی، عملکرد دانه سویا را به‌ترتیب ۱۳/۶۷، ۲۲/۸۵ و ۲۲/۱۴ درصد در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده، افزایش داد (شکل ۶).

با اعمال تنش کم‌آبی، عملکرد دانه سویا کاهش یافت. تنش کم‌آبی باعث کاهش شاخص سطح برگ و جذب تشعشع، اختلال در جذب آب و مواد غذایی و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه و در نهایت کاهش عملکرد دانه شد. دانشیان و همکاران (Daneshian et al., 2011) اظهار نمودند که اعمال تنش کم‌آبی در مرحله گلدهی، باعث کاهش ۸۰ درصدی عملکرد دانه در سویا شد.

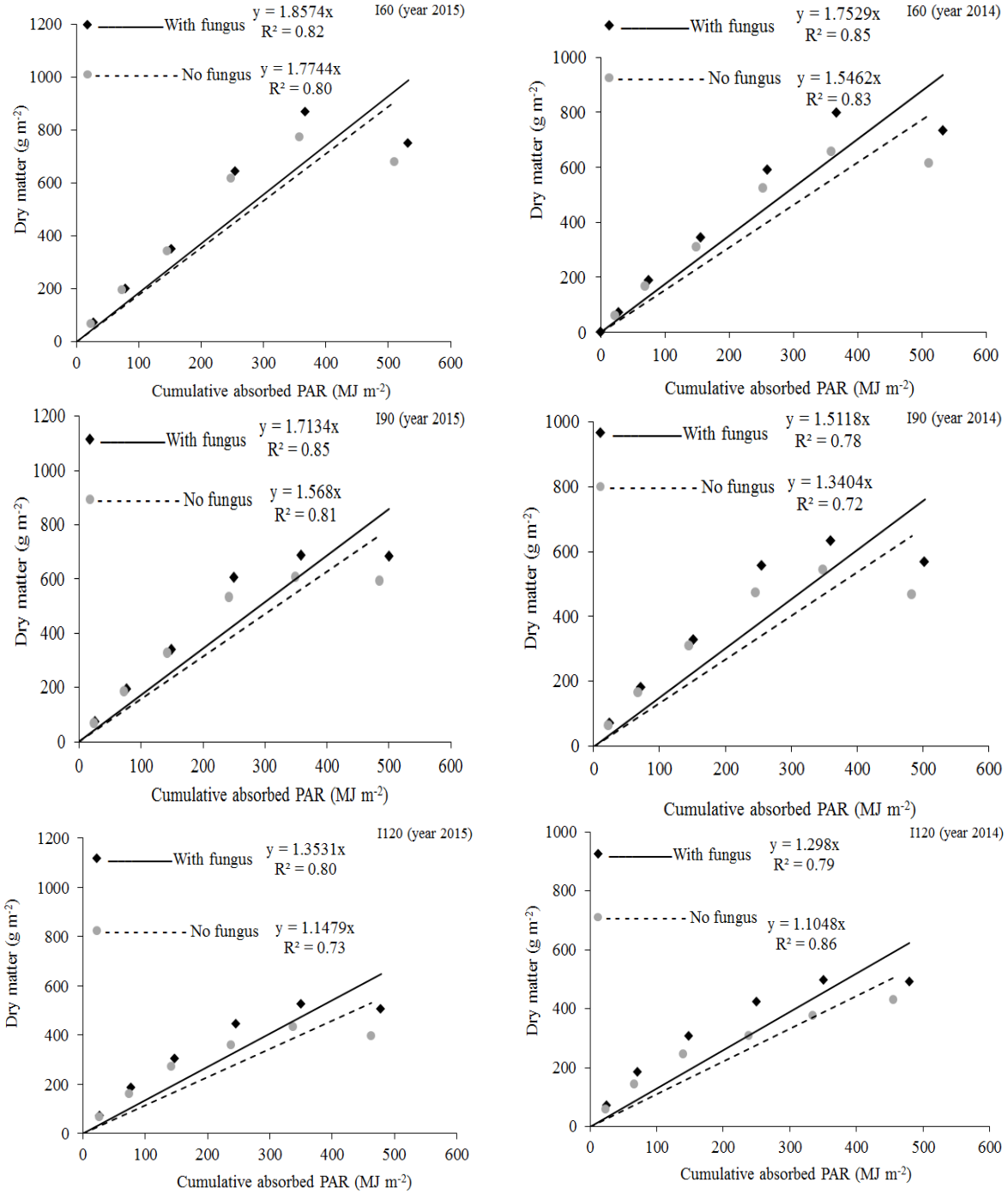
کاربرد قارچ *P. indica* به‌ویژه در شرایط تنش کم‌آبی، می‌تواند برای رشد گیاه سودمند باشد، زیرا در وضعیت کمبود رطوبت خاک، افزایش سطح تماس ریشه گیاه با خاک برای جذب بیشتر رطوبت بیش از هر چیزی اهمیت دارد که همزیستی با قارچ *P. indica* این ویژگی را به گیاه می‌دهد (Aliasgharzad et al., 2006). در همین

راستا تأثیر مثبت قارچ *P. indica* در افزایش عملکرد گیاهان گندم (Yaghoubian et al., 2014) و جو (Ghabooli et al., 2013) نیز تحت تنش کم‌آبی، گزارش شده است. ابوطالبیان و خلیلی (Aboutalebian & Khalili, 2014) در تحقیقی اعلام کردند کاربرد همزمان کودهای زیستی میکوریز آربوسکولار و *برادی‌ریزوبیوم* در سویا به‌ویژه تحت شرایط تنش کم‌آبی سبب کاهش تأثیر سوء تنش کم‌آبی بر عملکرد دانه شد.



شکل ٤- تأثیر قارچ *Piriformospora indica* بر جذب تشعشع سویا در رژیم‌های مختلف آبیاری طی دو سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤

Fig. 4- Effect of fungus *Piriformospora indica* on radiation of soybean under different irrigation regimes in both years (2014 and 2015)



شکل ۵- تأثیر قارچ *Piriformospora indica* بر کارآیی مصرف نور سویا در رژیم‌های مختلف آبیاری طی دو سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴

Fig. 5- Effect of fungus *Piriformospora indica* on radiation use efficiency of soybean under different irrigation regimes in both years (2014 and 2015)

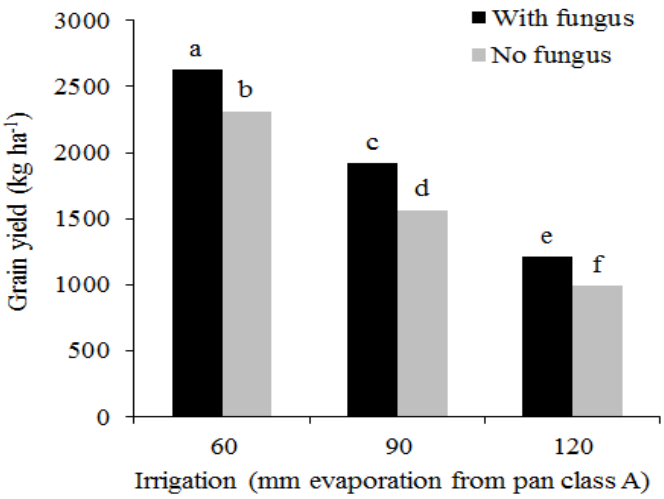
جدول ٦- تجزیه واریانس مرکب اثرات آبیاری و قارچ *Piriformospora indica* بر عملکرد دانه سویا طی دو سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤

Table 6- Combined analysis of variance of the effect of irrigation regimes and fungus *Piriformospora indica* on seed yield of soybean in both years (2014 and 2015)

S.O.V.	منابع تغییر	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square
			عملکرد دانه Seed yield
Year	سال	1	744740^{ns}
Rep × (Year)	تکرار× سال	4	90213
Irrigation	آبیاری	2	5643279*
Year × Irrigation	سال× آبیاری	2	77949^{ns}
Error a	خطای اصلی	8	38633
Fungus	قارچ	1	895753*
Irrigation × Fungus	آبیاری× قارچ	2	44891**
Year× Fungus	سال× قارچ	1	5157^{ns}
year × irrigation× Fungus	سال× آبیاری× قارچ	2	5231^{ns}
Error b	خطای فرعی	12	11843
CV (%)	ضریب تغییرات		6.15

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار

* and **: Significant at 5 and 1% probability levels, respectively. ns: non significant



شکل ٦- تأثیر قارچ *Piriformospora indica* بر عملکرد دانه سویا در رژیم‌های مختلف آبیاری

Fig. 6- Effect of fungus *Piriformospora indica* on grain yield of soybean under different irrigation regimes

نتیجه‌گیری

شاخص سطح برگ، ماده خشک، عملکرد دانه و جذب نور تحت شرایط تنش کم‌آبی کاهش یافتند. کارآیی مصرف نور تحت شرایط تنش کم‌آبی به‌واسطه کم شدن فرآیند رشد، سطح برگ و دریافت و جذب نور خورشید کاهش یافت. کاربرد قارچ *P. indica* باعث بهبود شاخص سطح برگ، ماده خشک، جذب نور و کارآیی مصرف نور در گیاه سویا شد. بنابراین، قارچ *P. indica* در سطوح مختلف آبیاری از طریق افزایش جذب عناصر غذایی و به تبع آن بهبود رشد اندام‌های هوایی و در نهایت با افزایش جذب نور و کارآیی مصرف نور، باعث افزایش عملکرد دانه سویا گردید.

منابع

Aboutalebian, M.A., and Khalili, M. 2014. Effect of arbuscular mycorrhiza and *Bradyrhizobium japonicum* on soybean yield and yield components under water stress. Iranian Journal of Field Crop Science 45: 169-181. (In Persian with English Summary)

Aboutalebian, M.A., Ahmadvand, G., and Khalili, M. 2016. Effects of arbuscular mycorrhizae and *Bradyrhizobium* on some growth indices of soybean under water stress. Journal of Crop Production and Processing 5:367-382. (In Persian with English Summary)

Adeboye, O.B., Schultz, B., Adekalu, K.O., and Prasad, K. 2016. Impact of water stress on radiation interception and radiation use efficiency of soybeans (*Glycine max* L. Merr.) in Nigeria. Brazilian Journal of Science and Technology 15: 2-21.

Aliasgharzad, N., Neyshabouri, M.R., and Salimi, G. 2006. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and *Bradyrhizobium japonicum* on drought stress of soybean. Biologia Bratislava 61: 324-328.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300, D05109.

Anjum, S.A., Xie, X., Wang, L., Saleem, M.F., Man, C., and Lei, W. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African Journal Agriculture Research 6: 2026-2032.

Ashraf, M., and Foolad, M.R. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany 59: 206-216.

Arvin, P., and Vafabakhsh, J. 2016. Study of drought and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on radiation use efficiency and dry matter partitioning into pod in different cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Journal of Agroecology 8: 134-152. (In Persian with English Summary)

Bat-Oyun, T.M., Shinoda, M., and Tsubo, M. 2011. Effects of water and temperature stresses on radiation use efficiency in a semi-arid grassland. Journal Plant Interaction 7: 214-224.

Daneshian, J., Jonoubi, P., and Barari Tari, D. 2011. Investigation of water deficit stress on agronomical traits of soybean in temperate climate. World Academy of Science, Engineering and Technology 75: 778-785.

Demirtas, C., Yazgan, S., Candogan, B.N., Sincik, M., Buyukcangaz, H., and Goksoy, A.T. 2010. Quality and yield response of soybean (*Glycine max* L. Merr.) to drought stress in sub-humid environment. African Journal of Biotechnology 9: 6873-6881.

Doorenbos, J., and Kassam, A. 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage Paper 33: 257.

Ezzat Ahmadi, M., Noor Mohammadi, G., Moghaddasi, M., and Kafi, M. 2012. Evaluation of radiation and water use efficiency in bread wheat genotypes in condition of different photosynthetic and moisture stress. Iranian Journal of Field Crops Research 10(1): 225-239. (In Persian with English Summary)

Garofalo, P., and Rinaldi, M. 2015. Leaf as exchange and radiation use efficiency of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in response to different deficit irrigation strategies: From solar radiation to plant growth analysis. European Journal of Agronomy 64: 88-97.

Ghabooli, M., Shahriari, F., Sepehri, M., Marashi, H., and Hosseini Salekdeh, G.H. 2011. An Evaluation of the impact of the endophyte fungus *Piriformospora indica* on some traits of barley (*Hordeum vulgare* L.) in drought stress. Journal of Agroecology 3(3): 328-336. (In Persian with English Summary)

Ghosh, D.C. 2004. Growth and productivity of sesame (*Sesamum indicum*) as influenced by biofertilizer and growth-regulator. Indian Journal of Agronomy 45(2): 389-394.

Goudriaan, J., and Van Laar, H.H. 1994. Modelling Potential Crop Growth Processes. Kluwer Academic Press.

Han, H., Li, Z., Ning, T., Zhang, X., Shan, Y., and Bai, M. 2008. Radiation use efficiency and yield of winter wheat under deficit irrigation in North China. Plant Soil and Environment 54: 313-319.

Hill, T.W., and Kafer, E. 2001. Improved protocols for *Aspergillus* minimal medium: trace element and minimal medium salt stock solutions. Fungal Genetics and Newsl 48: 20-21.

Hosseinpanahi, F., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2010. Evaluation of radiation absorption and use efficiency in potato/corn intercropping. Iranian Journal of Agroecology 2: 45-54. (In Persian with English Summary)

Hu, Y., Zhang, Y.L., Yix, P., Zhan, D.X., Luo, H.H., Chow, W.S., and Zhang, W.F. 2014. The relative contribution of non-foliar organs of cotton to yield and related physiological characteristics under water deficit. Journal of Integrative Agriculture 13: 975-989.

Khajehpour, M. 2007. Principle of Agronomy. Industrial University of Esfahan Publication, Isfahan, Iran. 387pp. (In Persian).

Michal Johnson, J., Lee, Y.C., Camehl, I., Sun, C., Yeh, K.W., and Oelmuller, R. 2013. *Piriformospora indica* promotes growth of *Chinese cabbage* by manipulating auxin homeostasis- role of auxin in symbiosis. In: A. Varma (Eds.). *Piriformospora indica,* soil biology. Springer Verlag, Berlin. p. 139-147.

Muchow, R.C. 1985. An analysis of the efects of water deicits on grain legumes grown in a semi‑arid tropical environ‑ment in terms of radiation interception and its eiciency of use. Field Crops Research 11: 309-323.

Ngugi, K., Collins, J.O., and Muchira, S. 2013. Combining, earliness, short anthesis to silking interval and yield based selection indices under intermittent water stress to select for drought tolerant maize. Australian Journal of Crop Science 7: 2014-2020.

Oelmuller, R., Sherameti, I., Tripathi, S., and Varma, A. 2009. *Piriformospora indica*, a cultivable root endophyte with multiple biotechnological applications. Symbiosis 49: 1-17.

Osborne, S.L., Scheppers, J.S. Francis, D.D., and Schlemmer, M.R. 2002. Use of spectral radiance to in-season biomass and grain yield in nitrogen and water-stressed corn. Crop Science 42: 165-171.

Pazoki, A.R., and Kariminejad, M. 2010. Effect of zeolit amounts and drought stress on light extinction coefficientof rapeseed (*Brassica napus* L.). Journal of Crop Production Research 2(2): 175-189. (In Persian with English Summary)

Sadeghipour, O., and Abbasi, S. 2012. Soybean response to drought and seed inoculation. World Applied Science Journal 17: 55-60.

Sarmadnia, G.H., and Koocheki, A. 1989. Crop Plant Physiology. University of Mashhad Publicatio, Mashhad, Iran. 400pp. (In Persian).

Shariatmadari, M.H., Zemani, G.R., and Sayari, M.H. 2011. Effect of salinity and foliar spraying with Fe on leaf area index, absorption radiation and relation with grain yield of sunflower. Iranian Journal of Field Crops Research 9: 285-293. (In Persian with English Summary)

Singer, J.W., Meek, D.W., Sauer, T.J., Prueger, J.H., and Hatield, J.L. 2011. Variability of light interception and radiation use eiciency in maize and soybean. Field Crops Research 121: 147-152.

Tabarzad, A., Ghaemi, A.A., and Zand Parsa, S. 2016. Extinction coefficients and radiation use efficiency of barley under different, irrigation regimes and sowing dates. Agricultural Water Management 178: 126-136.

Tesfaye, K., Walkerb, S., and Tsubob, M. 2006. Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid environment. European Journal of Agronomy 25: 60-70.

Tripathi, S., Das, A., Chandra, A., and Varma, A. 2015. Development of carrier-based formulation of root endophyte Piriformospora indica and its evaluation on *Phaseolus vulgaris* L. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 31(2): 337-344. DOI 10.1007/s11274-014-1785-y.

Tsubo, M., Walker, S., and Ogindo, H.O. 2005. A simulation model of cereal legume intercropping systems for semi-arid regions I. Model development. Field Crops Research 93: 10-22.

Xu, L., Wang, A., Wei, Q., and Zhang, W. 2017. *Piriformospora indica* confers drought tolerance on *Zea mays* L. through enhancement of antioxidant activity and expression of drought-related genes. The Crop Journal 5: 251-258.

Yaghoubian, Y., Mohammadi Goltapeh, E., Pirdashti, H., Esfandiari, E., Feiziasl , V., Kari Dolatabadi, H., and Varma, A. 2014. Effect of *Glomus mosseae* and *Piriformospora indica* on growth and antioxidant defense responses of wheat plants under drought stress. Agriculture Research 3: 239-245.

Yousef Nia, M., Banayan Aval, M., and Khorramdel, S. 2015. Evaluation of radiation use and interception of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) and dill (*Anethum graveolens* L.) intercropping canopy. Journal of Agroecology 7(3): 412-424. (In Persian with English Summary)

Zare Abyaneh, H., Gasemi, A., Marofi, S., and Bayat Varkeshi, M. 2010. Determination of water requirement, single and dual crop coefficients of garlic in cold semi-arid climate. Water and Soil Science 20: 111-122.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 199-215

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۲۱۵-۱۹۹

The Effects of *Piriformospora indica* Inoculation on the Seed Yield, Light Absorption and Radiation Use Efficiency of Soybean (*Glycine max*) Under Water Stress Conditions

G. Ahmadvand[1*] and S. Hajinia[2]

Submitted: 14-08-2017
Accepted: 27-02-2018

Ahmadvand, G., and Hajinia, S. 2019. The effects of *Piriformospora indica* inoculation on the seed yield, light absorption and radiation use efficiency of soybean (*Glycine max*) under water stress conditions. Journal of Agroecology. 11(1):199-215.

Introduction

Water stress is one of the most important limiting factors in crop production, especially in arid and semi-arid regions. More than 45% of agricultural land on earth is subjected to continuous or frequent water deficiency, and it can cause ~50% loss of grain yield, on average. Soybean growth is affected by drought stress. Drought stress has been estimated to reduce seed yield of soybean by 24 to 50 percent. Improvement the light absorption in the crop plant increase the crop yield. All plants, at least during their vegetative growing period, produce and store dry matters using sunlight. One of the most important strategies to increase tolerance to dehydration and improve the growth performance in crops is to establish associations with the beneficial of fungal symbiosis. *Piriformospora indica* is one of the cultivable root-colonizing endophytic fungi that has a symbiotic relationship with the roots of most crops and improves the growth and yield of plants by increasing the absorption of nutrients such as phosphorus and some micro- elements and can enhance the resistance to biotic and abiotic stresses (Oelmuller et al., 2009). The aim of the present investigation was to study the impact of *P. indica* on the light absorption, radiation use efficiency and grain yield of soybean under different levels of irrigation.

Materials and Methods

Two field experiments were carried out at the Agricultural Faculty, University of Bu-Ali Sina, Hamedan, Iran (35º1′N, 48 º31′E; 1690 m a.m.s.l.) in 2014 and 2015. This region has a cold and semi-dry climate. The experiments were carried out as split-plot based on a randomized complete block design with three replications. The Main factors consisted of three irrigation treatments (irrigation after 60 (well-watered), 90 (mild stress) and 120 (severe stress) mm cumulative evaporation from pan class A) and sub plots included of two levels of fungus P. indica (inoculated and non-inoculated). All main plots were irrigated immediately after sowing. Water-stress treatments as described above were applied after seedling establishment. Irrigation was performed via polyethylene pipes, and a water meter was used to measure the volume of irrigation water in each main plot. In order to maintain the specified soil-moisture regimes, the amount of used water was calculated by using crop water requirement as described by Doorenbos and Pruitt (1992).

Results and Discussion

In both years, drought stress decreased leaf area and dry matter of soybean. Inoculation with fungus, increased leaf area and dry matter of soybean plants in different irrigation levels. Daneshian et al. (2011) studied the effect of drought stress on dry matter and soybean growth indices. Due to the decrease in leaf area, drought stress reduced the amount of dry matter accumulation in the soybean plants. The highest radiation use efficiency (1.75 and 1.85 g MJ^{-1} in 1st and 2nd year, respectively) was obtained from inoculated soybean plant under well-watered, and the lowest one (1.10 and 1.15 g MJ^{-1} in 1st and 2nd year, respectively) was observed in control plant (non-inoculated) under severe drought stress. Drought stress reduces the amount of radiation use efficiency by reducing photosynthetic rates and decreasing leaf area index. Severe drought stress significantly decreased grain yield of soybean by about 57.20 percent. Application of *P. indica* caused an increase in *grain yield of soybean* by about 13.67, 22.85 and 22.14 percent under well-watered, mild

1 and 2- Associate Professor and Ph.D Student of Crop Physiology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Bu- Ali Sina, Hamedan, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: gahmadvand@basu.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v11i1.66827

and severe drought stress, respectively, compared to control (non-inoculate). Inoculation with *P. indica* fungus increases the light absorption and radiation use efficiency by increasing the amount of vegetative growth, leaf area index and photosynthetic material production, which improves the yield of soybean.

Conclusion

The results showed *P. indica* fungus had a positive effect on absorption and radiation use efficiency of soybean in different irrigation levels, so that the application of fungus mitigated the effects of drought stress and improved the yield of soybean under drought stress.

Keywords: Endophytic fungus, Irrigation, Photosynthetic active radiation, Radiation use efficiency.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۲۲۹-۲۱۷

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 217-229

برآورد و پهنه‌بندی تاریخ مناسب کشت گندم دیم(*Triticum aestivum* L.) بر اساس سطوح مختلف احتمال وقوع بارش پاییزه در استان گلستان

کامی کابوسی[1*] و عثمان مجیدی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۵

کابوسی، ک و مجیدی، ع. ۱۳۹۸. برآورد و پهنه‌بندی تاریخ مناسب کشت گندم دیم (*Triticum aestivum* L.) بر اساس سطوح مختلف احتمال وقوع بارش پاییزه در استان گلستان. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱(۱): ۲۲۹-۲۱۷.

چکیده

با توجه به وابستگی شدید تاریخ مناسب گندم دیم (*Triticum aestivum* L.) به وقوع بارش‌های پاییزه و نوسان آن در سال‌های مختلف، پژوهش حاضر با هدف برآورد تاریخ مناسب کشت گندم دیم در استان گلستان با استفاده از داده‌های بارش روزانه ۵۷ ایستگاه هواشناسی در دوره آماری مشترک ۱۳۹۵-۱۳۷۰ در پنج سطح احتمال وقوع ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۸۵ و ۹۵ درصد انجام شد. تاریخ کشت بر اساس وقوع اولین بارش برابر و بیشتر از ۲۵ میلی‌متر طی یک دوره ۱۰ روزه متوالی در ماه آذر انتخاب گردید. به منظور بررسی صحت نتایج و اعتبارسنجی نتایج، از یافته‌های پژوهش‌های مختلف که در مقیاس مزرعه در استان گلستان انجام شده بود، استفاده شد. نتایج نشان داد که تاریخ مناسب کشت گندم دیم در نیمه جنوبی استان زودتر از نیمه شمالی می‌باشد. سطح احتمال بر تاریخ کشت تأثیر معنی‌دار داشت، ولی اثر ایستگاه بر آن معنی‌دار نبود. اختلاف آماری بین تمام سطوح احتمال وقوع معنی‌دار بود به طوری‌که سطح احتمال ۲۵ و ۹۵ درصد به ترتیب نشان‌دهنده زودترین و دیرترین تاریخ مناسب کشت گندم در استان گلستان بود. در ایستگاه‌های مختلف استان، تاریخ کشت مناسب گندم دیم با احتمال وقوع ۲۵ درصد بین اول تا ۱۰ آذر، با احتمال وقوع ۵۰ درصد بین اول تا ۲۲ آذر، با احتمال وقوع ۷۵ درصد بین ۳ آذر تا ۱۳ دی، با احتمال وقوع ۸۵ درصد بین ۱۱ آذر تا ۲۵ دی و با احتمال وقوع ۹۵ درصد بین ۲۱ آذر تا ۳۰ دی قرار داشت. با افزایش سطح احتمال پنجره تاریخ کشت در سطح استان طولانی‌تر گردید به گونه‌ای که اختلاف تاریخ کشت مناطق مختلف استان در سطح احتمال ۲۵ درصد ۱۰ روز و در سطح احتمال ۹۵ درصد ۴۰ روز ه دست آمد. بر اساس نتایج، کاهش اندک ریسک زراعت (افزایش احتمال وقوع بارش مناسب از ۲۵ به ۵۰ درصد) با تأخیر تاریخ کشت گندم به مدت چند روز امکان‌پذیر است در حالی است که کاهش بیشتر ریسک زراعت (افزایش احتمال وقوع بارش مناسب به ۷۵، ۸۵ و ۹۵ درصد) از طریق تأخیر تاریخ کشت به میزان چند دهه مقدور خواهد بود. صحت‌سنجی و اعتبارسنجی نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های مزرعه‌ای و میدانی، ضمن تائید دقت قابل قبول پیش‌بینی تاریخ مناسب کشت بر اساس معیار معرفی شده، نشان داد که کشاورزان استان با درک صحیح از نقش بارش پاییزه در استقرار بوته و عملکرد محصول، تاریخ کشت گندم را با سطح احتمال بالایی درست انتخاب می‌نمایند.

واژه‌های کلیدی: پنجره کشت، تأخیر در کشت، ریسک

مقدمه

بیش از ۳۰ درصد سطح زیرکشت و نزدیک به ۲۶ درصد از تولید غلات جهان به گندم اختصاص دارد (FAO, 2018). سطح زیرکشت گندم در ایران حدود ۵/۷۲ میلیون هکتار گزارش شده است که حدود ۶۱ درصد آن به صورت دیم می‌باشد (Anonymous, 2016). استان گلستان با دارا بودن حدود ۴۰۰ هزار هکتار سطح زیرکشت (حدود ۵۷ درصد آن دیم است) و تولید بیش از یک میلیون تن گندم (حدود ۵۰ درصد آن از اراضی دیم است) یکی از قطب‌های مهم تولید گندم کشور است و از نظر این دو شاخص در بین استان‌های کشور مقام سوم را دارد (Anonymous, 2016).

تاریخ شروع بارش یکی از مهمترین عوامل تعیین تاریخ کشت غلات زمستانه است (Noohi, 2005). گزارش شده است که از بین عوامل اصلی موثر بر تعیین تاریخ کشت، شرایط آب و هوایی به ویژه بارش بیشترین تأثیر را بر آن دارد (Bussmann et al., 2016). تاریخ

۱- دانشیار گروه کشاورزی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران.
۲- پژوهشگر هواشناسی کشاورزی، اداره کل هواشناسی استان گلستان، گرگان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: kkaboosi@yahoo.com)
DOI:10.22067/jag.v11i1.72873

کشت بهینه هر گیاه درون یک پنجره کشت[1] قرار دارد که شروع و پایان آن بر اساس دستیابی به عملکرد قابل قبول تعیین می‌گردد (Bussmann et al., 2016). با اطلاع از تاریخ شروع، خاتمه و طول دوره بارندگی می‌توان تاریخ کشت را طوری تنظیم کرد که با اجرای آبیاری تکمیلی در مراحل فنولوژیکی حساس در برخی از مناطق اقدام به کشت دیم نمود (Ahmadali et al., 2016). در بین عوامل مختلف مدیریت زراعی گندم، تاریخ کشت موثرترین عامل شناخته شده است (Naderi, 2014). تغییر عوامل اقلیمی همراه با تغییر تاریخ کشت به دلیل اثر بر میزان درجه- روز رشد دریافتی توسط گیاه و وضعیت حرارتی خاک تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر میزان تبخیر- تعرق، زمان وقوع مراحل نموی، طول دوره رشد رویشی و زایشی و توازن بین آنها، طول دوره زندگی، همزمانی مراحل رشد و گلدهی گیاهان با شرایط نامطلوب محیطی، مواجه گیاه با تنش‌های محیطی مختلف مانند تنش خشکی و دمایی، اجزاء عملکرد و در نهایت عملکرد دارد (Kaboosi & Majidi, 2017b; Yasari, 2014; Bannayan et al., 2013; Ahmadamini et al., 2011; Hundal et al., 1997). همچنین تاریخ کشت عامل مهمی در افزایش بهره‌وری بارش در زراعت دیم است (Nouri et al., 2017; Tavakoli, 2014) به طوری‌که تأخیر در کشت گندم دیم موجب کاهش بهره‌وری بارش می‌شود (Zheng et al., 2017). کاهش عملکرد محصول در هر دو سمت تاریخ کشت بهینه گندم گزارش شده است (Andarzian et al., 2015) و به همین دلیل متاسفانه کشاورزان به دلیل انتخاب زمان نامناسب کشت گندم خسارات قابل توجهی می‌بینند (Kaboosi & Majidi, 2017b).

برای تعیین تاریخ مناسب کشت گیاهان زراعی روش‌های متعددی ارائه شده است (Bussmann et al., 2016; Dobor et al., 2016) که مرور جامعی بر آنها توسط کابوسی و مجیدی (Kaboosi & Majidi, 2017b) صورت گرفته است. در این راستا چراغی و همکاران (Cheraghi et al., 2018) بهترین تاریخ کشت کلزا در استان خوزستان، کابوسی و مجیدی (Kaboosi & Majidi, 2017b) و خوشحال‌دستجردی و همکاران (Khoshal Dastjerdi et al., 2015) مناسب‌ترین تاریخ کشت گندم در استان گلستان و نوحی (Noohi, 2005) و محمدی (Mohammadi, 2005) بهترین تاریخ کشت گندم دیم به ترتیب در ایستگاه کرج و استان ایلام را بر اساس داده‌های بارش به دست آوردند. از سوی دیگر، پژوهشگران علوم زراعی نیز بهترین تاریخ کشت گندم در مناطق مختلف کشور را بر اساس پژوهش‌های در مقیاس مزرعه تعیین می‌نمایند (Kaboosi & Majidi, 2017b).

اگر در طراحی یک سیستم زراعی از میانگین داده‌های هواشناسی استفاده شود، احتمال وقوع آن ۵۰ درصد خواهد بود (اگر داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت کنند) و به این معنا است که در طول یک دوره ۱۰۰ ساله، تنها در ۵۰ سال نیاز اقلیمی سیستم زراعی تأمین خواهد شد و در ۵۰ سال دیگر نیازهای سیستم زراعی بیشتر از توانایی آن خواهد بود (Nikbakht & Mir Latifi, 2002). برای نمونه تفاوت میزان تبخیر- تعرق مرجع روزانه در سطوح احتمال ۹۵ و ۵۰ درصد با یکدیگر در ایستگاه مهرآباد تهران به میزان ۲۷ درصد (Nikbakht & Mir Latifi, 2002) و در ایستگاه ارومیه به میزان ۳۰ درصد (Mehdizadeh et al., 2011) گزارش شد. استفاده از میانگین داده‌ها در کشت آبی مناسب به نظر می‌رسد، ولی در کشت دیم که عملکرد مناسب محصول متکی به بارش است، این سطح احتمال کافی نمی‌باشد. لذا در کشت دیم بسته به درجه حساسیت گیاه به تنش آبی، عموماً سطح احتمال ۶۰ تا ۸۰ درصد در نظر گرفته می‌شود (Sys et al., 1991). انتخاب سطح احتمال به نوع گیاه، بافت خاک و میزان ریسک قابل پذیرش از سوی کشاورز بستگی دارد (Mehdizadeh et al., 2011; Nikbakht & Mir Latifi, 2002). در نظر گرفتن ویژگی احتمالاتی بارش در انتخاب تاریخ کشت مناسب گندم دیم توسط احمدعلی و همکاران (Ahmadali et al., 2016) و خوشحال دستجردی و همکاران (Khoshal Dastjerdi et al., 2015) مورد بررسی قرار گرفت. همچنین بررسی احتمالاتی متغیرهای اقلیمی مؤثر بر رشد و عملکرد گیاهان مختلف در زمینه تعیین نیاز آبی (Fooladmand, 2011; Fooladmand, 2010)، تاریخ گلدهی و مناسب‌ترین زمان آبیاری (Alizadeh et al., 2009)، وقوع میزان بارش و دمای بهینه رشد (Cheraghi et al., 2018)، تاریخ وقوع اولین و آخرین یخبندان (Sobhani et al., 2017; Ziaee et al., 2006) و تاریخ وقوع سرمای بهاره، زمستانه و پاییزه (Mianabadi et al., 2009; Kaviani et al., 2002) توسط پژوهشگران مختلف صورت گرفته است.

با توجه به توضیحات فوق می‌توان اظهار داشت که در کشت دیم، کشاورزان با انتخاب تاریخ کشت میزان ریسک خود را انتخاب می‌کنند. نظر به اهمیت پیش‌بینی تاریخ مناسب کشت در بهینه‌سازی مدیریت مزرعه و وابستگی آن به وقوع بارش پاییزه در کشت دیم از یک‌سو و طبیعت مبتنی بر احتمال بارش از سوی دیگر، پژوهش حاضر به بررسی و تعیین پنجره کشت گندم دیم در سطوح احتمال مختلف در استان گلستان می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

دوره آماری و ایستگاه‌های منتخب

پس از بررسی پراکندگی جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی استان گلستان و طول دوره آماری آنها، داده‌های بارش روزانه ۵۸ ایستگاه

1- Sowing window

هواشناسی (۲۴ و ۱۵ ایستگاه به ترتیب از نوع تبخیرسنجی و باران‌سنجی متعلق به وزارت نیرو و ۶، ۳ و ۱۰ ایستگاه به ترتیب از نوع سینوپتیک، اقلیم‌سنجی و باران‌سنجی متعلق به سازمان هواشناسی) در دوره آماری مشترک ۱۳۹۵-۱۳۷۰ (۲۶ سال) اخذ شد. لازم به ذکر است این تعداد ایستگاه تمامی ایستگاه‌های هواشناسی فعال استان گلستان با طول دوره آماری بیش از ۲۰ سال را شامل می‌شود.

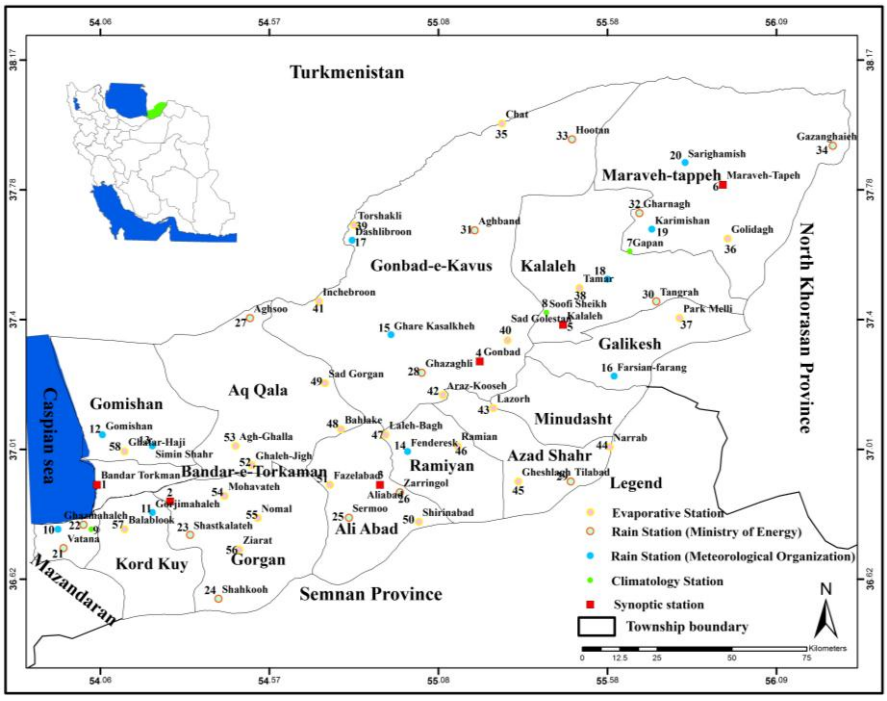
شکل ۱ پراکندگی ایستگاه‌ها در سطح استان را نشان می‌دهد. تکمیل و تطویل داده‌ها در دوره آماری با استفاده از روش نسبت‌ها و تفاضل-ها (Ashofteh & Massah, 2010) بر مبنای ماتریس همبستگی صورت گرفت. همچنین همگنی و نرمال بودن داده‌ها به ترتیب با استفاده از آزمون دنباله‌ها (Run Test) و کلموگروف- اسمیرنوف (Kolmogorov- Smirnow) توسط بسته نرم‌افزاری SPSS نسخه ۲۱ در سطح احتمال ۹۵ درصد تائید گردید.

تاریخ کشت

تاریخ کشت بر اساس معیار اولین تاریخ وقوع بارش برابر و بیشتر از ۲۵ میلی‌متر طی یک دوره ۱۰ روزه متوالی در ماه آذر انتخاب شد (Kaboosi & Majidi, 2017b). لازم به ذکر است که اگرچه بارش ماه‌های مهر و آبان در ذخیره رطوبتی به ویژه در لایه‌های پایین تأثیر دارد ولی برای جوانه‌زنی بذر وقوع حداقل بارش در ماه آذر جهت تأمین رطوبت لایه سطحی خاک ضروری است.

سطح احتمال

در پژوهش حاضر تاریخ کشت گندم دیم در پنج سطح احتمال ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۸۵ و ۹۵ درصد محاسبه شد. برای این منظور ابتدا تاریخ کشت برای هر یک از سال‌ها در هر ایستگاه هواشناسی بر اساس تعریف ارائه شده در بخش قبل تعیین گردید. سپس تاریخ‌های بدست آمده به تاریخ ژیلیوسی تبدیل گردید. در مرحله بعد داده‌های هر ایستگاه به محیط ماژول DISTRIB از بسته نرم‌افزاری SMADA 6 وارد شد و توزیع‌های احتمالاتی مختلف (شامل توزیع‌های آماری نرمال، لوگ نرمال دو پارامتره، لوگ نرمال سه پارامتره، پیرسون تیپ سه، لوگ پیرسون تیپ سه و گمبل تیپ یک) بر آنها برازش داده شد. سپس مجذور مربعات اختلاف داده‌های مشاهداتی با مقادیر حاصل از هر یک از توابع توزیع احتمال محاسبه شد و توزیعی که دارای کمترین مجذور مربعات خطا (اختلاف) بود، انتخاب گردید. در نهایت تاریخ کشت مناسب گندم دیم در هر ایستگاه در سطوح احتمال وقوع مختلف با استفاده از تابع توزیع احتمال منتخب برآورد شد (Kaboosi & Majidi, 2017b; Ziaee et al., 2006).



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در استان گلستان

Fig. 1- Location of used weather stations in Golestan province

تحلیل آماری و تهیه نقشه پهنه‌بندی

تحلیل آماری نتایج با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ از طریق تجزیه واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین (به روش آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد) انجام شد. در این ارتباط یک بار عامل ایستگاه به عنوان تکرار (با ۵۸ تکرار) و بار دیگر عامل سطح احتمال وقوع به عنوان تکرار (با پنج تکرار) در نظر گرفته شده و تفاوت آماری متغیرهای مورد بررسی به ترتیب از نظر سطح احتمال وقوع و ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت. جهت ترسیم نقشه پهنه‌بندی در سطح اراضی استان از نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۳ و روش وزن-دهی معکوس فاصله[1] استفاده شد. این روش توسط پژوهشگران مختلف برای میان‌یابی متغیرهای محیطی- اقلیمی مورد استفاده قرار گرفته است (Kaboosi & Majidi, 2017a).

صحت‌سنجی و اعتبارسنجی نتایج

به منظور بررسی دقت نتایج و اعتبارسنجی آن، از نتایج پژوهش‌های زراعی که در مقیاس مزرعه جهت تعیین تاریخ کشت مناسب گندم دیم در استان گلستان انجام شده بود، استفاده شد. لازم به ذکر است با توجه به این که هدف پژوهش حاضر تعیین تاریخ کشت مناسب گندم دیم در مقیاس مزرعه (بر اساس مدل‌سازی یا طرح آزمایشی) نبود بلکه این ویژگی بر اساس تحلیل اقلیمی یک دوره آماری (و در نهایت برای سطوح احتمال مختلف) در محل ایستگاه‌های هواشناسی تعیین گردید، لذا امکان تحلیل آماری کلاسیک منطبق بر آماره‌های معمول اعتبارسنجی وجود نداشت و ارزیابی و صحت‌سنجی نتایج بر اساس میزان انحراف یا تطابق تاریخ کشت پژوهش مزرعه‌ای (بر اساس محل انجام آزمایش) با پهنه‌بندی حاصل از این پژوهش صورت گرفت (Kaboosi & Majidi, 2017b).

نتایج و بحث

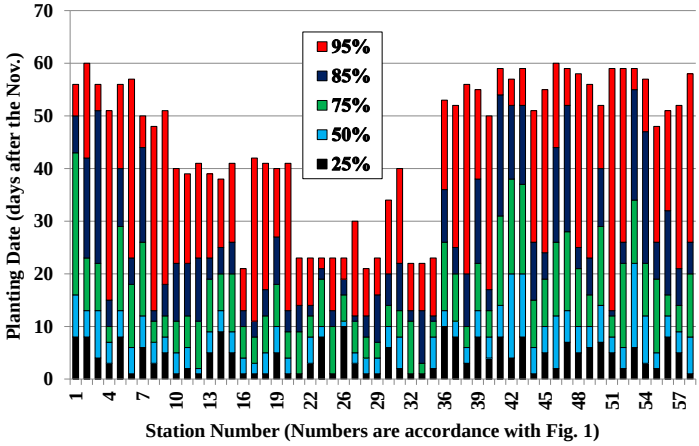
تاریخ کشت مناسب گندم در ایستگاه‌های مختلف هواشناسی استان گلستان در سطوح احتمال متفاوت در شکل ۲ ارائه شده است. در سطح احتمال ۵۰ درصد (منطبق بر میانگین داده‌ها) زودترین تاریخ کشت مناسب در ایستگاه‌های هواشناسی رامیان، علی‌آباد، پارک ملی و زیارت در تاریخ اول آذر و دیرترین تاریخ کشت مناسب در ایستگاه اینچه‌برون در تاریخ ۲۲ آذر بود؛ در حالی‌که در سطح احتمال ۹۵ درصد زودترین تاریخ کشت در ایستگاه‌های هواشناسی بالابلوک و فارسیان فرنگ در تاریخ ۲۱ آذر و دیرترین تاریخ کشت مناسب در ایستگاه تیل‌آباد در تاریخ ۳۰ دی به دست آمد (شکل ۲). نتایج نشان داد که سطح احتمال ۲۵ و ۹۵ درصد به ترتیب نشان‌دهنده زودترین و دیرترین تاریخ کشت مناسب گندم بر اساس احتمال وقوع بارش در استان گلستان می‌باشد. همچنین اختلاف تاریخ کشت مناسب سطح احتمال کمینه و بیشینه بیانگر پنجره کشت می‌باشد. برای نمونه، تاریخ کشت مناسب گندم در ایستگاه هاشم‌آباد در این دو سطح احتمال به ترتیب اول آذر و ۲۷ دی به دست آمد که نشان‌دهنده شروع و پایان محدوده زمانی مناسب کشت گندم در این ایستگاه می‌باشد زیرا وقوع بارش مناسب کشت گندم در هر ۱۰۰ سال ممکن است فقط در ۲۵ سال قبل از اول آذر یا فقط در ۵ سال بعد از ۲۷ دی رخ دهد.

در ایستگاه‌های مختلف استان، تاریخ کشت مناسب گندم دیم با احتمال وقوع ۲۵ درصد بین اول تا ۱۰ آذر، با احتمال وقوع ۵۰ درصد (معادل میانگین تاریخ کشت در طول دوره آماری) بین اول تا ۲۲ آذر، با احتمال وقوع ۷۵ درصد بین ۳ آذر تا ۱۳ دی، با احتمال وقوع ۸۵ درصد بین ۱۱ آذر تا ۲۵ دی و با احتمال وقوع ۹۵ درصد بین ۲۱ آذر تا ۳۰ دی قرار داشت (شکل ۲). به عبارت دیگر وقوع ۲۵ میلی‌متر بارش در ده روز متوالی در ایستگاه‌های مختلف هواشناسی استان گلستان برای کشت گندم دیم در بازه زمانی ۱۰-۱ آذر فقط در سطح احتمال ۲۵ درصد امکان‌پذیر است و احتمال بسیار بالایی (۷۵ درصد) وجود دارد که در این دوره زمانی بارش کافی جهت کشت گندم دیم رخ ندهد. بر این اساس، کشت زود هنگام گندم در این دوره زمانی ریسک بالایی را به جهت احتمال بالای عدم بارش کافی برای گندمکاران استان گلستان به همراه دارد. از سوی دیگر، احتمال وقوع ۲۵ میلی‌متر بارش در ده روز متوالی در ایستگاه‌های مختلف هواشناسی استان گلستان پیش از ۲۱ آذر تا ۳۰ دی (بسته به ایستگاه هواشناسی) کمتر از ۹۵ درصد است و لذا دیرترین تاریخ کشت مناسب کشت گندم دیم بر اساس این سطح احتمال (۹۵ درصد) در این بازه زمانی به دست آمد. به این ترتیب پنجره کشت گندم دیم در استان گلستان در سطح احتمال‌های ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۸۵ و ۹۵ درصد به ترتیب ۱۰، ۲۲، ۴۱، ۴۵ و ۴۰ روز می‌باشد. در همین راستا، پنجره تاریخ کشت بهینه گندم در اهواز ۳۰ روز گزارش شد (Andarzian et al., 2015) که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. در پژوهشی رضوان طلب و همکاران (Rezvantalab et al., 2017) طی مستندسازی فرآیند تولید در ۱۴۰ مزرعه در شهرستان‌های مختلف استان گلستان محدوده تاریخ کشت گندم دیم را بین ۱۵ آذر تا اول دی (پنجره تاریخ کشت ۱۶ روز) گزارش کردند. همچنین کابوسی و مجیدی (Kaboosi & Majidi, 2017b)، احمدالی و همکاران (Ahmadali et al., 2016)، عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2015) و کمالی و همکاران (Kamali et al., 2008) محدوده تاریخ کشت مناسب گندم دیم با احتمال وقوع ۷۵ درصد در گستره اراضی کشاورزی استان

1- Inverse distance weighting (IDW)

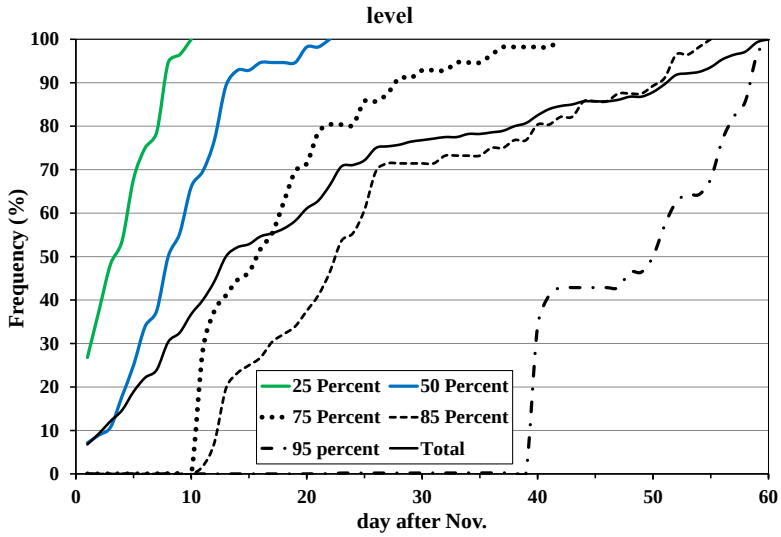
گلستان و در بین ایستگاه‌های هواشناسی استان‌های کردستان، خراسان جنوبی و آذربایجان شرقی را به ترتیب ۱۴ تا ۲۹ مهر (پنجره تاریخ کشت ۱۵ روز)، ۱۰ آذر تا ۲ دی (پنجره تاریخ کشت ۲۳ روز)، ۲۰ مهر تا ۲۳ آبان (پنجره تاریخ کشت ۳۳ روز)، دهه اول مهر تا دهه اول آبان (پنجره تاریخ کشت ۳۰ روز) به دست آوردند که با نتایج این پژوهش همخوانی نزدیکی دارد. پنجره تاریخ مناسب کشت جو دیم استان لرستان در سطوح احتمال وقوع ۵۰ و ۷۵ درصد به ترتیب ۵ و ۲۷ روز گزارش شد (Ahmadi et al., 2017). همچنین کمالی و همکاران (Kamali et al., 2010) گزارش کردند که کشاورزان استان زنجان با کشت زودتر یا دیرتر از موعد گندم دیم به دلیل عدم آگاهی از زمان آغاز بارش‌کاهش عملکرد را تجربه می‌کنند. آنها تاریخ کشت مناسب گندم دیم با احتمال وقوع ۷۵ درصد در بخش عمده‌ای از استان زنجان را بین ۱۳ تا ۲۲ مهر (پنجره تاریخ کشت نه روز) به دست آوردند؛ در حالی‌که نتیجه پیمایش میدانی نشان داد که کشت گندم توسط کشاورزان عموماً بین ۴ تا ۱۱ مهر (پنجره تاریخ کشت ۷ روز) صورت می‌گرفت. به نظر می‌رسد این موضوع در استان گلستان متفاوت است. نتایج پژوهش میدانی ترابی و همکاران (Torabi et al., 2012) نشان داد که تاریخ کشت گندم در مزارع شهرستان گرگان بین ۲۸ آبان تا ۱۰ دی بود. در همین راستا، بر اساس نتایج پژوهش حاضر (شکل ۲)، میانگین تاریخ مناسب کشت گندم ایستگاه‌های شهرستان گرگان شامل هاشم‌آباد، محوطه امور آب، زیارت، شصت‌کلاته، نومل و گرجی‌محله در سطوح احتمال مختلف (از ۲۵ تا ۹۵ درصد) بین ۵ آذر تا ۱۶ دی می‌باشد که نشان می‌دهد کشاورزان شهرستان گرگان بر اساس دانش تجربی خود درجات مختلفی از ریسک را در انتخاب تاریخ کشت گندم لحاظ می‌کنند. در بررسی مدیریت مزارع گندم شهرستان بندرگز، نکاحی و همکاران (Nekahi et al., 2014a,b) تاریخ کشت را بین ۱۰ آذر تا ۱۰ دی به دست آوردند که با نتایج این پژوهش (شکل ۲) که نشان داد میانگین تاریخ مناسب کشت گندم ایستگاه‌های هواشناسی این شهرستان شامل وطنا، بندرگز، غازمحله و کارکنده در سطوح احتمال مختلف (از ۲۵ تا ۹۵ درصد) بین ۳ آذر تا ۴ دی می‌باشد، بسیار نزدیک است. همچنین نتایج پژوهش ترابی و همکاران (Torabi et al., 2012) و نکاحی و همکاران (Nekahi et al., 2014a,b) نشان دادند که ۵۰ درصد از کشاورزان شهرستان‌های گرگان و بندرگز تاریخ کشت گندم را به ترتیب ۲۰ آذر و ۱۷ آذر انتخاب می‌کنند که این بازه زمانی به ترتیب معادل با ۷۵ و ۸۵ درصد احتمال وقوع بارش مناسب کشت گندم در ایستگاه‌های شهرستان‌های گرگان و بندرگز می‌باشد (شکل ۲). به عبارت دیگر، ۵۰ درصد از کشاورزان این شهرستان‌ها با انتخاب تاریخ کشت مناسب گندم ریسک بسیار پایینی از نظر وقوع بارش کافی برای کشت را به مزرعه تحمیل می‌کنند که نشان از تجربه آنها در درک توزیع بارش‌های منطقه دارد. بر این اساس، می‌توان اظهار داشت که نتایج پژوهش حاضر در زمینه تاریخ کشت گندم با نتایج پژوهش‌های مزرعه‌ای و میدانی مطابقت بسیار نزدیکی دارد و این امر نشان می‌دهد که حداقل ۵۰ درصد کشاورزان شهرستان‌های گرگان و بندرگز با درک صحیح نقش بارش پاییزه بر رشد گیاه، تاریخ کشت گندم را به درستی انتخاب می‌نمایند.

به منظور تحلیل بهتر نتایج، نمودار درصد فراوانی وقوع تاریخ مناسب کشت گندم دیم در سطوح احتمال مختلف تهیه گردید (شکل ۳). بر اساس این شکل می‌توان دریافت که فروانی وقوع تاریخ‌های مناسب کشت در همه سطوح احتمال از یکنواختی برخوردار است، ولی یکنواختی توزیع در فراوانی وقوع ۷۵ و ۹۵ درصد کمتر است. حداکثر تاریخ کشت مناسب گندم دیم در ۵۰ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطوح احتمال ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۸۵ و ۹۵ درصد به ترتیب ۴، ۸، ۱۶، ۲۳ و ۵۰ روز از مبداء آذر در ۷۵ درصد از ایستگاه‌ها به ترتیب ۶، ۱۲، ۲۲، ۳۶ و ۵۶ روز از مبداء آذر می‌باشد.



شکل ۲- پراکندگی تاریخ مناسب کشت (از مبداء آذر) گندم در ایستگاه‌های مختلف در سطوح احتمال متفاوت

Fig. 2- Scattering of suitable planting date (day after the Nov.) of rainfed wheat in different station at different probability



شکل ۳- درصد فروانی وقوع تاریخ مناسب کشت گندم دیم (از مبدا آذر) در سطوح احتمال مختلف

Fig. 3- Occurrence frequency of suitable planting date of rainfed wheat (day after the Nov.) at the different probability levels

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) و مقایسه میانگین‌ها (جدول ۲) نشان داد که سطح احتمال بر تاریخ کشت تأثیر معنی‌دار داشت، ولی اثر ایستگاه بر آن معنی‌دار نبود. لازم به توضیح است که با توجه به این که شرط وقوع ۲۵ میلی‌متر بارش در ماه‌های آذر و دی در یک دوره ده روزه متوالی در برخی سال‌های دوره آماری در بعضی ایستگاه‌های هواشناسی اتفاق نیفتاد، لذا امکان تعیین تاریخ کشت در برخی سال‌ها و ایستگاه‌ها وجود نداشت. با عنایت به این که وقوع این شرایط در سطح بیشتر از ۲۵ درصد از دوره آماری (۶ سال از ۲۶ سال) موجب عدم امکان تعیین تاریخ کشت در سطح احتمال ۲۵ درصد می‌گردید، برخی ایستگاه‌ها از تحلیل‌های بعدی حذف شدند که این موضوع در ایستگاه‌های شاهکوه و چات به ترتیب با ۵۴ (۱۴ از ۲۶ سال) و ۶۹ (۱۸ از ۲۶ سال) درصد عدم تحقق بارش در برخی سال‌ها مشاهده گردید. لازم به ذکر است که مطابق نقشه استعدادیابی اراضی کشاورزی استان گلستان برای کشت گندم دیم (Kaboosi & Majidi, 2017a) دو ایستگاه هواشناسی شاهکوه و چات به ترتیب در منطقه با استعداد متوسط و نامستعد کشت واقع می‌باشند که با نتایج این پژوهش مبنی بر احتمال بالای عدم وقوع بارش کافی برای کشت مطابقت دارد. نتایج نشان داد که تفاوت آماری معنی‌داری بین تاریخ مناسب کشت گندم در همه سطح احتمال‌ها وجود دارد به گونه‌ای که با افزایش سطح احتمال، تاریخ مناسب کشت گندم دیم در استان گلستان به تاخیر می‌افتد (جدول ۲) که این مفهوم با نتایج برخی پژوهش‌ها (Ahmadali et al., 2016; Khoshal Dastjerdi et al., 2015; Noohi, 2005; Mohammadi, 2005) مطابقت دارد. مطابق جدول ۲ میانگین تاریخ مناسب کشت ایستگاه‌های استان بین ۵ آذر تا ۱۵ دی بدست آمد. در همین راستا بیشترین فراوانی (حدود ۹۱ درصد وسعت) تاریخ مناسب کشت گندم دیم با احتمال وقوع ۷۵ درصد در استان گلستان بازه زمانی ۱۶ تا ۲۵ آذر با میانگین وزنی ۲۱ آذر گزارش شد (Kaboosi & Majidi, 2017b) که با نتایج این پژوهش مطابقت نزدیکی دارد. میانگین اختلاف تاریخ مناسب کشت گندم دیم ایستگاه‌های مختلف استان‌های کردستان (Ahmadali et al., 2016) و ایلام (Mohammadi, 2005) در احتمال ۵۰ و ۷۵ درصد به ترتیب ۱۱ و ۱۲ روز گزارش شد که با نتایج این پژوهش (۹ روز) نزدیکی زیادی دارد. این اختلاف برای جو دیم در استان لرستان ۱۸ روز گزارش شد (Ahmadi et al., 2017). همچنین بین سطح احتمال ۹۰ و ۲۰ درصد به میزان ۴۶ ، ۶۹ و ۷۹ روز اختلاف در ایستگاه هواشناسی کرج بر اساس سه تعریف مختلف تاریخ کشت مناسب گندم دیم گزارش شد (Noohi, 2005) که اختلاف قابل توجهی با تفاوت بین احتمال‌های ۹۵ و ۲۵ درصد استان گلستان (۲۷ روز) دارد. این اختلاف را می‌توان به تعریف متفاوت بارش مناسب برای تعیین تاریخ کشت و شرایط اقلیمی و الگوی متفاوت بارش دو منطقه مربوط دانست.

نقشه‌های پهنه‌بندی تاریخ مناسب کشت گندم دیم در سطح استان گلستان بر اساس احتمال‌های مختلف وقوع بارش مورد نیاز از ۲۵ تا ۹۵ درصد در شکل ۴ نمایش داده شده و بر اساس آن توزیع مساحت طبقات مختلف تاریخ مناسب کشت در جدول ۳ ارائه گردیده است. با افزایش سطح احتمال پنجره تاریخ کشت در سطح استان طولانی‌تر می‌گردد؛ به گونه‌ای که اختلاف تاریخ کشت مناطق مختلف استان در سطح احتمال ۲۵ درصد ۱۰ روز (از ۱ تا ۱۰ آذر) و

در سطح احتمال ۹۵ درصد ۴۰ روز (از ۲۱ آذر تا ۳۰ دی) می‌باشد.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر سطح احتمال بر تاریخ مناسب کشت گندم دیم

Table 1- The results of ANOVA on suitable planting date of rainfed wheat affected by probability levels and stations

متغیر Variable	منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df *	میانگین مربعات Mean of squares	سطح معنی‌داری P-value
سطح احتمال Probability Level	بین گروه‌ها Between Groups	4	14543.3	0.000
	درون گروه‌ها Within Groups	275	92.22	-
ایستگاه هواشناسی Station	بین گروه‌ها Between Groups	55	282.92	0.611
	درون گروه‌ها Within Groups	224	303.45	-

* با حذف دو ایستگاه شاهکوه و چات از تحلیل آماری، تعداد کل ایستگاه‌ها به ۵۶ عدد کاهش یافت.

جدول ۲- مقایسه میانگین تاریخ مناسب کشت (تعداد روز از مبداء آذر) گندم دیم استان گلستان در سطوح احتمال مختلف

Table 2- Mean comparison of suitable planting date (day after the Nov.) of rainfed wheat in Golestan province at different probability level

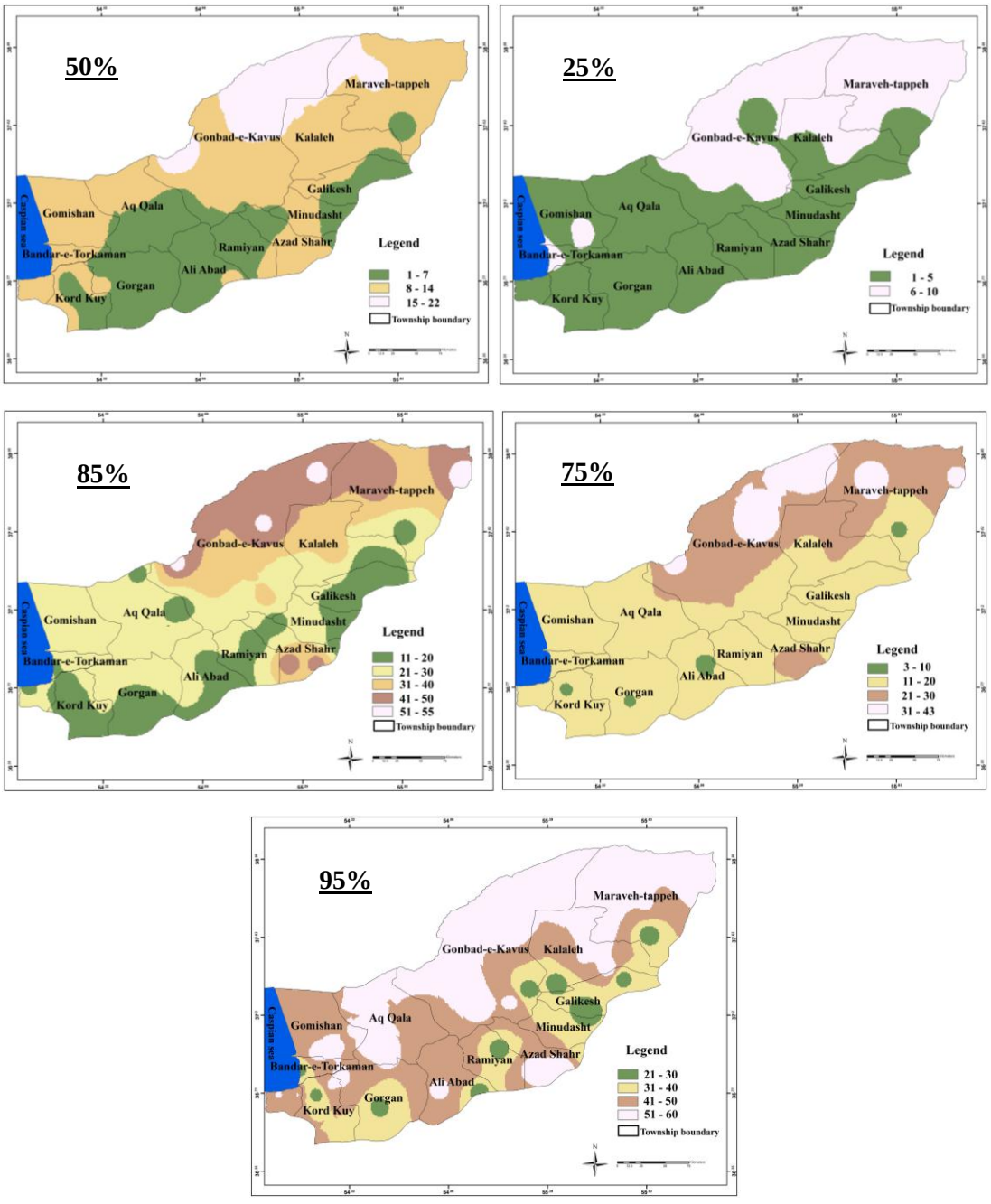
احتمال وقوع (درصد) Probability (%)	25	50	75	85	95
تاریخ کشت محاسباتی Planting date	4.2 e	8.9 d	17.8 c	26.7 b	44.9 a
تاریخ کشت عملی Actual planting date	5	9	18	27	45

تاریخ کشت مناسب گندم دیم در نیمه جنوبی استان زودتر از نیمه شمالی به دست آمد (شکل ۴). در این زمینه گزارش شده است که در نیمه جنوبی استان گلستان به دلیل شرایط کوهستانی و تراز ارتفاعی بالا، وقوع بارش‌های پائیزه نسبت به مناطق دشتی نیمه شمالی زودتر و بیشتر می‌باشد (Kaboosi & Majidi, 2017b). بر اساس نتایج (شکل ۴ و جدول ۳)، کشت گندم دیم در پنج روز اول ماه آذر در بیش از ۶۲ درصد وسعت استان با سطح احتمال بسیار پایینی (۲۵ درصد) برای وقوع بارش مناسب کشت همراه است که ریسک بسیار بالایی را به دنبال دارد در حالی که اگر کشت در هفته اول ماه آذر صورت گیرد (یعنی تاریخ کشت فقط دو روز دیرتر صورت گیرد)، احتمال وقوع بارش مناسب در ۳۲ درصد وسعت استان به ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر این تاخیر چند روزه می‌تواند موجب گردد تا احتمال وقوع بارش مناسب در این پهنه از ۲۵ به ۵۰ درصد افزایش می‌دهد و در نتیجه ریسک بالای عدم وقوع بارش مناسب را کاهش دهد. این در حالی است که اگر کشاورزان بخواهند ریسک زراعت را کاهش دهند و احتمال وقوع بارش مناسب برای کشت را به ۷۵ درصد افزایش دهند لازم است کشت را در دهه دوم (در بیش از ۶۱ درصد وسعت استان) و دهه سوم (در حدود ۲۸ درصد وسعت استان) آذر انجام دهند، زیرا در این سطح احتمال فقط در یک درصد وسعت استان تاریخ مناسب کشت گندم در دهه اول آذر می‌باشد و تاریخ مناسب کشت در نزدیک به ۹۰ درصد وسعت استان در دهه دوم و سوم آذر می‌باشد که این موضوع با نتایج کابوسی و مجیدی (Kaboosi & Majidi, 2017b) همخوانی دارد. کاهش بیشتر ریسک زراعت با افزایش سطح احتمال به ۸۵ و ۹۵ درصد ممکن می‌باشد که برای این منظور لازم است کشت گندم در بخش‌هایی از استان در ماه دی صورت گیرد به گونه‌ای که در سطح احتمال ۸۵ درصد برای بیش از ۳۸ درصد وسعت استان و در سطح احتمال ۹۵ درصد برای ۹۶ درصد وسعت استان تاریخ مناسب کشت گندم در این ماه است (جدول ۳).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که با توجه به وقوع زودتر و بیشتر بارش‌های پائیزه در نیمه جنوبی استان گلستان به دلیل شرایط کوهستانی و تراز ارتفاعی بالا نسبت به مناطق دشتی نیمه‌شمالی، تاریخ مناسب کشت گندم دیم در نیمه جنوبی استان زودتر از نیمه‌شمالی می‌باشد. صحت‌سنجی و اعتبارسنجی نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های مزرعه‌ای و میدانی، ضمن تائید دقت قابل قبول پیش‌بینی تاریخ مناسب کشت بر اساس معیار معرفی شده، نشان داد که کشاورزان استان با درک صحیح از نقش بارش پاییزه در استقرار بوته و عملکرد محصول، تاریخ کشت گندم را با سطح احتمال بالایی درست انتخاب می‌نمایند. پنجره تاریخ کشت گندم دیم در مناطق مختلف استان متفاوت به دست آمد

و تحت تاثیر سطح احتمال وقوع بارش مناسب (ریسک) قرار گرفت. تأخیر تاریخ کشت گندم به مدت چند روز در اوایل آذر توانست موجب کاهش اندک ریسک زراعت (افزایش احتمال وقوع بارش مناسب از ۲۵ به ۵۰ درصد) گردد ولی کاهش بیشتر ریسک زراعت (افزایش احتمال وقوع بارش مناسب به ۷۵، ۸۵ و ۹۵ درصد) از طریق تأخیر تاریخ کشت به میزان چند دهه مقدور خواهد بود.



شکل ٤- پهنه‌بندی تاریخ مناسب کشت گندم دیم (از مبداء آذر) در استان گلستان در سطوح احتمال مختلف

Fig. 4- Zoning of suitable planting date of rainfed wheat (day after Nov.) over Golestan province at the different probability levels

جدول ۳- مساحت و درصد طبقات مختلف تاریخ کشت (از مبدا آذر) گندم دیم استان گلستان

Table 3- Area and percentage of planting date (day after Nov.) classes of rainfed wheat in Golestan province

سطح احتمال Probability level (%)	محدوده تاریخ کشت Planting date range	سطح Area (ha)	درصد Percent	سطح احتمال Probability level	محدوده تاریخ کشت Planting date range	سطح Area (ha)	درصد Percent
25	1-5	12561.0	62.1	85	11-20	4131.7	20.4
	6-10	7653.0	37.9		21-30	8370.9	41.4
50	1-7	6459.5	32.0		31-40	3623.6	17.9
	8-14	10721.3	53.0		41-50	3741.8	18.5
	15-22	3033.3	15.0		51-55	346.1	1.7
75	3-10	237.9	1.2	95	21-30	811.4	4.0
	11-20	12440.0	61.5		31-40	3764.2	18.6
	21-30	5619.2	27.8		41-50	7166.4	35.5
	31-43	1917.0	9.5		51-60	8472.1	41.9

سپاسگزاری

مقاله حاضر مستخرج از طرح پژوهشی (کد ۱۷۳۹۶۱۲۱۲۰۰۱۶) می‌باشد که با حمایت‌های مالی و معنوی دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان به انجام رسیده است. لذا بدین‌وسیله نویسندگان مقاله مراتب قدردانی خود را از این حمایت‌ها اعلام می‌دارند.

منابع

Abbasi, F., Ehteramian, K., Khazanedari, L., Mohammadnia Gharaei, Sh., and Asmari, M. 2015. Locating the most suitable dry land wheat areas (case study: North Khorasan province). Journal of Climate Research 4: 57-72. (In Persian with English Summary)

Ahmadali, K., Hosseini Pajouh, N., and Liaghat, A.M. 2016. Determination of optimal planting date of rainfed wheat in Kurdistan Province, Iran. Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi) 108: 9-18. (In Persian with English Summary)

Ahmadamini, T., Kamkar, B., and Soltani, A. 2011. The effect of planting date on partitoning coefficient in some species of wheat. Crop Production 4: 131-150. (In Persian with English Summary)

Ahmadi, M., Fallahi Khoshji, M., and Mafakheri, O. 2017. Predicting changes of rainfed Barley (*Hordeum vulgare* L.) farming calendar using downscaling LARS-WG and $HadCM_3$ models in Lorestan province in 2011-2030 periods. Journal of Agroecology 9: 475-489. (In Persian with English Summary)

Alizadeh, A., Sayari, N., Ahmadian, J., and Mohamadian, A. 2009. Study for zoning the most appropriate time of irrigation of saffron in Khorasan Razavi, northern and southern provinces. Journal of Water and Soil 23: 109-118. (In Persian with English Summary)

Andarzian, B., Hoogenboom, G., Bannayan, M., Shirali, M., and Andarzian, B. 2015. Determining optimum sowing date of wheat using CSM-CERES-Wheat model. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 14: 189-199.

Anonymous. 2016. Agricultural Statistical Book (2014-2015). Available online at: www.maj.ir.

Ashofteh, P.S., and Massah, A.R. 2010. Impact of climate change uncertainty on temperature and precipitation of Aidoghmoush basin in 2040-2069 periods. Soil and Water Science 19.1: 85-98. (In Persian with English Summary)

Bannayan, M., Eyshi Rezaei, E., and Hoogenboom, G. 2013. Determining optimum planting dates for rainfed wheat using the precipitation uncertainty model and adjusted crop evapotranspiration. Agricultural Water Management 126: 56-63.

Bussmann, A., Elagib, N.A., Fayyad, M., and Ribbe, L. 2016. Sowing date determinants for Sahelian rainfed agriculture in the context of agricultural policies and water management. Land Use Policy 52: 316-328.

Cheraghi, R., Ramroudi, M., Taee Semiroumi, J., and Lorzadeh, S. 2018. Geographical distribution of rainfall and temperature optimum at sowing to emergence canola using GIS in Khuzestan province. Journal of Agroecology 9: 1007-1019. (In Persian with English Summary)

Dobor, L., Barcza, Z., Hlasny, T., Arendas, T., Spitko, T., and Fodor, N. 2016. Crop planting date matters: Estimation methods and effect on future yields. Agricultural and Forest Meteorology 223: 103-115.

Food and Agriculture Organization (FAO). 2018. The FAOSTAT Database. Available at Website http://faostat.fao.org/default.aspx.

Fooladmand, H.R. 2010. Estimation of sugarbeet irrigation requirement in different regions of Fars province in critical conditions and definite probability levels. Journal of Sugar Beet 25: 162-153. (In Persian with English Summary)

Fooladmand, H.R. 2011. Estimation of irrigation requirement for important agricultural crops at the different probability levels for the province of Fars. Water Engineering 4: 65-73. (In Persian with English Summary)

Hundal, S.S., Singh, R., and Dhaliwal, L.K. 1997. Agro-climatic indices for predicting phenology of wheat (*Triticum aestivum*) in Punjab. The Indian Journal of Agricultural Sciences 67: 265-286.

Kaboosi, K., and Majidi, O. 2017a. Agro-ecological zoning of rainfed wheat in Golestan province based on meteorology, agronomy, soil and land properties. Journal of Agroecology 7: 134-154. (In Persian with English Summary)

Kaboosi, K., and Majidi, O. 2017b. Zoning of planting and harvesting dates and length of growth stages of rainfed wheat based on precipitation and temperature data in Golestan province. Iranian Journal of Dryland Agriculture 6(1): 103-120. (In Persian with English Summary)

Kamali, G., Mollaei, P., and Behyar, M.B. 2010. Development of Zanjan province dry land wheat atlas by using climatic data and GIS. Journal of Water and Soil 24: 894-907. (In Persian with English Summary)

Kamali, G., Sadaghiani Poor, A., and Sedaghatkerdar, A. 2008. The climatic zoning of dryland wheat in Eastern Azerbaijan. Journal of Water and Soil 22: 467-483. (In Persian with English Summary)

Kaviani, M.R., Hosseini Abri, S.H., and Asadi Broujeny, E. 2002. Probability of occurrence and return period of minimal temperature in almond orchards at Semnan region during March, April and May. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 9: 49-57. (In Persian with English Summary)

Khoshal Dastjerdi, J., Nazari, A., Ghangharmeh, A., and Fallahi, H.A. 2015. Predicting isometropia- rainfall in dry wheat implantation and cultivation in Gonbad Kavoos province. Geographical Planning of Space 5: 169-184. (In Persian with English Summary)

Mehdizadeh, S., Behmanesh, J., and Nikbakht, J. 2011. Estimation of reference evapotranspiration with various occurrence probability levels (Case study: Urmia). Water and Soil Science 20: 171-183. (In Persian with English Summary)

Mianabadi, A., Mousavi Baygi, M., Sanai Nejad, H., and Nezami, A. 2009. Assessment and mapping of early autumn, late spring and winter freezing in Khorasan Razavi province using GIS. Journal of Water and Soil 23: 79-90. (In Persian with English Summary)

Mohammadi, H. 2005. The determining suitable dry farming wheat time in Ilam provience. Geographical Research 37: 15-31. (In Persian with English Summary)

Naderi, A. 2014. Analysis the effect of planting date on wheat genotypes grain yield by using regression methods. Crop Physiology Journal 5: 5-14. (In Persian with English Summary)

Nekahi, M.Z., Soltani, A., Siahmarguee, A., and Bagherani, N. 2014a. Yield gap associated with crop management in wheat (Case study: Golestan province -Bandargaz). Crop Production 7: 135-156. (In Persian with English Summary)

Nekahi, M.Z., Soltani, A., Siahmarguee, A., and Bagherani, N. 2014b. Factors affecting the population density of weeds and yield loss of them in wheat: a case study in Golestan province- Bandargaz. Journal of Agroecology 6: 393-405. (In Persian with English Summary)

Nikbakht, J., and Mir Latifi, S.M. 2002. Effects of ET_0 computing method, probability level and length of peak water requirement period on daily reference evapotranspiration. Iranian Journal of Soil and Waters Sciences 16: 222-230. (In Persian with English Summary)

Noohi, K. 2005. Rainfall analysis of Karaj for determination of rainfed wheat sowing date. Nivar 58: 95-103. (In Persian with English Summary)

Nouri, M., Homaee, M., Bannayan, M., and Hoogenboom, G. 2017. Towards shifting planting date as an adaptation practice for rainfed wheat response to climate change. Agricultural Water Management 186: 108-119.

Rezvantalab, N., Soltani, A., Zeinalee, A., and Deilam Salehi, R. 2017. Documenting the process of wheat production in Golestan province. Research Achievement for Improvement Crop Production 2: 1-16. (In Persian with English Summary)

Sobhani, B., Ganji, M., and Goldoust, A. 2017. Determination and investigation about beginning and end dates of early and late freezes and possibility of its continuity, intensity and succession in Ardabil province. Physical Geography Research Quarterly 49: 39-53. (In Persian with English Summary)

Sys, I.C., Van Ranst, E., and Debaveye, J. 1991. Land evaluation- Part I: Principle in land evaluation and crop production calculations. General Administration for Development Cooperation, Agricultural Publication No. 7, Brussels, Belgium, 274 pp.

Tavakoli, A.R. 2014. Effects of sowing date and single irrigation on yield and yield components of rainfed barley cultivars. Iranian Dryland Agronomy Journal 2: 53-68. (In Persian with English Summary)

Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., and Zeinali, E. 2012. Documenting the process of wheat production in Gorgan. Journal of Plant Production 19: 19-42. (In Persian with English Summary)

Yasari, T. 2014. Determining planting dates for spring safflower by temperature and digital elevation model in Esfahan province. Physical Geography Research Quarterly 46: 389-405. (In Persian with English Summary)

Zheng, Z., Cai, H., Yu, L., and Hoogenboom, G. 2017. Application of the CSM-CERES-Wheat model for yield prediction and planting date evaluation at Guanzhong plain in Northwest China. Agronomy Journal 109: 204-217.

Ziaee, A.R., Kamgar-Haghighi, A.A., Sepaskhah, A.R., and Ranjbar S. 2006. Development of Fars province probable minimum temperature atlas using meteorological data. Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources) 10: 13-27. (In Persian with English Summary)

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 217-229

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۲۲۹-۲۱۷

Determination and Zoning of Suitable Planting Date of Rainfed Wheat (*Triticum aestivum* L.) in Golestan Province based on Different Levels of Occurrence Probability of Autumn Rainfall

K. Kaboosi[1*] and O. Majidi[2]

Submitted: 22-05-2018
Accepted: 08-10-2018

Kaboosi, K., and Majidi, O. 2019. Determination and zoning of suitable planting date of rainfed wheat (*Triticum aestivum* L.) in Golestan province based on different levels of occurrence probability of autumn rainfall. Journal of Agroecology. 11(1):217-229.

Introduction

Wheat has strategic importance in Iran and Golestan province is one of the major regions of wheat production in the country. Province has the third place among all provinces of the country in term of wheat cultivated lands (about 400 thousand hectares) and grain production (more than one million tons). The optimal planting date for any crop normally occur within a sowing window. It is defined as beginning and end of the planting period which guarantee the achievement of reasonable yield. In rainfed farming, farmers face a decision of whether or not to plant when sufficient rainfall accumulates to increase soil moisture content. If the average meteorological data is used to design a farming system, such as planting date, its probability will be 50 percent. Average rainfall data (50 percent probability level) are quite unreliable for cropping planning. Usually, risk levels of 60 to 80 percent are recommended depending on the sensitivity of the crop to water stress, acceptable risk by farmer and soil. Therefore, it can be stated that in rainfed cultivation, farmers choose their risk based on the selection of the planting date. Considering the importance of predicting the appropriate planting date in optimizing farm management in rainfed farming and its dependence on the occurrence of autumn rainfall on the one hand and the stochastic nature of rainfall, on the other hand, the present study was conducted to determine the sowing window of wheat in the Golestan province at different occurrence probability levels.

Materials and Methods

Initially, by reviewing the geographic distribution of meteorological stations in Golestan province and their statistical period, daily rainfall data of 58 meteorological stations in the 1991- 2016 period (26 years) were gathered. Then, suitable planting date of wheat in each station and year was determined based on the first rainfall date equal to or more than 25 mm over a period of 10 consecutive days in October. In the next step, suitable planting date for each station was calculated by the occurrence probability level 25, 50, 75, 85 and 95 percent based on statistical analysis and choose the best probability function using the software SMADA. Verification of zoning maps was done based on findings of field scale researches. Finally, in the meantime of statistical analyzing the results, zoning maps of suitable planting date of rainfed wheat were prepared using ArcGIS software by Inverse Distance Weighting (IDW).

Results and Discussion

The results showed that the suitable planting date of rainfed wheat in the southern half of the Golestan province was earlier than the northern part. The occurrence probability level had a significant effect on suitable planting date but the effect of the station was not significant. The statistical difference between all occurrence probability levels was significant, so that the occurrence probability level of 25 and 95 percent indicated the earliest and bottommost suitable planting date of rainfed wheat in Golestan province, respectively. Within different stations of the province, the suitable planting dates of rainfed wheat for 25, 50, 75, 85 and 95 percent occurrence probability were between 22 November to 1 December, 22 November to 13 December, 24 November to 3 January, 2 December to 15 January and 12 December to 20 January, respectively. Increasing the occurrence probability levels prolonged the sowing window so that the difference between suitable planting dates in different stations was 10 and 40 days for 25 and 95 probability level,

1-Associate Professor, Department of Agriculture, Gorgan branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran.
2- Researcher in Agrometeorology, Golestan Meteorological Administration, Gorgan, Iran.
(*- Corresponding Author Email: kkaboosi@yahoo.com)
DOI:10.22067/jag.v11i1.72873

respectively. According to the results, a small reduction in the risk of farming (an increase in the occurrence probability level of suitable rainfall from 25 to 50 percent) is possible with a delay in planting date for a few days, while a greater reduction in the risk (an increase in the occurrence probability level of suitable rainfall to 75, 85 and 95 percent) will be possible through a delay of the planting date for several decades. Verification and validation of the results of this study based on findings of field scale researches confirmed the accuracy of predicting the suitable planting date by autumn rainfall.

Conclusion

The results showed that the farmers of the Golestan province with the correct understanding of the role of autumn rainfall in crop growth and yield and based on their experimental knowledge, selected the appropriate planting date of rainfed wheat with a high probability level.

Keywords: Delayed Planting, Risk, Sowing Window

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۲۴۳-۲۳۱

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 231-243

تأثیر کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) و شبدر ایرانی (*Trifolium resupinatum* L.) بر ویژگی‌های کمی علوفه

رامین نظریان[۱]، علیرضا کوچکی[۲*]، مهدی نصیری محلاتی[۲] و پرویز رضوانی مقدم[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۰۶

نظریان، ر.، کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م.، و رضوانی مقدم، پ. ۱۳۹۸. تأثیر کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) و شبدر ایرانی (*Trifolium resupinatum* L.) بر ویژگی‌های کمی علوفه. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱(۱): ۲۴۳-۲۳۱.

چکیده

جهت بهینه‌سازی نسبت و آرایش کاشت در مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) و شبدر ایرانی (*Trifolium resupinatum* L.)، آزمایشی بصورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. آرایش کاشت در پنج سطح (مخلوط ردیفی ۱:۱(M_1)، مخلوط ردیفی ۲:۲ (M_2)، مخلوط نواری ۳:۳ (M_3)، مخلوط نواری ۴:۴ (M_4) و مخلوط درهم (M_5)) بعنوان کرت اصلی و نسبت کاشت نیز در پنج سطح (مخلوط افزایشی ۵۰٪ شبدر + ۱۰۰٪ جو (R_5)، مخلوط افزایشی ۲۵٪ شبدر + ۱۰۰٪ جو (R_4)، مخلوط جایگزینی ۵۰٪ جو + ۵۰٪ شبدر (R_3) همرا با جو خالص (R_2) و شبدر خالص (R_1)) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج آزمایش حاکی از تأثیر معنی‌دار ($P<0.01$) آرایش و نسبت کاشت بر وزن خشک علوفه و همچنین عملکرد پروتئین بود. بیشترین وزن خشک علوفه از کشت جو خالص (۱۴۷۳۱ کیلوگرم در هکتار) و مخلوط درهم (۱۲۸۵۷/۹ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد. بیشترین عملکرد پروتئین نیز از نسبت کاشت جو خالص (۱۹۶۲/۲کیلوگرم در هکتار) و آرایش کاشت مخلوط درهم (۱۵۸۴/۳۸ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد. اثر آرایش کاشت بر نسبت برابری زمین معنی‌دار نبود ولی نسبت کاشت بر نسبت برابری زمین تأثیر معنی‌دار داشت ($P<0.01$). بیشترین نسبت برابری زمین متعلق به نسبت کاشت R_5 (۱/۲۸) و آرایش کاشت M_4 (۱/۲۳) بود. تأثیر آرایش و نسبت کاشت بر ضریب ازدحام نسبی (K) معنی‌دار نبود، ولی بیشترین مقدار ضریب ازدحام نسبی متعلق به نسبت کاشت R_4 (۳۵/۳۳) وکمترین مقدار متعلق به R_5 (۲۳/۲۴-) بود. اثر آرایش و نسبت کاشت بر شاخص تهاجم معنی‌دار بود، منفی شدن شاخص تهاجم شبدر بیانگر مغلوب بودن شبدر در کشت مخلوط بوده و همان‌گونه که آشکار شد جو دارای قابلیت رقابتی بیشتر برای تسخیر منابع در کشت مخلوط بود. شاخص‌های اقتصادی کاهش عملکرد واقعی (AYL) و سودمندی اقتصادی (IA) بیانگر مزیت کشت مخلوط جو و شبدر نسبت به حالت تک‌کشتی بوده بطوری‌که بیشترین سودمندی اقتصادی در نسبت کاشت مخلوط R_4 (۷۲۶۲۸۳۳ ریال) و آرایش کاشت مخلوط M_4 (۴۹۷۴۸۴۰ ریال) حاصل گردید.

واژه‌های کلیدی: آرایش کاشت، کشت مخلوط، نسبت برابری زمین، نسبت کاشت

مقدمه

کشت مخلوط دو یا چند گیاه، یک جامعه گیاهی را به وجود می‌آورد که قادرند از منابع بهتر استفاده کرده و در نتیجه کمیت و کیفیت محصول بهبود پیدا کند. کشت مخلوط در مناطق گرمسیری جهان به طور گسترده‌ای متداول می‌باشد و در حال حاضر این نظام کشت در مناطق معتدل نیز به سرعت در حال گسترش است. چندین عامل می‌تواند بر رشد گونه‌های استفاده شده در کشت مخلوط مؤثر باشد، که از جمله می‌توان انتخاب رقم، نسبت بذر و رقابت بین اجزای مخلوط را نام برد (Carr et al., 2004). کشت مخلوط غلات-بقولات برای توسعه سیستم پایدار تولید غذا، بخصوص در صورت محدودیت نهاده‌های خارجی مهم است. اکثر آزمایش‌های کشت مخلوط شامل گیاهان خانواده بقولات و غلات هستند. غلات از نظر تولید ماده خشک در سطح بالایی قرار دارند، ولی از حیث پروتئین فقیرند اما بقولات بالعکس دارای مقدار پروتئین بیشتری می‌باشند. لذا مخلوط غلات و بقولات منجر به تولید علوفه با کیفیت بالا می‌شود

۱- استاد گروه اگرانومی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه هرات- افغانستان و دانشجوی سابق دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*-نویسنده مسئول: Email: akooch@um.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v11i1.45221

(Sistach, 1990). کشت مخلوط غلات با شبدر به عنوان یک گزینه جهت تولید سیلو در سیستم‌های کشاورزی کم‌نهاده مطرح شده است (Jones & Clements, 1993). البته، ممکن است از این نوع مخلوط جهت تولید دانه نیز استفاده کرد (Clements & Donaldson, 1997; Thorsted et al., 2002). یکی از مزایای کشت مخلوط غلات– بقولات در مناطق نیمه‌خشک ترکیب محصولاتی با توانایی متفاوت در استفاده از منابع نیتروژن است. غلات ممکن است بیشتر از بقولات برای کسب نیتروژن معدنی در خاک رقابت کنند، اما بقولات قادرند در اثر رابط همزیستی با انواع باکتری‌های *رایزوبیوم* موجود در خاک نیتروژن را تثبیت نمایند (Benites et al., 1993). زمانی‌که بقولات با غلات به صورت مخلوط کشت می‌شوند، جذب نیتروژن توسط غلات در اثر انتقال مستقیم آن از بقولات بهبود می‌یابد (Giller & Wilson., 1991). آنیل و همکاران (Anil & et al., 1998) گزارش کردند که در کشت مخلوط غلات و شبدر (*Trifolium resupinatum* L.) نیتروژن تثبیت شده و در اختیار سیستم کاشت قرار می‌گیرد. توانایی تطابق بقولات با الگوهای مختلف کشت و توانایی آنها در تثبیت نیتروژن، فرصتی جهت افزایش بهره‌وری محسوب می‌شود (Jeyabal & Kuppuswamy., 2001). بعلاوه در سیستم کشت مخلوط با بقولات فرسایش خاک کاهش یافته و علف‌های هرز سرکوب و کنترل می‌شوند (Exner & Cruse, 1993). سیستم‌های کشت مخلوط، بخصوص بقولات و غلات، دارای مزایای زیادی از جمله داشتن عملکرد کل بالا و کارآیی بهتر استفاده از زمین (Dhima et al., 2007)، ثبات عملکرد در سیستم کشت (Lithourgidis et al., 2006)، استفاده بهتر از نور، آب و مواد غذایی (Javanmard et al., 2009)، بهبود ظرفیت نگهداری خاک (Anil et al.,1998)، و کنترل بهتر آفات و بیماری‌ها می‌باشد (Banik et al., 2006).

ون‌وتبرگ و همکاران (Von Wettberg et al., 2004) در آزمایشی که بر روی کشت مخلوط گندم (*Triticum aestivum* L.) – شبدر انجام دادند ملاحظه کردند که بیوماس علف‌های هرز بین ردیف‌ها با افزایش فاصله از نزدیک‌ترین ردیف گندم افزایش یافت. تورستد و همکاران (Thorsted et al., 2006) گزارش کردند که کشت نواری گندم توسط دستگاه خاکورز دوار باعث کاهش رقابت زودهنگام بین شبدر و گندم زمستانه گردید. همچنین واینر و همکاران (Weiner et al., 2003) بیان نمودند که رقابت گیاه در زیر زمین، به نظر می‌رسد متقارن به اندازه آن است، یعنی گیاهان بر اساس اندازه ریشه خود منابع را از خاک می‌گیرند، اما بالای سطح زمین رقابت اغلب نامتقارن به اندازه می‌باشد. برای توصیف رقابت و مزیت اقتصادی در کشت مخلوط مطالعه شاخص‌های متعددی مانند نسبت برابری زمین[۲] (LER)، ضریب ازدحام نسبی[۲] (K)، نسبت رقابتی (CR)، شاخص تهاجم[۳] (A)، کاهش عملکرد واقعی[۴] (AYL)، مزیت پولی[۵] (MA) و سودمندی کشت مخلوط[۶] (IA) توصیه می‌شود (Baniket al., 2000; Ghosh, 2004; Midya et al., 2005).

تولید پروتئین در مزرعه در بسیاری ازکشورها بخصوص در شرایط خشک و نیمه‌خشک محدود است (Mohsenabadi et al., 2008). تعدادی از محققین کشت مخلوط لگوم‌های یکساله با غلات را به عنوان یکی از راه‌های افزایش تولید علوفه و پروتئین در مزرعه پیشنهاد کردند (Herbert et al. 1984; Lithourgidis et al., 2006). جو (*Hordeum vulgare* L.) از جمله غلاتی است که می‌تواند به سرعت رشد کند، باعث سرکوب و فشار بر علف‌های هرز شود و مقدار علوفه خشک بالای تولید نماید، اما محتوای پروتئین علوفه آن کم است (Dhima et al., 2007; Dordas & Lithourgidis, 2011; Sadeghpour & Jahanzad, 2012). روس و همکاران (Ross et al., 2004a) و همچنین ویسی لاکوگلو و همکاران (Vasilakoglou et al., 2008) در آزمایشات جداگانه‌ای که انجام دادند بیان نمودند که اگر چه جو علوفه‌ای دارای ارزش غذایی بالاتر از یولاف (*Avena sativa* L.)، تریتیکاله (*X Triticosecale* Wittmack) و گندم پاییزه در سیستم‌های کشت مخلوط است، اما ارزش غذایی آن از لحاظ مقدار پروتئین کم بوده احتیاجات دام‌های تولید کننده فراورده‌های لبنی را برآورده نمی‌کند، لذا برای افزایش کیفیت علوفه، کشت مخلوط جو و بقولات را پیشنهاد کردند. بعلاوه کشت مخلوط جو با شبدر برسیم نسبت به مخلوط جو با یولاف یا تریتیکاله پروتئین بیشتری در فصل رشد فراهم کرد. آنها نشان دادند که رسیدگی زودتر جو دوره طولانی‌تری را برای رشد مجدد شبدر برسیم ایجاد نمود. همچنین لیتورگیدس و همکاران (Lithourgidis et al., 2006) عملکرد بالاتر پروتئین را درکشت مخلوط ماش با یولاف در مقایسه با کشت خالص گزارش کردند. با این‌حال، عملکرد پروتئین زمانی‌که ماش با تریتیکاله بصورت مخلوط کشت شد افزایش نیافت.

با توجه به اهمیت کشت مخلوط در بوم‌نظام‌های زراعی و تولید علوفه با مقدار پروتئین قابل قبول و همچنین لزوم بررسی عوامل مدیریتی بر بهبود کمیت علوفه، در این آزمایش اثر نسبت و آرایش کاشت بر ویژگی‌های کمی علوفه در مخلوط جو و شبدر مورد بررسی قرار گرفت.

1-Land equivalent ratio
2 Crowding coefficient
3- Aggressivity
4- Actual yield loss
5- Monetary advantage index
6- Intercropping advantage index

مواد و روش‌ها

محل اجرای آزمایش و مدیریت مزرعه

این در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با طول جغرافیایی ′۲۸ °۵۹ شرقی و عرض جغرافیایی ′۱۵ °۳۶ شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا آزمایش در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. آزمایش بصورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. آرایش کاشت در پنج سطح (مخلوط ردیفی ۱:۱(M_1)، مخلوط ردیفی ۲:۲ (M_2)، مخلوط نواری ۳:۳ (M_3)، مخلوط نواری ۴:۴ (M_4) و مخلوط درهم (M_5)) بعنوان کرت اصلی و نسبت کاشت نیز در پنج سطح (مخلوط افزایشی ۵۰٪ شبدر + ۱۰۰٪ جو (R_5)، مخلوط افزایشی ۲۵٪ شبدر + ۱۰۰٪ جو (R_4)، مخلوط جایگزینی ۵۰٪ جو + ۵۰٪ شبدر (R_3)، همراه با جو خالص (R_2) و شبدر خالص (R_1)) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. در این آزمایش از ورایته جو محلی (وطن) و گونه شبدر محلی (*Trifolium respinatum* L.) که هم اکنون در استان هرات– افغانستان کشت می‌شود، استفاده گردید. مقدار بذر مصرفی جو و شبدر طبق عرف کشاورزان به ترتیب ۱۲۰ و ۴۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد. ابعاد هر کرت فرعی (دو متر در سه متر) با فاصله ردیف‌های ۲۵ سانتی‌متر منظور گردید. کشت به صورت جوی و پشته با هشت ردیف در هر کرت انجام شد. تاریخ کاشت جو و شبدر بطور همزمان و در اول آبان، مطابق زمان کاشت در افغانستان، در نظر گرفته شد.

قبل از اجرای آزمایش نمونه‌برداری از خاک مزرعه انجام و خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن تعیین گردید (جدول ۱). با توجه به فقیر بودن خاک مزرعه حداقل NPK مورد نیاز جهت رشد مشخص (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره، ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل و ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم) و بر اساس آزمایش نمونه‌های خاک مزرعه، مابقی احتیاجات غذایی از طریق مصرف کود به خاک اضافه گردید. سپس عملیات لازم جهت تهیه بستر مناسب کشت، ایجاد ردیف‌ها و پیاده نموده نقشه طرح انجام گردید. اولین آبیاری در روز بعد از کاشت با آغاز بارندگی‌های پاییز همراه بود. جهت بهبود سبز شدن گیاهچه‌ها آبیاری دوم به فاصله چهار روز بعد و آبیاری‌های بعدی با توجه به شرایط جوی و پراکنش بارندگی‌ها تنظیم گردید.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه
Table 1- Physical and chemical characteristics of farm soil

سال Year	بافت Texture	پتاسیم K (mg.kg^{-1})	فسفر P (mg.kg^{-1})	نیتروژن N (%)	کربن آلی OC (%)	هدایت الکتریکی EC (µs)	اسیدیته pH
2013	لومی سیلتی Silty loam	232	38	0.058	0.64	985	7.65
2014	لومی سیلتی Silty loam	218	29	0.061	0.59	824	7.58

اندازه‌گیری و آنالیز داده‌ها

نصف کرت برای برداشت نهایی و بقیه به نمونه‌برداری تخریبی در طول فصل رشد اختصاص یافت. نمونه‌برداری‌ها جهت تعیین وزن خشک و سطح سبز برگ از اول اسفند ماه هر سه هفته یکبار انجام شد و شاخص‌های رشد مورد مطالعه قرار گرفتند. برداشت نهایی جو در مرحله خوشه‌دهی و شبدر در مرحله گلدهی کامل انجام شد. در هنگام برداشت جو علی‌رغم اینکه هنوز شبدر به مرحله برداشت (گلدهی کامل) نرسیده بود نمونه‌برداری لازم برای محاسبه عملکرد علوفه خشک و پروتئین انجام شد. سطح نمونه‌برداری برای هر کرت پس از حذف اثر حاشیه‌ای یک متر مربع (۱) در نظر گرفته شد. سطح مذکور بعد از برداشت توزین شده و دو نمونه بصورت تصادفی به وزن نیم تا یک کیلوگرم برداشت گردید. نمونه اول به منظور تعیین اجزاء عملکرد علوفه تر (شامل ساقه، برگ و گل) و نمونه دوم به منظور تعیین درصد ماده خشک و تعیین خصوصیات کیفی برداشت گردید. این نمونه‌ها به طور جداگانه در داخل کیسه‌های پارچه‌ای قرار داده شده و به آزمایشگاه منتقل یافت. کیسه‌های برداشت شده از هر کرت در آون، با درجه حرارت ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت، قرار گرفته تا کاملا خشک شوند سپس درصد ماده خشک علوفه تولیدی تعیین گردید. برای تعیین میزان پروتئین خام نمونه‌ها، از روش ماکرو کجلدال نلسون و سامرز (با دستگاه هضم مدل ۱۰۱۵ و دستگاه تیتراسیون مدل ۳۳۹) استفاده گردید. جهت ارزیابی و مقایسه کشت‌های مخلوط شاخص‌های زیر مورد بررسی قرار گرفت:

نسبت برابری زمین (LER)[1] در کشت مخلوط جو شبدر از معادله (۱) محاسبه گردید (Willey, 1979):

$$LER = LER_c + LER_b$$
$$LER = (Y_{ci} / Y_{cs}) + (Y_{bi} / Y_{bs}) \quad \text{معادله (۱)} \quad (1)$$

در این رابطه LER_c و LER_b: به ترتیب نسبت برابری زمین جزیی در شبدر و جو بوده و Y_{ci} و Y_{bi}: عملکرد دو محصول در کشت مخلوط و Y_{cs} و Y_{bs}: عملکرد آنها در کشت خالص می‌باشد.

جهت تعیین نسبت رقابت در کشت مخلوط شبدر و جو از معادله (۲) استفاده شد (Willey et al., 1980):

$$CR_c = (LER_c / LER_b)(Z_{bi} / Z_{ci}) \quad (2)$$

$$CR_b = (LER_b / LER_c)(Z_{ci} / Z_{bi}) \quad \text{معادله (۲)}$$

در این رابطه، CR_c و CR_b: به‌ترتیب نسبت رقابت در شبدر و جو بوده و Z_{ci} و Z_{bi}: نسبت‌های کاشت شبدر و جودر مخلوط می‌باشند. همچنین LER_c و LER_b: نسبت برابری زمین جزیی در شبدر و جو هستند.

شاخص تهاجم (A) از معادله (۳) محاسبه شد (Esmaeili et al., 2011):

$$A_{ci} = (Y_{ci} / Y_{cs} Z_{ci}) - (Y_{bi} / Y_{bs} Z_{bi}) \quad \text{معادله (۳)}$$

در این رابطه، A_{ci}: شاخص تهاجم شبدر و Y_{ci} و Y_{bi}: عملکرد دو محصول در کشت مخلوط و Y_{cs} و Y_{bs}: عملکرد آنها در کشت خالص و همچنین Z_{ci} و Z_{bi}: نسبت‌های کاشت شبدر و جو در مخلوط می‌باشند. هر گاه مقدار A_{ci} برابر صفر شود یعنی دو گیاه از نظر رقابت با هم برابر و در صورت مثبت شدن یعنی شبدر گیاه غالب در کشت مخلوط می‌باشد.

ضریب ازدحام نسبی (K) از معادله (۴) محاسبه گردید (Dewit, 1960):

$$K = K_c \; K_b \quad \text{معادله (۴)}$$

$$K_c = (Y_{ci})(Z_{bi}) / (Y_{cs} - Y_{ci})(Z_{ci})$$

$$K_b = (Y_{bi})(Z_{ci}) / (Y_{bs} - Y_{bi})(Z_{bi})$$

در این رابطه، K_c و K_b: به ترتیب ضریب ازدحام نسبی در شبدر و جو، Y_{ci} و Y_{bi}: عملکرد دو محصول در کشت مخلوط و Y_{cs} و Y_{bs}: عملکرد آنها در کشت خالص بوده، همچنین Z_{ci} و Z_{bi}: نسبت‌های کاشت شبدر و جو در مخلوط می‌باشند. اگر $K>1$ باشد گونه‌ها دارای حداکثر رقابت بوده و دارای بیشترین کارایی در مصرف منابع هستند زمانی‌که $K=1$ است رقابتی بین گونه‌ها وجود ندارد. هر گاه $K<1$ شد در این صورت گونه‌ها کمترین کارایی را در مصرف منابع خواهند داشت (Lithourgidis et al., 2011).

شاخص کاهش عملکرد واقعی (AYL) می‌تواند اطلاعات دقیق‌تری را نسبت به سایر شاخص‌ها در خصوص رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای و رفتار اجزای تشکیل‌دهنده کشت مخلوط در اختیار ما قرار دهد. در صورتی‌که هدف مقایسه عملکرد بر اساس یک گیاه باشد، (AYL) براساس سودمندی یا عدم سودمندی کشت مخلوط می‌تواند مثبت یا منفی باشد. مقادیر مثبت نشان‌دهنده افزایش و مقادیر منفی نشان‌دهنده کاهش عملکرد گونه در مخلوط در مقایسه با کشت خالص است (Dhima et al., 2007). جهت محاسبه شاخص کاهش عملکرد واقعی از معادله (۵) استفاده شد (Banik, 1996):

$$AYL = AYL_c + AYL_b \quad \text{معادله (۵)}$$

$$AYL_c = [(Y_{ci} / Z_{ci}) / (Y_{cs} / Z_{cs})] - 1$$

$$AYL_b = [(Y_{bi} / Z_{bi}) / (Y_{bs} / Z_{bs})] - 1$$

در این معادله، AYL_c و AYL_b: کاهش عملکرد واقعی شبدر و جو، Y_{ci} و Y_{bi}: عملکرد دو محصول در کشت مخلوط و Y_{cs} و Y_{bs}: عملکرد آنها در کشت خالص و Z_{ci} و Z_{bi}: نسبت‌های کاشت شبدر و جو در مخلوط می‌باشند.

شاخص سودمندی کشت مخلوط (IA) بر اساس کاهش یا افزایش عملکرد گونه‌ها در کشت مخلوط، اطلاعاتی را در خصوص سودمندی یا عدم سودمندی اقتصادی در اختیار قرار می‌دهد (Banik et al., 2000). شاخص سودمندی کشت مخلوط از معادله (۶) محاسبه شد:

$$IA = IA_c + IA_b \quad \text{معادله (۶)}$$

$$IA_c = AYL_c \; X \; P_c$$

$$IA_b = AYL_b \; X \; P_b$$

در این معادله، IA_c، IA_b و IA: شاخص سودمندی در کشت شبدر، جو و کشت مخلوط بوده همچنین P_c و P_b: ارزش اقتصادی محصول شبدر و جو (بر حسب ریال) می‌باشند. مقادیر مثبت نشان‌دهنده سودمندی اقتصادی و مقادیر منفی بیانگر عدم سودمندی است. ارزش اقتصادی هر کیلوگرم علوفه خشک شبدر (۱۰۰۰۰ ریال) و جو (۷۲۵۰ ریال) بر اساس نرخ بازار در نظر گرفته شد.

لازم به ذکر است که اثر نسبت و آرایش کاشت بر ویژگی‌های کیفی علوفه در مخلوط جو و شبدر ایرانی در مقاله دیگری مورد بررسی قرار گرفت. همچنین داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزارهای Excel 2010 و SAS9.1 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد علوفه و پروتئین

نتایج حاصل از تجزیه واریانس وزن کل علوفه خشک (شبدر+جو) و همچنین عملکرد پروتئین (جدول ۲) حاکی از تأثیر معنی‌دار آرایش و نسبت کاشت بر صفات مذکور بود ($P\leq0.01$). بیشترین وزن علوفه خشک از نسبت کاشت جو خالص R_2 (۱۴۷۳۱ کیلوگرم در هکتار) و آرایش کاشت مخلوط درهم M_5 (۱۲۸۵۷/۹ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد و کمترین مقدار مربوط به شبدر خالص R_1 (۴۱۷۵ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول‌های ۳ و ۴).

جدول ۲- تجزیه واریانس (F) ویژگی‌های کمی علوفه در مخلوط جو و شبدر ایرانی

Table 2- Analysis of variances (F) for forage quantity characteristics in mixture of barley and Persian clover

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	وزن کل علوفه خشک (شبدر+جو) Total dry matter weight (clover+ barley)	نسبت برابری زمین Land Equivalent Ratio	عملکرد پروتئین Protein yield	پروتئین خام Crude protein	شاخص تهاجم شبدر Clover aggressivity	ضریب ازدحام نسبی Relative crowding coefficient	پروتئین Protein	کاهش عملکرد واقعی Actual yield loss	سودمندی کشت مخلوط Advantage indices
بلوک Block	2	10.08**	11.01**	10.69**	8.31**	7.49**	0.13ns	11.71**	6.96**	7.39**
آرایش کاشت Cropping pattern (M)	4	3.98**	1.76 ns	3.51*	0.71 ns	6.37**	1.17ns	1.69 ns	4.57**	5.84**
نسبت کاشت Cropping Rate (R)	4	76.18**	5.55**	63.71**	1983.35**	202.75**	1.59ns	1.68 ns	8.08**	8.54**
اثر متقابل M ×R	16	1.04 ns	0.80 ns	0.95 ns	2.66**	1.37ns	0.79ns	0.75 ns	1.89ns	2.05*

**، * و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

**, *: and ns are significant at the 0.01 and 0.05 levels of probability and no significant, respectively.

صادق‌پور و همکاران (Sadeghpour et al., 2013) نتایج مشابهی را گزارش کردند که تفاوت معنی‌داری بین نسبت بذر مصرفی با مقدار عملکرد علوفه خشک جو وجود دارد بطوری‌که با افزایش مقدار بذر یونجه یکساله (*Medicago scutellata* L.) به تیمار جو خالص، عملکرد جو در مقایسه با کشت خالص آن کاهش یافت. مقدار کاهش عملکرد ماده خشک در جو ۱۷٪ و ۲۰٪ به ترتیب برای تیمار (۱۰۰٪ جو: ۲۰٪ یونجه) و (۱۰۰٪ جو: ۴۰٪ یونجه) بعلت افزایش رقابت بین گونه‌ای بود. این موضوع توسط تعدادی از محققین مورد تأیید قرار گرفته است، آنها در مطالعات خویش بیان داشتند که کشت خالص غلات بیشترین عملکرد علوفه خشک را نسبت به کشت مخلوط با بقولات دارند، البته در این مطالعات سری‌های جایگزینی کشت مخلوط مورد توجه بوده است (Herbert et al., 1984; Ross et al., 2004a; Esmaeili et al., 2011). کاهش عملکرد علوفه خشک در بقولات نسبت به کشت خالص آنها، به دلیل بهره‌برداری بیشتر از منابع توسط غلات ذکر گردیده است (Strydhorst et al., 2008; Esmaeili et al., 2011). گزارشات حاکی از برتری غلات در تولید ماده خشک علوفه نسبت به بقولات است (Hauggaard-Nielsen et al., 2001; Lithourgidis et al., 2007). روس و همکاران (Ross et al., 2003) در آزمایش کشت مخلوط شبدر برسیم (*Trifolium alexandrium* L.) با یولاف (*Avena sativa* L.)، جو (*Hordeum vulgare* L.) و تریتیکاله (*Triticosecale* X Wittmack) گزارش کردند که تفاوتی در مقدار عملکرد علوفه خشک تولید شده در مخلوط‌های فوق مشاهده نشد. افزایش مقدار بذر مصرفی شبدر برسیم از ۶ به ۲۴ کیلوگرم در هکتار پنجه‌زنی در یولاف را کاهش داد، ولی بر عملکرد علوفه خشک مؤثر نبود. همچنین کاهش مقدار بذر مصرفی غلات (۲۵ – ۳۵٪) بدون کاهش در عملکرد باعث بهبود کیفیت علوفه شد. در این تحقیق نیز چنان‌که در بالا ذکر گردید تیمار جو خالص بیشترین عملکرد علوفه خشک را تولید نمود و کمترین مقدار عملکرد مربوط به کاشت شبدر خالص بود. نتیجه مشابهی را صادق‌پور و همکاران (Sadeghpour et al., 2013) گزارش نمودند که کمترین میزان عملکرد ماده خشک در کشت مخلوط جو با یونجه مربوط به یونجه یکساله بود.

آرایش کاشت تأثیری بر مقدار پروتئین خام (CP) نداشت، ولی تأثیر نسبت کاشت بر CP معنی‌دار بود، بطوری‌که بیشترین مقدار CP مربوط به نسبت کاشت شبدر خالص (۱۶/۲۶٪) بوده و بیشترین عملکرد پروتئین را تیمار کاشت جو خالص (۱۹۶۲/۲ کیلوگرم در هکتار) و آرایش کاشت مخلوط درهم (۱۵۸۴/۳۸ کیلوگرم در هکتار) تولید نمود (جداول ۳ و ۴). با توجه به این که عملکرد پروتئین از حاصل ضرب CP و عملکرد علوفه خشک بدست می‌آید، بالا بودن مقدار عملکرد پروتئین در کاشت جو خالص و مخلوط درهم را به عملکرد و درصد پروتئین بالا در آنها می‌توان نسبت داد. علوفه خشکی مطلوب است که محتوی پروتئین آن بالا باشد (Lithourgidis et al., 2006).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر آرایش های مختلف کاشت در مخلوط جو و شبدر ایرانی

Table 3- Mean comparisons for different cropping patterns in mixture of barley and Persian clover

آرایش کاشت مخلوط Intercropping pattern	وزن کل علوفه خشک (شبدر+جو) ($Kg.ha^{-1}$)	نسبت برابری زمین Land equivalent ratio	عملکرد پروتئین Protein yield ($Kg.ha^{-1}$)	پروتئین خام Crude protein (٪)	شاخص تهاجم شبدر Clover aggressivity	ضریب ازدحام نسبی Relative crowding coefficient	پروتئین Protein LER	سودمندی کشت مخلوط Advantage indices
۱:۱ ردیفی 1:1 row	11829.9 ab*	1.19 ab	1458.22 ab	12.82 a	-0.25 a	-24.72 b	1.09 ab	3296387 b
۲:۲ نواری 2:2 strip	11361.8 bc	1.15 ab	1414.19 abc	12.92 a	-0.22 a	13.42 ab	1.06 ab	1916867 c
۳:۳ نواری 3:3 strip	10240.3 c	1.06 b	1276.67 c	12.88 a	-0.16 a	1.56 ab	0.98 b	1121281 d
۴:۴ نواری 4:4 strip	11120.3 bc	1.23 a	1384.54 bc	12.89 a	-0.12 a	22.93 a	1.13 a	4974840 a
درهم Mixed	12857.9 a	1.07 b	1584.38 a	12.91 a	-0.47 b	-2.35 ab	0.98 b	-2786984 e

*در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند

*Means in each column, followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD Test.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر نسبت‌های مختلف کاشت در مخلوط جو و شبدر ایرانی

Table 4- Mean comparison of different cropping rate in mixture of barley and Persian clover

نسبت کاشت Cropping rates	وزن کل علوفه خشک (شبدر+جو) Total dry weight (clover +barley) ($kg.ha^{-1}$)	نسبت برابری زمین Land equivalent ratio	عملکرد پروتئین Protein yield ($kg.ha^{-1}$)	پروتئین خام Crude protein (٪)	شاخص تهاجم شبدر Clover aggressively	ضریب ازدحام نسبی Relative crowding coefficient	پروتئین Protein	کاهش عملکرد واقعی Actual yield loss	سودمندی کشت مخلوط Advantage indices
شبدر خالص Sole clover (R_1)	4175.0 d*	1.00 b	679.4 d	16.26 a	1.00 a	-	1.00 a	-	-
جو خالص Sole barley (R_2)	14731.0 a	1.00 b	1962.2 a	13.34 b	-1.00 d	-	0.99 a	-	-
۵۰٪ جو+ ۵۰٪ شبدر Barley %50+%50 clover (R_3)	11954.1 c	1.19 a	1304.2 c	10.91 e	-0.07 b	-1.25 ab	1.00 a	0.38 a	2910603 b
۱۰۰٪ جو+۲۵٪ شبدر Barley %100+%25 clover (R_4)	12866.6 bc	1.22 a	1612.9 b	12.54 c	-0.62 c	35.33 a	1.13 a	0.65 a	7262833 a
۱۰۰٪ جو+۵۰٪ شبدر Barley %100+%50 clover (R_5)	13683.6 ab	1.28 a	1559.3 b	11.38 d	-0.54 c	-23.24 b	1.12 a	-0.22 b	-1651044 c

*در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

*Means in each column, followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD Test.

هدف یک کشاورز معمولاً تولید مقدار علوفه خشک بالا با محتوی پروتئین قابل قبول در یک کشت مخلوط است. صادق‌پور و همکاران (Sadeghpour et al., 2013) بیان داشتند با وجود اینکه بیشترین مقدار CP برای کشت خالص یونجه یکساله (*Medicago* .*scutellata* L) ثبت شده است (۳۱۰/۷ گرم بر کیلوگرم)، ولی بدلیل پایین بودن عملکرد ماده خشک علوفه در آن، عملکرد کل پروتئین تولید شده کمتر بود. افزایش CP در کشت مخلوط غلات و بقولات توسط تعدادی از محققین گزارش شد. آنها حداکثر CP را به کشت

خالص جو (*Hordeum vulgare* L.) نسبت دادند (Carr et al., 1998; Strydhorst et al., 2008; Lithourgidis et al., 2011). لیتورگیدس و همکاران (Lithourgidis et al., 2006) نیز گزارش کردند که کشت خالص ماشک معمولی (*Vicia sativa* L.) بیشترین مقدارCP (۱۳۹/۳ گرم بر کیلوگرم)، ولی در مقابل کشت خالص تریتیکاله (X*Triticosecale* Wittmack) و یولاف (*Avena sativa* L.) کمترین مقدار CP را تولید نمودند (۶۳/۲ و ۷۸/۴ گرم بر کیلوگرم). همچنین بیشترین مقدار عملکرد پروتئین خام مربوط به کشت مخلوط (ماشک ۶۵٪: ۳۵٪ یولاف) بود (۱۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار را کشت خالص تریتیکاله (۶۸۰ کیلوگرم در هکتار) به خود اختصاص داد. استریدهورس و همکاران (Strydhorst et al., 2008) در آزمایشی بر روی کشت مخلوط بقولات دانه باقلا (*Vicia faba* L.)، خلر (*Lupinus angustifolius* L.) و نخود (*Pisum sativum* L.) با جو (*Hordeum vulgare* L.) انجام دادند گزارش نمودند که افزایش تراکم کاشت لگوم از ۰/۵ به ۲ برابر تأثیری بر ماده خشک علوفه نداشت بلکه باعث افزایش نسبت لگوم در علوفه (از ۳۹ به ۶۳٪) و غلظت پروتئین (از ۱۱۹ به ۱۳۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) شد. همچنین مخلوط باقلا- جو و نخود- جو بیشتری مقدار ماده خشک علوفه (۱/۵ و ۱/۳ مگاگرم بر هکتار) را تولید نمودند. روس و همکاران (Ross et al., 2003) در کشت مخلوط شبدر برسیم با یولاف، جو و تریتیکاله گزارش کردند که عملکرد علوفه خشک در کشت مخلوط‌های فوق با هم تفاوتی نداشت، ولی بیشترین عملکرد پروتئین مربوط به کشت مخلوط شبدر با جو بود. مطالب حاصل از آزمایشات فوق در مورد این تحقیق نیز صادق است چنان‌که در بالا ذکر شد با وجود بیشتر بودن مقدار CP در شبدر خالص، بدلیل پایین بودن عملکرد علوفه خشک شبدر مقدار عملکرد پروتئین تولید شده در حداقل قرار داشت و عملکرد پروتئین در تیمار جو خالص و آرایش کاشت مخلوط درهم بیشترین مقدار بود.

شاخص‌های رقابتی و سودمندی اقتصادی

اثر آرایش و نسبت کاشت بر نسبت برابری زمین (LER) در هنگام برداشت شبدر (گلدهی کامل) معنی‌دار بود. بیشترین مقدار LER مربوط به تیمار نسبت کاشت مخلوط R_5 (۱/۲۸) و آرایش کاشت مخلوط نواری M_4 (۱/۲۳) بود (جداول ۳ و ۴). همچنین با افزایش نسبت کاشت شبدر در مخلوط مقدار LER در جو کاهش یافت (جدول ۵). در این زمان LER برای پروتئین در آرایش و نسبت‌های مختلف کاشت معنی‌دار نبود ولی بیشترین مقدار LER در آرایش کاشت M_4 و نسبت کاشت مخلوط R_4 (۱/۱۳) بدست آمد (جداول ۳ و ۴). LER نشان‌دهنده کارایی کشت مخلوط در جهت استفاده از منابع در مقایسه با کشت خالص است (Lithourgidis et al., 2011). LER می‌تواند به صورت مستقیم میزان افزایش یا کاهش محصول در کشت مخلوط دو گونه را تعیین نماید (Sharifi, 2004). LER بزرگتر از یک نشانگر سودمندی عملکرد کشت مخلوط در مقابل کشت خالص است که در نتیجه بهره‌برداری بهتر از زمین و استفاده مناسب از منابع محیطی در جهت رشد گیاهان حاصل شده است (Lithourgidis et al., 2011; Banik et al., 2006). آوال و همکاران (Awal et al., 2007) در آزمایشی بر روی کشت مخلوط جو و بادام زمینی گزارش نمودند که بیشترین مقدار LER از کشت مخلوط یک ردیف جو و دو ردیف بادام زمینی (BP_2) به مقدار (۱/۱۸) بدست آمد که راندمان استفاده از زمین را به مقدار ۱۸٪ افزایش داد و عملکردی به مقدار (۶/۲ تن در هکتار معادل جو) را تولید کرد. صادق پور و همکاران (Sadeghpour et al., 2013) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند که با افزایش نسبت بذر مصرفی یونجه یکساله (*Medicago scutellata* L.) در کشت مخلوط مقدار جزیی LER در جو کاهش یافت. همچنین اسماعیلی و همکاران (Esmaeili et al., 2011) بیان داشتند که بیشترین مقدار LER در کشت مخلوط یونجه یکساله با جو مربوط به تیمارهای آرایش کشت دو ردیف یونجه: دو ردیف جو (2B:2M) برابر با (۱/۳۲) و دو ردیف یونجه: شش ردیف جو (6B:2M) برابر (۱/۲۹) بود. با توجه به مطالب فوق نتایج حاصل از این آزمایش نیز در راستای تحقیقات دیگران بوده و حاکی از برتری LER در نسبت کاشت مخلوط R_5 (جو ۱۰۰٪: ۵۰٪ شبدر) و آرایش کاشت مخلوط M_4 (مخلوط نواری ۴:۴) نسبت به کاشت خالص شبدر و جو است.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس شاخص ضریب ازدحام نسبی (K) نشان‌دهنده عدم تأثیر آرایش و نسبت کاشت بر شاخص فوق بود، ولی بیشترین مقدار ضریب ازدحام نسبی متعلق به نسبت کاشت مخلوط R_4 (۳۵/۳۳) و کمترین مقدار مربوط به R_5 (۲۳/۲۴-) گزارش شد (جداول ۲ و ۵). بیشتر بودن میانگین مقدار نسبت رقابت (CR) در جو (۳/۵۳۵) در مقایسه با شبدر (۰/۴۲۴) بیانگر رقابت‌پذیری بیشتر جو نسبت به شبدر بود. لذا جو از همجواری با شبدر سود برده و از منابع با قابلیت بیشتری بهره گرفت (جدول ۵). اثرات آرایش و نسبت کاشت بر شاخص تهاجم شبدر (A) معنی‌دار بود (جدول ۲). منفی بودن شاخص تهاجم شبدر بیانگر مغلوب بودن آن در کشت مخلوط بوده لذا جو با قدرت رقابتی بیشتر برای تسخیر منابع در کشت مخلوط عمل نمود (جدول‌های ۳ و۴). شاخص‌های اقتصادی کاهش عملکرد واقعی (AYL) و سودمندی اقتصادی (IA) بیشتر بیانگر مزیت کشت مخلوط جو و شبدر نسبت به حالت تک‌کشتی بود بطوری‌که بیشترین IA در نسبت کاشت مخلوط R_4 (۷۲۶۲۸۳۳ ریال) و آرایش کاشت M_4 (۴۹۷۴۸۴۰ ریال) مشاهده شد، در ضمن با توجه به رابط مستقیم

AYL با IA، AYL نیز در نسبت مخلوط R_4 (۰/۶۵) مثبت و بیشتر از سایر مخلوطها بود (جدول ۵).

جدول ۵- نسبت برابری زمین (LER)، نسبت رقابت (CR)، ضریب ازدحام نسبی (K)، کاهش عملکرد واقعی (AYL) و سودمندی کشت مخلوط (IA) به تفکیک در کشت مخلوط جو و شبدر

Table 5- Land equivalent ratio (LER), Competitive ratio (CR), Crowding coefficient (K), Actual yield loss (AYL) Advantage index (IA) in mixture of barley and Persian clover

نسبت کاشت	Advantage index			Actual yield loss			Crowding coefficient			Competitive ratio			Land equivalent ratio		
Cropping rate	مخلوط Mixture	شبدر Persian clover	جو Barley	مخلوط Mixture	شبدر Persian clover	جو Barley	مخلوط Mixture	شبدر Persian clover	جو Barley	شبدر Trifolium	جو Barley	مخلوط Mixture	شبدر Persian clover	جو Barley
شبدر خالص Sole clover(R_1)	–	–	–	–	–	–	-	1	-	–	–	1.00	1	-
جو خالص Sole barley(R_2)	–	–	–	–	–	–	-	-	1	–	–	1.00	-	1
مخلوط ۵۰٪ جو+ ۵۰٪ شبدر barley %50+%50 clover(R_3)	2910603	564790	2345812	0.38	0.06	0.32	-1.25	1.00	-16.07	0.798	1.253	1.19	0.53	0.66
مخلوط ۱۰۰٪جو+۲۵٪ شبدر barley %100+%25 clover(R_4)	7262833	9164870	-1902038	0.65	0.92	-0.26	35.33	30.79	3.07	0.162	6.158	1.22	0.48	0.74
مخلوط ۱۰۰٪جو+۵۰٪ شبدر barley %100+%50 clove(R_5)	-1651044	-120559	-1530485	-0.22	-0.01	-0.21	-23.24	-21.96	1.62	0.313	3.194	1.28	0.49	0.79
آزمون حداقل تفاوت معنی دار LSD 5%	343550			0.352			47.65					0.158		
میانگین Mean										0.424	3.535			

Kنشان‌دهنده غالبیت یک گونه نسبت به سایر گونه‌ها در کشت مخلوط است. دارا بودن K بیشتر از یک بیانگر حداکثر توان رقابتی و کارایی در مصرف منابع گونه می باشد. دیما و همکاران (Dhima et al., 2007) گزارش نمودند که کشت مخلوط (۵۵٪ ماش: ۴۵٪ گندم) و (۳۵٪ ماش: ۶۵٪ یولاف) بیشترین مقدار K و LER را نشان داد، این یک مزیت برای کشت مخلوط در بهره‌برداری از منابع محیطی است. همچنین مقدار AYL نیز در مخلوط‌های فوق حداکثر بود. شاخص تهاجم (A)، CR و مقدار AYL جزیی برای جو و یولاف نسبت به گندم و تریتیکاله بیشتر بدست آمد. اسماعیلی و همکاران (Esmaeili et al., 2011) بیان کردند که بیشترین مقدار K مربوط به نسبت کاشت (یونجه ۴۰٪: ۱۰۰٪ جو) و (یونجه ۲۰٪: ۱۰۰٪ جو) به ترتیب (۴/۳۵) و (۳/۵۲) بود. زمانی‌که جو با یونجه یکساله بصورت کشت مخلوط با نسبت (6B:2M) کاشت شدند کل عملکرد ۲۹٪ افزایش یافت. بیشترین مقدار شاخص سودمندی مالی (MAI) در تیمارهای (6B:2M) و (2B:2M) به‌ترتیب ($1266.5) و ($1037.2) بود. صادق‌پور و همکاران (Sadeghpour et al., 2013) بیان داشتند که در نسبت کشت (۴۰٪ یونجه یکساله: ۱۰۰٪ جو) جو دارای حداکثر مقدار CR و A مثبت بود و این هر دو به منزله غالبیت جو در این سیستم کشت می‌باشد. همچنین تعدادی از محققین گزارش کردند که غلات گونه‌های غالب در کشت مخلوط با ماش و بادام زمینی هستند

(Ghosh, 2004; Dima et al., 2007). آوال و همکاران (Awal et al., 2007) در آزمایشی که بر روی کشت مخلوط جو و بادام زمینی انجام دادند گزارش نمودند که در این مخلوط مقدار CR جو کمی بیشتر (۱/۱۸) بود، ولی مقدار کمتر CR بادام زمینی (۰/۸۵) نقش متعادل‌کننده موفق در رقابت بین این دو گونه را بعهده داشت. بانیک و همکاران (Banik et al., 1969) بیان داشتند که مقدار AYL ماش در مخلوط (۵۵ ماش: ۴۵ گندم) و (۶۵ ماش: ۳۵ تریتیکاله) مثبت بود، که نشانه مزیت عملکرد ماش می‌باشد و آن احتمالا به دلیل تأثیر مثبت غلات بر ماش است زمانی‌که با هم رشد می‌کنند. شاخص ALY نسبت به سایر شاخص‌ها می‌تواند اطلاعات دقیق‌تری از رقابت بین و یا درون گونه محصولات ترکیبی و رفتار پیچیده هر گونه در سیستم کشت مخلوط را ارائه دهد (Banik et al. 2000). از دلایل برتری اقتصادی می‌توان به انتخاب صحیح اجزای تشکیل دهنده مخلوط و به دنبال آن استفاده بهتر و کارآمدتر از منابع اشاره نمود. لذا نتایج حاصل از بررسی شاخص‌های مختلف در این آزمایش حاکی از برتری کشت مخلوط نسبت به کاشت خالص شبدر و جو بود.

نتیجه‌گیری

بیشترین وزن خشک علوفه از کشت جو خالص (۱۴۷۳۱ کیلوگرم در هکتار) و مخلوط درهم (۱۲۸۵۷/۹ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد. بیشترین عملکرد پروتئین نیز از نسبت کاشت جو خالص (۱۹۶۲/۲ کیلوگرم در هکتار) و آرایش کاشت مخلوط درهم (۱۵۸۴/۳۸ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد. نسبت کاشت بر نسبت برابری زمین تأثیر معنی‌داری داشت، بطوری‌که بیشترین نسبت برابری زمین متعلق به نسبت کاشت R_5 (۱/۲۸) و آرایش کاشت M_4 (۱/۲۳) بود. بیشترین مقدار ضریب ازدحام نسبی متعلق به نسبت کاشت R_4 (۳۵/۳۳) و کمترین مقدار متعلق به R_5 (۲۳/۲۴-) بود. اثر آرایش و نسبت کاشت بر شاخص تهاجم معنی‌دار بود، منفی شدن شاخص تهاجم شبدر بیانگر مغلوب بودن شبدر در کشت مخلوط بوده و همان‌گونه که آشکار شد جو دارای قابلیت رقابتی بیشتر برای تسخیر منابع در کشت مخلوط بود. شاخص‌های اقتصادی کاهش عملکرد واقعی (AYL) و سودمندی اقتصادی (IA) بیانگر مزیت کشت مخلوط جو و شبدر نسبت به حالت تک‌کشتی بوده، بطوری‌که بیشترین سودمندی اقتصادی در نسبت کاشت مخلوط R_4 (۷۲۶۲۸۳۳ ریال) و آرایش کاشت M_4 (۴۹۷۴۸۴۰ ریال) حاصل گردید.

این آزمایش نشان داد که با افزایش نسبت بذر شبدر ایرانی به کشت خالص جو کمیت و کیفیت علوفه بهبود یافت. همچنین افزایش نسبت برابری‌زمین (LER) در کشت‌های مخلوط در مقایسه با کشت خالص هر محصول بیانگر کارایی بهتر استفاده از منابع توسط سیستم کشت مخلوط بود. هنگامی‌که جو با شبدر ایرانی بصورت درهم (M_5) کشت شدند مقدار کل علوفه خشک و عملکرد پروتئین افزایش یافت. بعلاوه بر اساس نتایج حاصل، می‌توان کشت مخلوط نواری (M_4) و نسبت کشت مخلوط افزایشی R_4 (۲۵٪ شبدر+ ۱۰۰٪ جو) را بعنوان یک سیستم کشت با سودمندی اقتصادی مناسب برای کشاورزان توصیه نمود.

منابع

Anil, L., Park, R.H., Phipps, R.H., and Miller, F.A. 1998. Temperate intercropping of cereals of cereals for forage: a review of the potential for growth and utilization with particular reference to the UK. Grass and Forage Science 53: 301–317.

Awal, M.A., Pramanik, M.H.R., and Hossen, M.A. 2007. Interspecies competition, growth and yield in barley-peanut intercropping. Asian Journal of Plant Sciences 6(4): 577-584.

Banik, P., Midya, A., Sarkar, B.K., and Gose, S.S. 2006. Wheat and chickpea intercropping system in an additive series experiment: advantages and weed smothering. European Journal of Agronomy 24: 325-332.

Benites, J.R., McCollum, R.E., and Naderman, G.C. 1993. Production efficiency of intercrops relative to sequentially planted sole crops in a humid tropical environment. Field Crops Research 31: 1-18.

Banik, P., Sasmal, T., Ghosal, P.K., and Bagchi, D.K. 2000. Evaluation of mustard (*Brassica campestris* var Toria) and legume intercropping under 1:1 and 2:1 rowreplacement series systems. Journal of Agronomy and Crop Science 185: 9–14.

Banik, P. 1996. Evaluation of wheat (*T. aestivum*) and legume intercropping under 1:1 and 2:1 row-replacement series system. Journal of Agronomy and Crop Science 176: 289–294.

Carr, P.M., Horsley, R.D., and Poland, W.W. 2004. Barley, oat, and cereal–pea mixtures as dryland forages in the northern great plains. Agron Jerusalem 96: 677–684.

Clements, R.O., and Donaldson, G. 1997. Clover and cereal: low input bi-cropping. Farming Conservation 3: 12–14.

Carr, P.M., Martin, G.B., Caton, J.S., and Poland, W.W. 1998. Forage and nitrogen yield of barley–pea and oat–pea intercrops. Agron Jerusalem 90: 79–84.

Dhima, K.V., Lithourgidis, A.S., Vasilakoglou, I.B., and Dordas, C.A. 2007. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. Field Crops Research 100: 249-256.

DeWit, C.T. 1960. On competition. Verslag Landbouw-Kundige Onderzoek 66: 1–28.

Dordas, C.A., and Lithourgidis, A.S. 2011. Growth, yield and nitrogen performance of faba bean intercrops with oat and triticale at varying seeding ratios. Grass Forage Science 66: 569–577.

Esmaeili, A., Sadeghpour, A., Hosseini, S.M.B., Jahanzad, E., Chaichi, M.R., and Hashemi, M. 2011. Evaluation of seed yield and competition indices for intercropped barley and annual medic. International Journal of Plant Production 5(4): 395-404. (In Persian with English Summery)

Exner, D.N., and Cruse, R.M. 1993. Inter seeded forage legume potential as winter ground cover, nitrogen source, and competition. Journal of Production Agriculture 6: 226-231.

Giller, K.E., and Wilson, K.J. 1991. Nitrogen fixation and tropical cropping system. CAB International, Wallingford, pp. 10-120.

Ghosh, P.K. 2004. Growth, yield, competition and economics of groundnut/cereal fodder intercropping systems in the semi-arid tropics of India. Field Crops Research 88: 227–237.

Herbert, S.J., Putnam, D.H., Poos-Floyd, M.L., Vargas, A., and Creighton, J.F. 1984. Forage yield of intercropped corn and soybean in various planting patterns. Agron Jerusalem 76: 507–510.

Javanmard, A., Nasab, A.D.M., Javanshir, A., Moghaddam, M., AND Janmohammadi, H. 2009. Forage yield and quality in intercropping of maize with different legumes as double-cropped. Journal of Food, Agriculture and Environment 7: 163-166.

Jeyabal, A., and Kuppuswamy, G. 2001. Recycling of organic wastes for the production of vermin compost and its response in rice-legume cropping system and soil fertility. European Journal of Agronomy 15: 153-170.

Jones, L., and Clements, R.O. 1993. Development of a low-input system for growing wheat (*Triticum vulgare*) in a permanent understory of white clover (*Trifolium repens*). Annals of Applied Biology 123: 109–119.

Lithourgidis, A.S., Vasilakoglou, I.B., Dhima, K.V., Dordas, C.A., and Yiakoulaki, M.D. 2006. Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. Field Crops Research 99: 106–113.

Lithourgidis, A.S., Vlachostergiosb, D.N., Dordasc, C.A., and Damalasd, C.A. 2011. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea–cereal intercropping systems. European Journal of Agronomy 34: 287–294.

Midya, A., Bhattacharjee, K., Ghose, S.S., and Banik, P. 2005. Deferred seeding of blackgram (*Phaseolus mungo* L.) in rice (*Oryza sativa* L.) field on yield advantages and smothering of weeds. Journal of Agronomy and Crop Science 191: 195–201.

Mohsenabadi, G.R., Jahansooz, M.R., Chaichi, M.R., Mashhadi, H.R., Liaghat, A.M., and Savaghebi, G.R. 2008. Evaluation of barley vetch intercrop at different nitrogen rates. Journal of Agricultural Science and Technology 10: 23–31. (In Persian with English Summery)

Ross, S.M., King, J.R., O'Donovan, J.T., and Izaurralde, R.C. 2003. Seeding rate effects in oat-berseem clover intercrops. Canadian Journal of Plant Science 83: 769–778.

Ross, S.M., King, J.R., O'Donovan, J.T., and Spaner, D. 2004a. Forage potential of intercropping berseem clover with barley, oat, or triticale. Agronomy Journal 96: 1013–1020.

Sadeghpour, A., and Jahanzad, E. 2012. Seed yield and yield components of intercropped barley (*Hordeum vulgare* L.) and annual medic (*Medicago scutellata* L.). Australasian Journal of Agricultural Engineering 3: 47–50.

Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Esmaeili, A.M., Hosseini, B., and Hashemi, M. 2013. Forage yield, quality and economic benefit of intercropped barley and annual medic in semi-arid conditions: Additive series. Field Crops Research 148: 43–48. (In Persian with English Summery)

Sharifi, Y. 2004. Evalution of sorghum/bereseem clover intercropping. M.Sc. Thesis, Tabriz University, Tabriz, Iran. (In Persian)

Sistach, M. 1990. Intercropping of forage sorghum, maize and soybean during ten establishments of different grasses in a vertisol soil. Cuban Journal of Agriculture Science 24: 123–129.

Strydhorst, S.M., King, J.R., Lopetinksy, K.J., and Harker, K.N. 2008. Forage potential of intercropping barley with faba bean, lupin, or field pea. Agronomy Journal 100: 182–190.

Thorsted, M.D., Olesen, J.E., and Weiner, J. 2006. Width of clover strips and wheat rows influence grain yield in winter wheat/white clover intercropping. Field Crops Research 95: 280–290.

Thorsted, M.D., Koefoed, N., and Olesen, J.E. 2002. Intercropping of oats (*Avena sativa* L.) with different white clover (*Trifolium repens* L.) cultivars. Effects on biomass development and oat yield. Journal of Agricultural Science Cambridge Core 138: 261–267.

Vasilakoglou, I., and Dhima, K. 2008. Forage yield and competition indices of berseem clover intercropped with barley Agronomy Journal 100: 1749–1756.

Weiner, J., and Von Wettberg, E.J. 2003. Larger *Triticum aestivum* plants do not preempt nutrient-rich patches in a glasshouse experiment. Plant Ecology 169: 85–92.

Von Wettberg, E.J., and Weiner, J. 2004. Effects of distance to crop rows and to conspecific neighbors on the size of *Brassica napus* and *Veronica persica* weeds. Basic and Applied Ecology 5: 35–41.

Willey R.W. 1979. Intercropping-its importance and research needs part-1 competition and yield advantages Field Crops Research 32: 1-10.

Willey, R.W., and Rao, M.R. 1980. A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. Experimental Agriculture 16: 117–125.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 231-243

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۲۴۳-۲۳۱

Effect of Barley (*Hordeum vulgare* L.) and Persian Clover (*Trifolium respinatum* L.) Intercropping on Forage Quantity

R. Nazarian[1], A. Koocheki[2*], M. Nasiri Mahallati[2] and P. Rezvani Moghaddam[2]

Submitted: 13-03-2015
Accepted: 28-12-2015

Nazarian, R., Koocheki, A., Nasiri Mahallati M., and Rezvani Moghadam, P. 2019. Effect of barley (*Hordeum vulgare* L.) and Persian clover (*Trifolium respinatum* L.) intercropping on forage quantity. Journal of Agroecology. 11(1):231-243.

Introduction

Intercropping of cereals with legumes has been a common cropping system in arid and semi-arid areas such as Iran and Afghanistan. It is understood that competition for resources such as water, nutrients, and sunlight by the co-existing species could, however, reduce the yields of component crops. Often reductions in the yields of individual species are, however, not large enough to reduce the total yield of the mixture relative to those of either sole crops. Mix cropping of annual forage legumes with cereals has been proposed as a way of increasing forage production and on-farm protein production. Cereal-legume intercropping may improve yield on a given land area by making more efficient use of the available growth resources, increase biological activities in the soil, and decrease pests and diseases. Barley (*Hordeum vulgare* L.) is a cereal which can grow fast, suppress weed pressure and provide high yield in terms of dry weight but protein content of the forage is low. Mixing barley and clover has been suggested to increase forage quality. In the current study, we used a wide range of cropping rate and pattern to determine the best forage quantity and quality in the mixture of barley and Persian clover in a low-input system.

Materials and Methods

For optimizing of cropping rate and pattern in a mixture of barley and Persian clover an experiment was conducted in a split plot layout based on randomized complete block design with three replications at the research farm of Faculty of Agriculture, the Ferdowsi University of Mashhad, Iran in 2013-14. The pattern of sowing considered in five levels (1:1 row intercropping (M1), 2:2 row intercropping (M2), 3:3 strip intercropping (M3), 4:4 strip intercropping (M4) and mixed cropping (M5)) which allocated as main plots and the cropping rate in five levels (barley %100:%50 clover (R5), barley %100:%25 clover (R4), barley %50:%50 clover (R3),with pure barley (R2) and pure clover (R1)) proposed as subplots. Barley (Watan local variety originated from Herat, Afghanistan) and Persian clover (*Trifolium respinatum* L.) seed rates were considered 120 and 40 kg.ha^{-1}, respectively. Sowing date was on October 23. Barley was harvested in the heading stage and clover in the completed flowering stage. Different intercropping indices such as total forage dry matter (TFDM), protein yield (PY), land equivalent ratio (LER), competitive ratio (CR), relative crowding coefficient (RCC), aggressivity (A), actual yield loss (AYL) and intercropping advantage index (IA) were

1-Associate Professor, Agronomy Department, Faculty of Agriculture, Herat University – Afghanistan.
Ph.D. Student of the Ferdowsi University of Mashhad in 2012-16
2- Professors, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.
(*- Corresponding Author Email: akooch@um.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v11i1.45221

used to compare intercropping with pure stands. For statistical analysis, analysis of variance (ANOVA) and lest significant different test (LSD) were performed using SAS version 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Results and Discussion

Results showed that the effect of cropping rate and pattern on total forage dry matter (TFDM) and protein yield (PY) were significant ($p<0.01$). The highest levels of forage dry matter and protein yield were obtained in pure barley R2 and mixed cropping M5. The effect of cropping rate on the land equivalent ratio (LER) was significant. The highest levels of LER were obtained in R5 (1.28) and M4 (1.23), respectively. The effect of sowing rate and pattern on relative crowding coefficient (RCC) was not significant but the highest level of RCC was obtained in R4 (35.33) and the lowest was in R5 (-23.24). The effect of sowing rate and pattern on aggressivity (A) was significant, and the clover negative value of aggressivity (A) showed that the clover was recessive in intercrop. Economic indices such as actual yield loss (AYL) and intercropping advantage index (IA) showed that barley-clover intercropping was better than sole culture, and the highest IA was obtained in R4 (7,262,833 Rials) and M4 (4,974,840 Rials). Overall, based on the results of this experiment, 4:4 strip intercropping and additive mixture of "barley %100:%25 clovers" could be suggested to farmers as beneficial multiple cropping practices.

Conclusion

This study demonstrated that the forage quantity can be improved by adding Persian clover to the barley pure stand. The calculated LER exceeded unity in most cropping systems, indicating that intercropping was advantageous due to better exploitation of the limited environmental resources. When barley and Persian clover were intercropped as mixed stand, the total forage dry matter and protein yield were improved. Overall, based on the results of this experiment, 4:4 strip intercropping, mixed cropping barley and clover and additive mixture of "barley %100: % 25 clovers" could be suggested to Afghanistan (Herat) and Iran (Mashhad) farmers as beneficial multiple cropping practices.

Keywords: Cropping pattern, Cropping rate, Land equivalent ratio (LER), Additive mixture, Replacement mixture

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۲۵۹-۲۴۵

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 245-259

ارزیابی برخی شاخص‌های اگروفیزیولوژیک و عملکرد کمی و کیفی در کشت مخلوط کلزا (*Brassica napus* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.)

جواد حمزه‌ئی[1]* و رحمن داودیان[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۱۴

حمزه‌ئی، ج.، و داودیان، ر. ۱۳۹۸. ارزیابی برخی شاخص‌های اگروفیزیولوژیک و عملکرد کمی و کیفی در کشت مخلوط کلزا (*Brassica napus* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱(۱):۲۵۹-۲۴۵.

چکیده

یکی از راهکارهای افزایش ثبات، ایجاد تنوع از طریق به کارگیری نظام‌های چندکشتی است. در این رابطه، کشت مخلوط به عنوان ابزاری سودمند جهت ارتقاء بهره‌برداری از منابع زیست‌محیطی موجود، در مقایسه با بوم نظام‌های زراعی تک‌کشتی مطرح است. بدین منظور، پژوهشی بصورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۸ تیمار و سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. تیمارها شامل کشت خالص کلزا (با تراکم‌های ۶۰ و ۸۰ بوته در متر مربع) و نخود (با تراکم‌های ۳۰ و ۴۰ بوته در متر مربع) و کشت‌های مخلوط ۳۰ بوته نخود+ ۶۰ بوته کلزا، ۳۰ بوته نخود+ ۸۰ بوته کلزا، ۴۰ بوته نخود+ ۶۰ بوته کلزا و ۴۰ بوته نخود+ ۸۰ بوته کلزا بودند. صفات سرعت فتوسنتز، عملکرد دانه، اجزای عملکرد، شاخص کلروفیل، درصد و عملکرد روغن و پروتئین و شاخص نسبت برابری زمین اندازه‌گیری و ارزیابی شد. نتایج نشان داد که شاخص کلروفیل و درصد پروتئین کلزا در کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص بود ولی بیشترین سرعت فتوسنتز هر دو گونه گیاهی در کشت خالص مشاهده شد. بیشترین عملکرد دانه کلزا (۳۷۰/۷ گرم در متر مربع) از تراکم ۸۰ بوته کلزا در کشت خالص بدست آمد ولی این تیمار با کشت خالص ۶۰ بوته کلزا اختلاف معنی‌دار نداشت. همچنین، کشت خالص نخود نسبت به کشت مخلوط آن، عملکرد دانه بیشتری داشت. علی‌رغم کاهش عملکرد دانه کلزا و نخود در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص، شاخص نسبت برابری زمین سودمندی کشت مخلوط را تأیید کرد، به نحوی‌که در تمام تیمارهای کشت مخلوط نسبت برابری زمین بالاتر از یک بود و بیشترین مقدار این شاخص (۱/۴۶) در کشت مخلوط ۳۰ بوته نخود با ۶۰ بوته کلزا مشاهده شد. لذا چنین می‌توان استنباط کرد که کشت مخلوط کلزا با نخود دارای برتری نسبی در مقایسه با کشت خالص بود و کارایی استفاده از زمین را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: چند کشتی، دانه روغنی، فتوسنتز، لگوم دانه‌ای، نسبت برابری زمین

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) از جمله دانه‌های روغنی با ارزش دنیاست و به عنوان یکی از مناسب‌ترین دانه‌های روغنی شناخته شده است. این گیاه بعنوان دومین منبع روغن گیاهی در جهان بشمار می‌رود (Fatahi Nazad et al., 2013). نخود معمولی یا زراعی (*Cicer arietinum* L.) نیز یکی از سه لگوم مهم در آسیای غربی و آفریقای شمالی است. این گیاه یکساله، زمستانه و مدیترانه‌ای بوده و به‌عنوان محصول سازگار به مناطق نیمه‌خشک در گستره وسیعی از شرایط محیطی مناطق گرمسیری تا سردسیری قابل کشت و کار است (Majnoun Hosseini, 2008). بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت کلزا در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴، ۵۲۲۶۷ هکتار و تولید ۶۸۲۸۰ تن بوده که این آمار برای نخود به‌ترتیب ۵۰۰۱۸۹ هکتار و ۲۷۱۵۷۵ تن گزارش شده است (Agricultural Statistics, 2017).

در سال‌های اخیر با روشن‌تر شدن مشکلات کشاورزی تک‌کشتی از جمله آلودگی آب‌ها، خاک و همچنین کاهش توان تولید زمین‌های

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: j.hamzei@basu.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v11i1.65192

زراعی، توجه محققین بیش از پیش به حفظ ثبات و باروری نظام‌های تولید کشاورزی معطوف شده است (Ren et al., 2016; Bedoussac et al., 2010). یکی از راهکارهای افزایش ثبات، ایجاد تنوع از طریق به کارگیری نظام‌های چندکشتی است. در این رابطه، از کشت مخلوط به دلیل قابلیت کاهش خسارت آفات و علف‌های هرز، به عنوان ابزاری سودمند جهت افزایش عملکرد یک یا تمام گونه‌های همراه (Weisany et al., 2016) و ارتقاء بهره‌برداری از منابع زیست‌محیطی موجود، در مقایسه با بوم نظام‌های زراعی تک‌کشتی یاد شده است (Franco et al., 2015). سیستم‌های کشت مخلوط شامل دو یا تعداد بیشتری از گونه‌های گیاهی و یا ژنوتیپ‌های مختلف هستند که در زمان و مکان معینی پرورش داده می‌شوند (Li et al., 2014). در حقیقت، با ایجاد تنوع از طریق کشت مخلوط، نظام‌های زراعی به منابع درونی و قابل تجدید خود وابستگی بیشتری پیدا می‌کنند و پایداری آن‌ها افزایش پیدا می‌کند (Banik et al., 2006). کشت مخلوط، عملکرد در واحد سطح را افزایش داده و در مقابل تغییرات قیمت بازار پایداری دارد و ضمن حفظ کیفیت خاک، درآمد کشاورز را نیز افزایش می‌دهد (Ngwira et al., 2012). البته این روش با محدودیت‌هایی نظیر عدم امکان برداشت مکانیکی مواجه است، ولی مزایای آن مانند بهبود حاصلخیزی خاک، جبران زیان اقتصادی ناشی از آسیب یک محصول بر اثر آفت یا خشکسالی، کاهش مصرف نهاده‌هایی مثل کودها و سموم شیمیایی باعث شده که این سیستم به عنوان روشی مناسب در مناطقی که با محدودیت زمین و آب مواجه‌اند به کار برده شود (Eslamizadeh et al., 2015; Fatahi Nazad et al., 2013).

این نوع سیستم کشت از فعالیت‌های قدیمی کشاورزی است که در حاشیه کشاورزی مدرن مبتنی بر تک‌کشتی گیاهان زراعی پر محصول در سطح وسیع و مصرف کننده نهاده، قرار گرفته است (Zhang et al., 2010; Li et al., 2014). با این وجود، کشت مخلوط ممکن است بسیاری از مسائل مرتبط با کشاورزی مدرن نظیر آفات و بیماری‌ها، تخریب خاک و زوال محیط زیست را نداشته باشد که اینها به برقراری کشاورزی پایدار و پرحاصل کمک خواهد کرد. در واقع، علت اینکه کشت مخلوط مورد توجه قرار گرفته این است که مطالعات کشت مخلوط بر پایداری کشاورزی، علوم اکولوژیک و محیط‌زیست معطوف شده است (Ehrmann & Ritz, 2014; Li et al., 2014). کشت مخلوط اغلب توسط کشاورزانی که نهاده کم و نیروی کارگری زیادی در اختیار دارند، اجرا می‌شود. تحت این شرایط به عنوان مثال، کشاورزان آمریکای لاتین حدود ۹۰–۷۰ درصد لوبیا را مخلوط با ذرت، سیب زمینی و سایر گیاهان کشت می‌کنند. در آفریقا ۹۸ درصد لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) و ۹۰ درصد لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) به صورت مخلوط پرورش داده می‌شود (Brooker et al., 2015). صفات فیزیولوژیکی گیاهان زراعی برای بهره‌گیری حداکثری از منابع در سیستم‌های کشت مخلوط و خالص برابر است، ولی چالش سیستم کشت مخلوط این است که چگونه ویژگی‌های گونه‌های مختلف گیاهی را در جهت بهبود تولید، تلفیق کند. مطالعات کشت مخلوط بر اثرات متقابل اندام‌های هوایی گونه‌های گیاهی برای نور و فضا و نیز بر اثرات مکملی اندام‌های زیر زمینی معطوف شده است (Ehrmann & Ritz, 2014; Li et al., 2014). برای مثال، کشت مخلوط لگوم با غیرلگوم، ظرفیت فتوسنتزی و کارایی استفاده از تشعشع خورشیدی (Brooker et al., 2015) و آب و عناصر غذایی (Hamzei & Seyedi, 2016) را در مقایسه با تک‌کشتی افزایش می‌دهد. در مناطقی که آب مهمترین محدود کننده تولیدات کشاورزی است، کشت مخلوط اغلب کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد. همچنین، در ۷۹ درصد سیستم‌های در بر گیرنده کشت مخلوط، میزان زیست توده تولیدی ۱/۷ برابر تک-کشتی، گزارش شده است (Brooker et al., 2015). در کل، اگر یک سیستم کشاورزی منابع محدود کننده رشد را بهبود بخشد یعنی گیاهان حداکثر استفاده از حداقل منابع را به عمل بیاورند، میزان تولید افزایش خواهد یافت (Ehrmann & Ritz, 2014; Li et al., 2014). در سیستم‌های کشت مخلوط با دریافت مقدار کم نیتروژن، لگوم‌ها می-توانند تولیدات کشاورزی را افزایش دهند. افزایش محتوی نیتروژن در دسترس در سیستم‌های مخلوط دربرگیرنده لگوم‌ها به رقابت اندک لگوم‌ها برای جذب نیتروژن در مقایسه با غیرلگوم‌ها نسبت داده شده است. افزون بر این، به علت آزادسازی نیتروژن توسط لگوم‌ها به خاک، غیر لگوم‌ها می‌توانند نیتروژن بیشتری نیز دریافت کنند (Li et al., 2013). در پژوهشی، فتوسنتز ذرت (*Zea mays* L.) در کشت مخلوط با لوبیا چشم بلبلی، افزایش یافت و تولید آن ۱۸ درصد در مقایسه با تک‌کشتی بیشتر شد. در این تحقیق، با وجود اینکه بین ذرت و لگوم برای دریافت نور و نیتروژن رقابت وجود داشته، افزایش ارتفاع بوته ذرت و عملکرد آن را به دسترسی بیشتر ذرت به نیتروژن از طریق لگوم همراه و به تبع آن افزایش میزان کلروفیل و در نتیجه افزایش ظرفیت فتوسنتزی ذرت نسبت داده‌اند (Geren et al., 2008). کارایی فتوسنتزی و کربوکسیلاسیون کرچک (*Ricinus communis* L.) در کشت مخلوط با بادام زمینی (*Arachis hypogea* L.) نیز به طور معنی‌داری بیشتر از کشت خالص آن بوده و عملکرد کرچک افزایش یافته است. دلیل این امر را به کاهش رقابت بین گونه‌ای بین کرچک و بادام زمینی در مقایسه با رقابت درون گونه‌ای، افزایش میزان جذب دی‌اکسید کربن و توسعه احتمالی مکانیسم‌های محافظتی برای دستگاه فتوسنتزی گزارش کرده‌اند (Dutra et al., 2017).

کشت مخلوط دانه‌های روغنی با حبوبات می‌تواند کارآیی استفاده از منابع را در مقایسه با کشت خالص افزایش داده و منجر به بهبود عملکرد شود (Hamzei & Babaei, 2017). در میان گیاهان زراعی، حبوبات توانایی و قابلیت سازگاری زیادی در الگوهای کشت مخلوط

دارند و می‌توانند ظرفیت تولید را افزایش دهند. از طرفی، کشت مخلوط حبوبات با دانه‌های روغنی می‌تواند علاوه بر افزایش عملکرد، موجب تثبیت بیولوژیکی نیترون شود که این امر مصرف کود شیمیایی نیتروژنه را کاهش داده و از آلودگی‌های زیست‌محیطی جلوگیری می‌کند. با توجه به مطالب فوق، این آزمایش با هدف بررسی شاخص‌های اگروفیزیولوژیک و عملکرد کلزا و نخود در تک‌کشتی و مقایسه آن با سیستم‌های کشت مخلوط، طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران در دولت آباد کرج (واقع در طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۱۲ متر) در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا گردید. خاک منطقه جزء خاک‌های رسوبی با اسیدیته قلیائی است. بافت خاک از نوع لوم رسی با pH ۷/۷۸ و میانگین بارندگی سالانه منطقه طبق آمار هواشناسی حدود ۲۵۰ میلی‌متر است.

آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کشت‌های خالص کلزا (با تراکم‌های ۶۰ و ۸۰ بوته در متر مربع) و نخود (با تراکم‌های ۳۰ و ۴۰ بوته در متر مربع) و کشت‌های مخلوط شامل ترکیب کاملی از تیمارهای کشت خالص بودند. بنابراین، در طراحی کشت مخلوط از طرح افزایشی استفاده شد. از این رو، هر بلوک در برگیرنده هشت واحد آزمایشی (هشت تیمار) شامل چهار کشت خالص برای دو گونه نخود و کلزا و چهار ترکیب کشت مخلوط با تراکم‌های مختلف دو گونه مورد نظر (۳۰ نخود (ن):۶۰ کلزا (ک)، ۳۰ ن:۸۰ ک، ۴۰ ن:۶۰ ک و ۴۰ ن:۸۰ ک) بود. بنابراین، کشت‌های خالص هر گونه به تنهایی و همچنین به صورت ترکیب با دو تراکم گونه دیگر به‌صورت فاکتوریل مورد بررسی قرار گرفتند. بذر نخود (رقم هاشم) از مرکز جهاد کشاورزی استان همدان و بذر کلزا (رقم هایولا ۴۰۱) از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج تهیه شد. عملیات خاک‌ورزی شامل شخم، دیسک و تسطیح قبل از کاشت انجام گرفت. کاشت نخود و کلزا بطور همزمان و در ۲۷ اسفند ماه با دست انجام گرفت. در هر کرت آزمایش شش خط کاشت به طول سه متر با فاصله ردیف ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تراکم مطلوب نخود (Jalilian et al., 2005) و کلزا (Hamzei, 2011) به‌ترتیب ۴۰ و ۸۰ بوته در متر مربع انتخاب شد و در این آزمایش به دلیل اینکه از طرح افزایشی کشت مخلوط استفاده شد، تراکم مطلوب نخود و کلزا به همراه تراکم متوسط آن‌ها (۳۰ و ۶۰ بوته در متر مربع به ترتیب برای نخود و کلزا) مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به توصیه آزمایشگاه خاک‌شناسی، مقدار ۴۰ (Vaziri Kateshori et al., 2014) و ۱۲۰ (Hamzei, 2011) کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌ترتیب در کشت خالص نخود (مصرف به هنگام کشت و به عنوان کود استارتر) و کشت‌های خالص و مخلوط کلزا (مصرف در سه مرحله پیش از کاشت، ساقه روی و اوایل گلدهی کلزا) به خاک اضافه گردید. نتایج تجزیه خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارایه شده است.

سرعت فتوسنتز در واحد سطح برگ (میکرومول دی‌اکسید کربن در متر مربع در ثانیه) برای نخود و کلزا با استفاده از دستگاه تحلیل‌گر گاز مادون قرمز (IRGA, model: LCA4, ADC Biosientific Ltd. Hoddeston, UK) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری در محدوده زمانی ساعت ۱۱ صبح تا یک بعد از ظهر انجام شد. در هر واحد آزمایشی سه بار سرعت فتوسنتز توسط دستگاه قرائت و میانگین به عنوان سرعت فتوسنتز و بر حسب میکرومول دی اکسیدکربن در متر مربع در ثانیه ثبت گردید. همانند سرعت فتوسنتز، شاخص کلروفیل برگ هر دو گونه گیاهی نیز پس از مصرف آخرین قسمت نیتروژن، با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج(SPAD502, Minolta, Chicago, Illinois, USA) قرائت گردید (Zhang et al., 2008).

برداشت نهایی نخود و کلزا در ۱۵ تیر ماه ۹۳ انجام گرفت. در این مرحله بوته‌های هر دو گونه گیاهی زرده و بیش از ۹۰ درصد غلاف‌ها آماده برداشت بودند. بدین صورت که پس از حذف اثر حاشیه‌ای از هر چهار طرف واحد آزمایشی، برای تعیین عملکرد نهایی دانه و عملکرد بیولوژیک هر دو گونه گیاهی، دو متر مربع از هر کرت برداشت شد. صفات تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک برای هر دو گونه (نخود و کلزا) اندازه‌گیری شد. عملکرد دانه نخود و کلزا به‌ترتیب با رطوبت ۱۴ و ۱۲ درصد توزین و ثبت گردید. بخشی از محصول هر کرت جهت تعیین درصد پروتئین و درصد روغن انتخاب شد. درصد پروتئین دانه با استفاده از دستگاه کجلدال (Kjeltec™ 2300 Analyzer Unit, Foss Tecator Company) اندازه‌گیری شد. استخراج روغن دانه کلزا نیز به روش سوکسله (Soxhlet method) و با استفاده از حلال هگزان انجام گرفت. از حاصل ضرب درصد پروتئین و درصد روغن هر کرت در عملکرد دانه همان کرت، عملکرد پروتئین و عملکرد روغن دانه بدست آمد.

برای مقایسه سودمندی کشت مخلوط در برابر کشت خالص نیز از شاخص نسبت برابری زمین بهره گرفته شد. محاسبه این شاخص طبق فرمول $(Y_{RC}/Y_{RR})+(Y_{CR}/Y_{CC})$ صورت گرفت که در آن Y_{RC} و Y_{RR}: به‌ترتیب عملکرد دانه کلزا در کشت مخلوط و کشت خالص و Y_{CR} و Y_{CC}: به‌ترتیب عملکرد دانه نخود در کشت مخلوط و کشت خالص است (Banik et al., 2006). تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SAS Ver. 9.1 صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح آماری پنج درصد انجام شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Tabel 1- Soil physical and chemical properties of the experimental site

بافت Texture	pH	هدایت الکتریکی EC	فسفر قابل جذب Available P	پتاسیم قابل جذب Available K	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	نیتروژن کل Total N	کربن آلی Organic C
		($dS.m^{-1}$)	($mg.kg^{-1}$)		(%)				
لوم رسی Clay loam	7.78	0.49	3.6	345	28	43	29	0.07	0.79

نتایج و بحث

قرائت کلروفیل متر و سرعت فتوسنتز کلزا

نتایج تجزیه واریانس نشان دادکه اثر تراکم نخود بر شاخص کلروفیل کلزا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). کمترین میزان شاخص کلروفیل کلزا (۳۸/۵۰) از تیمار کشت خالص بدست آمد (جدول ۳). در تراکم‌های ۳۰ و ۴۰ بوته نخود به‌طور معنی‌داری میزان شاخص کلروفیل کلزا افزایش یافت، بطوری‌که تراکم‌های ۳۰ و ۴۰ بوته نخود در مقایسه با کشت خالص کلزا، شاخص کلروفیل کلزا را به ترتیب ۷/۶۷ و ۷/۲۳ درصد افزایش دادند ولی بین تراکم‌های نخود از نظر شاخص کلروفیل کلزا تفاوتی وجود نداشت. از آنجایی که نیتروژن از جمله عناصر ضروری تشکیل دهنده کلروفیل محسوب می‌گردد، از این‌رو، احتمالاً تثبیت نیتروژن توسط نخود، به افزایش میزان کلروفیل کلزا منجر شده است. گزارش شده است که تثبیت نیتروژن توسط خانواده لگوم در کشت مخلوط، می‌تواند شاخص کلرفیل گیاه همراه را افزایش دهد (Ghosh et al., 2006). احتمالاً به دلیل اینکه نیتروژن تثبیت شده توسط لگوم به طور مداوم می‌تواند در اختیار غیرلگوم قرار گیرد، لذا دوام شاخص سبزینگی برگ‌های گیاه زراعی غیر لگوم در کشت مخلوط با لگوم می‌تواند طولانی‌تر شود. در این رابطه، گنارد و همکاران (Génard et al., 2017) در کشت مخلوط کلزا با شبدر و ماشک اظهار داشتند که میزان کلروفیل برگ‌های کلزا در کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص آن بود، بطوری‌که در سیستم‌های کشت مخلوط، کلروفیل برگ‌های کلزا دیرتر تجزیه شد و پیری برگ‌ها نیر به تأخیر افتاد و این امر دوام بیشتر سطح برگ و در نتیجه عملکرد بیشتر کلزا را در مقایسه با تک‌کشتی منجر شد.

سرعت فتوسنتز کلزا در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تراکم کلزا و تراکم نخود قرار گرفت. همچنین، اثر متقابل تراکم نخود × تراکم کلزا بر این ویژگی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). به‌طور کلی، سرعت فتوسنتز کلزا در الگوهای کشت مخلوط کمتر از الگوهای کشت خالص بود. بیشترین سرعت فتوسنتز کلزا (۲۵/۳۳ میکرو مول دی اکسید کربن بر متر مربع در ثانیه) متعلق به تیمار کشت خالص ۶۰ بوته کلزا در متر مربع بود. با افزایش تراکم بوته در کشت خالص کلزا و نیز اجرای سیستم کشت مخلوط از میزان سرعت فتوسنتز کاسته شد (جدول ۴). می‌توان دلیل این امر را افزایش سایه‌اندازی برگ‌ها بر یکدیگر دانست. اجرای کشت مخلوط نخود-کلزا و سایه‌اندازی بر روی برگ‌های گیاهان زراعی، احتمالاً کاهش ظرفیت فتوسنتزی آن‌ها را در پی دارد. سایر پژوهشگران در بررسی تأثیر روش‌های مختلف کاشت بر شاخص‌های رشد و عملکرد دانه ذرت گزارش کردند سایه‌اندازی باعث کاهش ظرفیت فتوسنتزی ذرت شد. آن‌ها در اندازه‌گیری سرعت فتوسنتز ذرت در مراحل اولیه رشد، به دلیل محدودیت سطح برگ و حداقل رقابت نوری و سایه‌اندازی بین گیاهان، روندی افزایشی را در مقدار فتوسنتز خالص مشاهده کردند، ولی با رشد گیاهان و افزایش سایه‌اندازی سرعت فتوسنتز با کاهش روبرو گردید. به بیان دیگر، آن‌ها حضور گونه‌های دیگر (علف‌های هرز) و تغییر الگوی کاشت (تغییر شدت سایه‌اندازی برگ‌ها بر روی یکدیگر) را دلیل کاهش ظرفیت فتوسنتزی ذرت و در نتیجه کاهش سرعت فتوسنتز خالص آن ذکر کردند (Sarhaddi et al., 2010) که نتایج پژوهش حاضر را نیز تأیید می کند.

تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه کلزا

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات تراکم نخود و تراکم کلزا بر تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته کلزا معنی‌دار بودند (جدول ۲). ولی، اثر متقابل تراکم نخود × تراکم کلزا بر این صفات معنی‌دار نشد (جدول ۲). بیشترین تعداد غلاف در بوته (۶۴/۸۳ غلاف در بوته) و تعداد دانه در بوته (۱۳۳۱ دانه در بوته) کلزا به کشت خالص آن تعلق داشت (جدول ۳). کمترین تعداد دانه در بوته (۷۳۰ دانه در بوته کلزا) از تراکم ۴۰ بوته نخود بدست آمد که در مقایسه با کشت خالص کلزا از ۴۵ درصد کاهش برخوردار بود. کمترین تعداد غلاف در بوته کلزا نیز بدون تفاوت معنی‌دار با تیمار ۳۰ بوته نخود، به تیمار ۴۰ بوته نخود تعلق گرفت (۴۹/۶۷ غلاف در بوته و با کاهش ۲۳ درصدی نسبت به کشت خالص کلزا). در واقع، با انجام کشت مخلوط از تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته کلزا نسبت به تیمار کاشت خالص بطور معنی‌داری کاسته شد (جدول ۳). با افزایش تراکم هر دو گونه در کشت مخلوط نخود و کلزا، چنین به نظر می‌رسد که افزایش رقابت بین

گونه‌ای به کاهش بیشتر تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته کلزا منجر شده است. در مقایسه اثر تراکم کلزا بر تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته نیز مشخص گردید که با افزایش تراکم کلزا در واحد سطح، از تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته کاسته شد، به طوری‌که بیشترین و کمترین تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته کلزا به‌ترتیب در تراکم‌های ۶۰ و ۸۰ بوته مشاهده شد (جدول ۵). بنابراین، علاوه بر رقابت برون گونه‌ای، افزایش رقابت درون گونه‌ای نیز می‌تواند منجر به کاهش برخی صفات مانند تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته گردد. به‌عبارت دیگر، گیاه به دلیل ایجاد موازنه بین مواد فتوسنتزی حاصل و تسهیم آن بین بخش‌های مختلف متقاضی گیاه، تعدادی از گل‌های تشکیل شده را به‌طور فیزیولوژیکی حذف می‌کند. به علاوه، با افزایش تراکم بوته، گیاه گسترش کمتری یافته و تعداد کمتری شاخه فرعی تولید می‌کند. بنابراین، مجموع این عوامل سبب می‌گردد که با افزایش تراکم بوته، تعداد دانه در بوته کاهش یابد (Pooramir et al., 2010). کاهش تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته باقلا در کشت مخلوط با جو نسبت به تک‌کشتی باقلا (Agegnehu et al., 2006) و نیز کاهش تعداد دانه در بوته نخود در کشت مخلوط با کنجد در مقایسه با کشت خالص آن Pooramir et al., 2010) گزارش شده است. در مقایسه اثر تراکم کلزا بر تعداد دانه در بوته نیز مشخص گردید که با افزایش تراکم کلزا در واحد سطح، از تعداد دانه در بوته کاسته شد، به طوری‌که بیشترین و کمترین تعداد دانه در بوته کلزا به‌ترتیب در تراکم‌های ۶۰ و ۸۰ بوته مشاهده شد (جدول ۵). به‌عبارت دیگر، گیاه به دلیل ایجاد موازنه بین مواد فتوسنتزی حاصل و تسهیم آن بین بخش‌های مختلف متقاضی گیاه، تعدادی از گل‌های تشکیل شده را به‌طور فیزیولوژیکی حذف می‌کند. به علاوه، با افزایش تراکم بوته، گیاه گسترش کمتری یافته و تعداد کمتری شاخه فرعی تولید می‌کند. بنابراین، مجموع این عوامل سبب می‌گردد که با افزایش تراکم بوته، تعداد غلاف و تعداد دانه در بوته کاهش یابد.

اثرات تراکم نخود و تراکم کلزا بر وزن هزار دانه کلزا معنی‌دار بودند (جدول ۲). بیشترین و کمترین وزن هزار دانه کلزا به‌ترتیب به تیمارهای کشت مخلوط و خالص تعلق گرفت (جدول ۳). اجرای کشت مخلوط نخود و کلزا باعث افزایش وزن هزار دانه کلزا شد. در میان تراکم‌های کاشت کلزا نیز تراکم ۸۰ بوته در متر مربع دارای وزن هزار دانه بالاتری نسبت به تراکم ۶۰ بوته بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد افزایش تعداد دانه در بوته در تراکم ۶۰ بوته کلزا تحت تأثیر افزایش رقابت درون گونه‌ای سبب شده که وزن هزار دانه به طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای کشت مخلوط و تراکم ۸۰ بوته در متر مربع کلزا کاهش یابد. شاید بتوان دلیل این امر را کاهش فراورده‌های فتوسنتزی اختصاص یافته به دانه‌ها در کشت خالص کلزا دانست. افزایش وزن دانه گیاهان زراعی در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Hamzei et al., 2014; Hamzei et al., 2012).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تراکم در کشت مخلوط با نخود بر برخی ویژگی‌های کلزا

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for the effect of density in intercropping with chickpea on some rapeseed properties

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	سرعت فتوسنتز Photosynthesis rate	تعداد غلاف در بوته Pod number per plant	تعداد دانه در بوته Seed number per plant	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	درصد روغن %oil	عملکرد روغن Oil yield	درصد پروتئین %Protein	عملکرد پروتئین Protein yield
تکرار Replication	2	0.50^{ns}	24.22**	126*	201931**	0.42**	156016*	21166**	0.07^{ns}	3905**	13.95**	1512**
تراکم نخود Chickpea density	2	18.00*	134.05**	360**	584189**	0.15**	367294**	26288**	4.74^{ns}	5842**	1.63*	818**
تراکم کلزا Rapeseed density	1	6.72^{ns}	2.00**	200*	338390**	0.04*	77356^{ns}	2427*	2.88^{ns}	269*	0.22^{ns}	120*
تراکم نخود × تراکم کلزا Chickpea density × rapeseed density	2	0.22^{ns}	0.50*	15^{ns}	5602^{ns}	0.02^{ns}	113740*	2534*	0.54^{ns}	596*	0.01^{ns}	93*
خطای آزمایش Error	10	4.43	0.08	25	14763	0.01	23399	458	2.22	111	0.24	21
ضریب تغییرات CV (%)	--	5.19	3.53	8.89	12.36	3.33	10.22	7.49	3.49	8.62	3.51	8.12

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل تراکم در کشت مخلوط بر برخی ویژگی‌های کلزا و نخود

Table 4- Mean comparisons for the effect of density on some properties of rapeseed and chickpea

کلزا						نخود		
تراکم نخود × تراکم کلزا Chickpea density × Rapeseed density	سرعت فتوسنتز Photosynthesis rate ($\mu mol.CO_2.m^{-2}.s^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($g.m^{-2}$)	عملکرد دانه Seed yield ($g.m^{-2}$)	عملکرد روغن Oil yield ($g\ m^{-2}$)	عملکرد پروتئین Protein yield ($g.m^{-2}$)	شاخص کلروفیل Chlorophyll reading	عملکرد دانه Seed yield ($g.m^{-2}$)	عملکرد پروتئین Protein yield ($g.m^{-2}$)
C_0R_1	25.33^{a*}	1694^{ab}	348^{a}	149.7^{a}	67.67^{a}	–	–	–
C_0R_2	24.33^{b}	1841^{a}	371^{a}	164.5^{a}	71.60^{a}	–	–	–
C_1R_1	18.00^{c}	1487^{bc}	260^{b}	108.5^{b}	52.26^{b}	43.75^{a}	135.0^{b}	48.62^{b}
C_1R_2	17.00^{d}	1083^{d}	203^{b}	85.6^{c}	41.03^{c}	43.25^{ab}	101.3^{d}	36.20^{d}
C_2R_1	16.00^{e}	1501^{bc}	283^{b}	119.9^{b}	57.98^{b}	44.16^{a}	110.7^{cd}	39.29^{cd}
C_2R_2	16.00^{e}	1365^{c}	247^{b}	104.8^{bc}	50.02^{b}	43.00^{ab}	127.0^{bc}	45.13^{bc}
C_1R_0	–	–	–	–	–	36.83^{c}	190.7^{a}	69.69^{a}
C_2R_0	–	–	–	–	–	36.33^{c}	196.0^{a}	71.34^{a}

C_0, C_1 و C_2: به‌ترتیب نخود با تراکم صفر، ۳۰ و ۴۰ بوته در متر مربع وR_0،R_1 و R_2: به‌ترتیب کلزا با تراکم صفر، ۶۰ و ۸۰ بوته در متر مربع

C_0, C_1 and C_2: 0, 30 and 40 chickpea plant per m^2, respectively and R_0, R_1 and R_2: 0, 60 and 80 rapeseed plant per m^2, respectively

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

* Means within a column followed by the same letters are not significantly different based on LSD test.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تراکم نخود بر عملکرد کمی و کیفی و اجزای عملکرد کلزا و تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و عملکرد بیولوژیک نخود

Table 3- Means comparisons for the effect of chickpea density on chlorophyll index, number of grain per plant, 1000-seed weight and %protein of rapeseed and pod number per plant, seed number per plant and biological yield of chickpea

کلزا						نخود		
تراکم نخود (بوته در متر مربع) Chickpea density (plants m^{-2})	شاخص کلروفیل Chlorophyll reading	تعداد غلاف در بوته Pod number per plant	تعداد دانه در بوته Seed number per plant	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	درصد پروتئین % Protein	تعداد غلاف در بوته Pod number per plant	تعداد دانه در بوته Seed number perplant	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($g\ m^{-2}$)
0	38.50^{b*}	64.83^{a}	1331^{a}	4.50^{b}	19.20^{b}	-	–	–
30	41.70^{a}	54.50^{b}	887^{b}	4.78^{b}	19.91^{a}	16.33^{a}	17.66^{a}	398.8^{b}
40	41.50^{a}	49.67^{b}	730^{c}	4.76^{b}	20.21^{a}	13.33^{b}	15.00^{b}	488.4^{a}

§ میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

§ Means within a column followed by the same letters are not significantly different based on LSD test.

عملکرد بیولوژیک و دانه کلزا

اثر تراکم نخود و نیز اثر متقابل تراکم نخود × تراکم کلزا این ویژگی راتحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). بیشترین و کمترین میزان عملکرد بیولوژیک به ترتیب به میزان ۱۸۴۱/۳ و ۱۰۸۳/۰ گرم در متر مربع از کشت خالص ۸۰ بوته کلزا و تراکم ۳۰ بوته نخود × تراکم ۸۰ بوته کلزا به دست آمد. در تیمارهای کشت مخلوط، عملکرد بیولوژیک کلزا بطور معنی‌داری نسبت به تیمارهای خالص کاهش یافت (جدول ۴). به عبارت دیگر، عملکرد بیولوژیک کلزا با افزایش رقابت بین گونه‌ای میان نخود و کلزا در کشت مخلوط بطور معنی‌داری کاهش یافت. پور امیر و همکاران (Pooramir et al., 2010) نیز با ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد کنجد و نخود در کشت مخلوط اظهار کردند که کشت مخلوط کنجد نسبت به کشت خالص آن عملکرد بیولوژیک کمتری داشت. کاهش عملکرد بیولوژیک در اکثر مطالعات کشت مخلوط گزارش شده است (Campiglia et al., 2014; Crusciol et al., 2014).

اثر تراکم نخود، تراکم کلزا و نیز اثر متقابل تراکم نخود × تراکم کلزا بر عملکرد دانه کلزا معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین عملکرد دانه کلزا (۳۷۰/۷ گرم در متر مربع) در تیمار کشت خالص با تراکم ۸۰ بوته در متر مربع بدست آمد، ولی این تیمار با تیمار کشت خالص با تراکم ۶۰ بوته در متر مربع (۳۴۸ گرم در متر مربع) اختلاف معنی‌دار نداشت. کمترین میزان این ویژگی (۲۰۳ گرم در متر مربع) هم در کشت مخلوط ۳۰ بوته نخود با ۸۰ بوته کلزا مشاهده شد (جدول ۴). کشت مخلوط ۳۰ بوته نخود با ۸۰ بوته کلزا نسبت به تیمار کشت خالص کلزا با تراکم ۸۰ بوته، کاهش ۴۲ درصدی عملکرد دانه را در پی داشت. در تیمارهای کشت مخلوط با ایجاد رقابت درون و بین گونه‌ای میان نخود و کلزا کاهش معنی‌دار عملکرد دانه کلزا مشاهده شد. حمزه ئی و سیدی (Hamzei &Seyedi, 2012) کاهش عملکرد کلزا را در کشت مخلوط با گندم و پور امیر و همکاران (Pooramir et al., 2010) نیز از کاهش عملکرد کنجد و نخود در کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی گزارش کردند. در مطالعات دیگر نیز کاهش عملکرد دانه در کشت مخلوط گیاهان زراعی تأیید شده است (Fuente et al., 2014; Hamzei & Seyedi, 2014; Yanet al., 2014).

درصد و عملکرد روغن و پروتئین کلزا

اثر تراکم نخود و تراکم کلزا و نیز اثر متقابل تراکم نخود × تراکم کلزا بر عملکرد روغن معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین و کمترین عملکرد روغن (به‌ترتیب ۱۶۴/۴۳ و ۸۵/۶۲ گرم در متر مربع) به‌ترتیب در کشت خالص کلزا با تراکم ۸۰ بوته و کشت مخلوط ۳۰ بوته نخود با ۸۰ بوته کلزا مشاهده شد. تیمار کشت مخلوط ۳۰ بوته نخود با ۸۰ بوته کلزا نسبت به تیمار برتر کاهش ۴۸ درصدی در این ویژگی را نشان داد (جدول ۴). مهمترین دلیل تغییرات عملکرد روغن به تغییر در عملکرد دانه مربوط می‌شود (Gao et al., 2010).

اثر تراکم نخود و تراکم کلزا و نیز اثر متقابل تراکم نخود × تراکم کلزا بر ویژگی عملکرد پروتئین کلزا معنی‌دار شد، درحالی‌که تنها اثر تراکم نخود بر صفت درصد پروتئین دانه کلزا معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین درصد پروتئین کلزا در تیمار ۴۰ بوته نخود بدست آمد که با تیمار ۳۰ بوته نخود تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۳). کشت خالص کلزا نسبت به کشت مخلوط کلزا- نخود دارای درصد پروتئین دانه کمتری بود. دلیل این امر به توانایی تثبیت نیتروژن توسط نخود بر می‌گردد (Ghosh et al., 2006). بیشترین و کمترین عملکرد پروتئین (۷۱/۶۰ و ۴۱/۰۳ گرم در متر مربع) به‌ترتیب به تیمارهای کشت خالص کلزا و کشت مخلوط ۳۰ بوته نخود با ۸۰ بوته کلزا تعلق گرفت (جدول ۴). همانند عملکرد روغن، مهمترین دلیل افزایش و کاهش عملکرد پروتئین نیز به افزایش و کاهش عملکرد دانه باز می‌گردد.

شاخص کلروفیل و سرعت فتوسنتز نخود

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که شاخص کلروفیل نخود تحت تأثیر تراکم کلزا و اثر تراکم نخود × تراکم کلزا قرار گرفت (جدول ۶). با اجرای کشت مخلوط به‌طور معنی‌داری شاخص کلروفیل نخود افزایش یافت. بطوری‌که، کمترین میزان شاخص کلروفیل نخود در تیمارهای کشت خالص بدست آمد (جدول ۴). دلیل افزایش میزان کلروفیل در تراکم‌های زیاد و در حالت کشت مخلوط، افزایش سایه‌اندازی می‌باشد. به عبارت دیگر، گیاه زراعی در شرایط سایه‌اندازی برای به دام انداختن هر چه بیشتر نور برای تولید فتوآسمیلات میزان کلروفیل برگ خود را افزایش می‌دهد (Lin et al., 2007; Agegnehu et al., 2006). قوش و همکاران (Ghosh et al., 2006) نیز میزان کلروفیل برگ را در تراکم‌های بالای کشت خالص سویا و سورگوم و در تمامی تیمارهای کشت مخلوط نسبت به تراکم‌های پایین تک‌کشتی بالاتر گزارش کردند و علت این امر را به سایه‌اندازی گیاهان روی همدیگر و نیتروژن تثبیت شده توسط سویا در کشت مخلوط نسبت دادند. از این رو، به نظر می‌رسد در پژوهش حاضر نیز به موازات افزایش تراکم در کشت‌های خالص و مخلوط، به دلیل افزایش سایه‌اندازی در کانوپی و احتمالاً تثبیت نیتروژن توسط نخود، میزان کلروفیل برگ افزایش یافته است که این نتایج پیش‌تر از این نیز توسط حمزه‌ئی (Hamzei, 2012) در مطالعه کشت مخلوط جو و گاودانه مورد تأیید قرار گرفته است. سرعت فتوسنتز نخود در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تراکم کلزا قرار گرفت، ولی اثر تراکم نخود و نیز اثر متقابل تراکم نخود × تراکم کلزا بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۶).

جدول ٦- تجزیه واریانس اثر تراکم نخود و تراکم کلزا بر برخی ویژگی‌های نخود در کشت مخلوط با کلزا

Table 6- Analysis of variance of chickpea and rapeseed density on some chickpea properties at intercropped with rapeseed

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	سرعت فتوسنتز Photosynthesis rate	تعداد غلاف در بوته Pod number per plant	تعداد دانه در بوته Seeds numer per plant	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	درصد پروتئین Protein percentage	عملکرد پروتئین Protein yield
تکرار Replication	2	77.16**	18.00**	28.17*	82.66**	109.50*	62343 **	31^{ns}	2.10^{ns}	0.65^{ns}
تراکم نخود Chickpea density	1	0.05^{ns}	2.00^{ns}	32.00*	32.00**	24.50^{ns}	36181**	22^{ns}	0.32^{ns}	0.77^{ns}
تراکم کلزا Rapeseed density	2	24.66**	84.50**	129.50**	270.50**	194.00**	102976**	11318**	1.38^{ns}	1607.81**
تراکم نخود × تراکم کلزا Chickpea density × rapeseed density	2	1.55*	0.50^{ns}	3.50^{ns}	3.50^{ns}	8.66^{ns}	5282^{ns}	948**	0.06 ^{ns}	126.66*
خطای آزمایش Error	10	0.36	1.20	5.77	2.66	20.16	2353	103	5.07	19.44
ضریب تغییرات CV (%)	--	1.75	8.01	16.37	9.99	3.75	10.93	7.05	6.26	8.52

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ٥- مقایسه میانگین اثر تراکم کلزا در کشت مخلوط بر وزن هزار دانه، تعداد دانه در بوته و عملکرد بیولوژیک نخود و بر تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه کلزا و تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه کلزا

Table 5- Means comparisons for the effect of rapeseed density in intercropping on 1000-seed weight, number of grain per plant and biological yield of chickpea and number of grain per plant and 1000-seed weight of rapeseed and number of grain per plant and 1000-seed weight of rapeseed

	نخود					کلزا		
تراکم کلزا (بوته در متر مربع) Rapeseed density (plant.m^{-2})	سرعت فتوسنتز Photosynthesis rate (μmol.CO_2.m^{-2}.s^{-1})	تعداد غلاف در بوته Pod number per plant	تعداد دانه در بوته N. seeds plant^{-1}	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (g.m^{-2})	تعداد دانه در بوته N. seeds plant^{-1}	تعداد غلاف در بوته Pod number per plant	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)
0	18.00^{a§}	20^{a}	24.00^{a}	250.2^{b}	592.8^{a}	-	-	-
60	11.50^{b}	12.50^{b}	13.50^{b}	258.2^{a}	390.5^{b}	1120^{a}	59.67^{a}	4.63^{b}
80	11.50^{b}	11.50^{b}	11.50^{b}	260.2^{a}	347.5^{b}	846^{b}	53.00^{b}	4.73^{a}

*میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

*Means within a column followed by the same letters are not significantly different based on LSD test.

بیشترین سرعت فتوسنتز نخود متعلق به تیمار کشت خالص نخود بود (۱۸ میکرو مول دی اکسید کربن بر متر مربع در ثانیه). با انجام کشت مخلوط از سرعت فتوسنتز نخود بطور معنی‌داری کاسته شد (جدول ۵). در سیستم‌های کشت مخلوط سایه‌اندازی برگ‌ها بر یکدیگر باعث کاهش جذب نور می‌گردد که همین عامل باعث کاهش ظرفیت فتوسنتزی آن‌ها می‌شود (Sarhaddiet al., 2010).

تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه نخود

نتایج تجزیه واریانس مربوط به تعداد غلاف در بوته و دانه در بوته نخود نشان داد که اثر تراکم نخود و تراکم کلزا بر این صفتات معنی‌دار شد، ولی اثر متقابل آن‌ها بر این ویژگی‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها بیانگر این بود که با افزایش تراکم نخود از ۳۰ به ۴۰ بوته در متر مربع، تعداد غلاف در بوته نخود ۱۵ درصد کاهش یافت و این تفاوت از نظر آماری معنی‌داری بود. بین کشت خالص نخود و کشت مخلوط با تراکم‌های ۶۰ و ۸۰ بوته در متر مربع کلزا با نخود نیز از نظر تعداد غلاف در بوته نخود اختلاف معنی‌داری وجود داشت. به طوری‌که، کشت خالص نخود با تعداد ۲۰ غلاف در بوته در بالاترین سطح قرار داشت و کمترین تعداد غلاف در بوته که معادل ۱۱/۵۰ غلاف در بوته بود، بدون تفاوت معنی‌دار با تراکم ۶۰ بوته کلزا و با ۴۳ درصد کاهش، از تراکم ۸۰ بوته کلزا حاصل شد (جدول ۵). این امر حاکی از این است که با افزایش تراکم کلزا و در نتیجه افزایش رقابت بین گونه‌ای تعداد غلاف در بوته نخود به طور معنی‌داری کاهش یافته است. به عبارتی، با افزایش تراکم کلزا و افزایش سایه‌اندازی، گیاه نخود بیشتر انرژی خود را صرف رشد رویشی کرده و در نتیجه انرژی کمتری جهت تشکیل و رشد غلاف‌ها باقی می‌ماند. افزون بر این، در تراکم‌های بالاتر به دلیل رقابت درون بوته‌ای بر سر فتوآسمیلات‌ها، میزان ریزش گل‌های تشکیل شده افزایش یافته و بنابراین از تعداد غلاف در بوته کاسته می‌شود (Hamzei, 2012). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش تراکم بوته نخود تعداد دانه در بوته نخود کاهش یافت، بطوری‌که، بیشترین تعداد دانه در بوته در تراکم ۳۰ بوته نخود بدست آمد (۱۷/۶۶ دانه در بوته) (جدول ۳). دوسا و استین Dusa & Stan, (2013) بیان داشتند که در کشت‌های متراکم کمبود مواد غذایی قابل دسترس سبب افزایش ریزش گل‌ها در حین تلقیح یا پس از آن می‌گردد. در بررسی اثر تراکم بوته کلزا بر تعداد دانه در بوته نخود نیز بیشترین میزان تعداد دانه در بوته نخود در کشت خالص نخود مشاهده شد و با اجرای سیستم کشت مخلوط بطور معنی‌داری تعداد دانه در بوته نخود کاهش یافت (جدول ۵). حمزه ئی و سیدی Hamzei & (Seyedi, 2012) و اکرامت و همکاران (Ekramet al., 2010) نیز در کشت مخلوط نخود و جو، کاهش اجزای عملکرد از جمله تعداد غلاف و دانه در بوته نخود را در کشت مخلوط گزارش کردند.

وزن هزار دانه نخود نیز به طور معنی‌داری تحت تأثیر تراکم کلزا قرار گرفت، ولی اثر تراکم نخود و اثر متقابل تراکم نخود × تراکم کلزا بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۶). با توجه به جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) مشخص شد که تیمار کشت مخلوط نخود با ۸۰ بوته کلزا دارای بیشترین وزن هزار دانه نخود بود (۲۶۰/۱۶ گرم) که دلیل آن می‌تواند تعداد کمتر دانه در بوته در این تیمار و افزایش سهم مواد پرورده گیاهی اختصاص یافته به دانه‌ها باشد. گائو و همکاران (Gao et al., 2010) در بررسی اثر تراکم‌های مختلف بوته بر عملکرد گندم اعلام کرد هرگاه گیاه تحت شرایط تنش‌های محیطی از جمله تراکم‌های بالا قرار گیرد، به دلیل کاهش جذب منابع غذایی و توسعه کمتر دستگاه فتوسنتزی گیاه، منابع تأمین ذخایر بذری کاهش یافته که در نتیجه آن اندازه بذر وزن دانه کاهش می‌یابد.

عملکرد بیولوژیک و دانه نخود

اثر تراکم نخود و کلزا بر عملکرد بیولوژیک نخود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند، ولی اثر متقابل این تیمارها عملکرد بیولوژیک نخود را تحت تأثیر قرار نداد (جدول ۶). به طوری‌که، تراکم ۴۰ بوته نخود دارای عملکرد بیولوژیک بالاتری نسبت به تراکم ۳۰ بوته بود (جدول ۳). همچنین تحت تأثیر تراکم‌های کلزا، عملکرد بیولوژیک نخود بطور معنی‌داری نسبت به کشت خالص آن کاهش یافت (جدول ۵). کمترین مقدار عملکرد بیولوژیک نخود (۳۴۷/۵ گرم در متر مربع) به تراکم ۸۰ بوته کلزا تعلق داشت که البته کاهش معنی‌داری نسبت به تراکم۶۰ بوته کلزا نداشت، ولی این دو تیمار بطور معنی‌داری از نظر عملکرد بیولوژیک از کشت خالص نخود کمتر بودند (جدول ۵). به نظر می‌رسد بر اثر افزایش رقابت در کشت مخلوط و کاهش منابع محیطی عملکرد گونه‌ها در کشت مخلوط کاهش می‌یابد که در این مطالعه نیز این موضوع تحقق یافت. پژوهشگران دیگر نیز اعتقاد دارند که عملکرد بیولوژیک گیاهان به طور معنی‌داری در کشت مخلوط نسبت به تک کشتی کاهش می‌یابد که دلیل آن افزایش رقابت بین گونه‌ای در این سیستم کاشت است (Fuente et al., 2014; Dusa & Stan, 2013).

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۶) اثر تراکم نخود بر عملکرد دانه این گیاه معنی‌دار نبود، ولی این ویژگی در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر اثر تراکم کلزا و اثر متقابل تراکم نخود × تراکم کلزا قرار گرفت. کمترین عملکرد دانه (۱۰۱/۳ گرم در متر مربع) در تیمار ۳۰ بوته نخود با ۸۰ بوته کلزا بدست آمد (جدول ۴)، همچنین با این که بیشترین میزان عملکرد دانه نخود در تیمار کشت خالص با تراکم ۴۰ بوته در متر مربع بدست آمد (۱۹۶گرم در متر مربع) ولی این تیمار با تیمار کشت خالص نخود با تراکم ۳۰ بوته در متر مربع اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). تیمار کشت خالص با تراکم ۴۰ بوته نخود

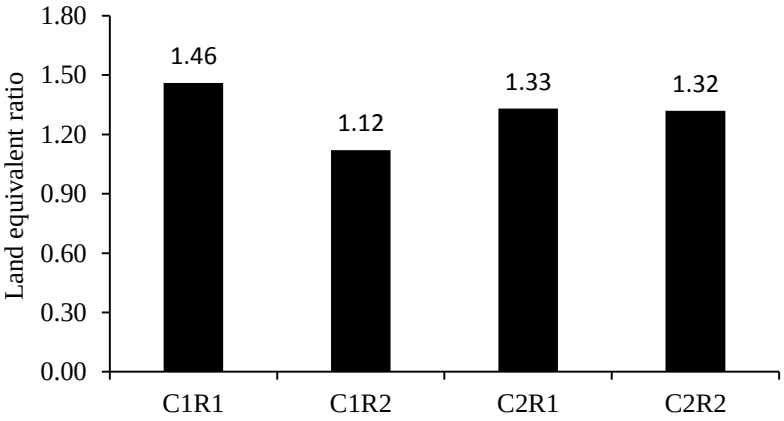
نسبت به تیمار ۳۰ بوته نخود + ۸۰ بوته کلزا، افزایش ۴۳/۵۴ درصدی از نظر عملکرد دانه را نشان داد. کاهش عملکرد دانه گیاهان زراعی در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Fuente et al., 2014; Hamzei & Seyedi, 2014; Yanet al., 2014).

درصد و عملکرد پروتئین نخود

درصد پروتئین دانه نخود تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت ولی اثر تراکم کلزا و اثر متقابل تراکم نخود در تراکم کلزا بر عملکرد پروتئین نخود معنی‌دار شد (جدول ۶). بیشترین و کمترین عملکرد پروتئین نخود (۷۱/۳۴ و ۳۹/۲۹ گرم در متر مربع) به‌ترتیب در تیمار کشت خالص با تراکم ۴۰ بوته و تیمار ۳۰ بوته نخود + ۸۰ بوته کلزا بدست آمد. ولی، بین تراکم ۴۰ و ۳۰ بوته نخود از نظر عملکرد پروتئین تفاوت معنی‌دار وجود نداشت (جدول ۴). افزایش رقابت برای منابع محیطی و کاهش عملکرد دانه در تیمارهای کشت مخلوط، باعث کاهش این صفت شده است (Gao et al., 2010).

نسبت برابری زمین

با وجود اینکه عملکرد دانه کلزا و نخود در کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی آن‌ها کاهش یافت، ولی بازده کل زمین در مقایسه با تک‌کشتی در تمامی حالت‌های کشت مخلوط بیشتر از یک بود که نشان دهنده برتری کلیه الگوهای کشت مخلوط نخود و کلزا نسبت به تک کشتی آن‌ها است. میزان LER در محدوده ۱/۱۲ تا ۱/۴۶ قرار داشت (شکل ۱). کمترین (۱/۱۲) و بیشترین (۱/۴۶) میزان LER به‌ترتیب در تیمارهای کشت مخلوط ۳۰ بوته نخود با ۸۰ بوته کلزا و کشت مخلوط ۳۰ بوته نخود با ۶۰ بوته کلزا بدست آمد و الگوهای کشت ۴۰ بوته نخود با ۸۰ بوته کلزا و ۴۰ بوته نخود با ۶۰ بوته کلزا به‌ترتیب با نسبت برابری زمین معادل ۱/۳۲ و ۱/۳۳ در حدواسط کشت‌های مخلوط فوق قرار گرفتند. به عبارت دیگر، کشت‌های خالص هر یک از گونه‌ها نیاز به ۴۶–۱۲ درصد زمین اضافی نسبت به کشت مخلوط دارند تا عملکردی معادل یک هکتار کشت مخلوط تولید کنند. علت برتری کشت مخلوط دو گونه نسبت به تک‌کشتی آن‌ها را می‌توان به اثرات مکملی آن‌ها در استفاده بهینه از منابعی نظیر نیتروژن و آب و به تبع آن کاهش تقاضا برای نهاده‌های خارجی نسبت داد (Aminifar et al., 2016). در کل، مشخص گردید کشت مخلوط ۳۰ بوته نخود با ۶۰ بوته کلزا با داشتن بیشترین LER (۱/۴۶)، منجر به صرفه‌جویی ۴۶ درصدی در زمین زراعی می‌شود. در کشت‌های مخلوط نخود با جو (Hamzei & Seyedi, 2015)، آفتابگردان با لوبیا (Hamzei & Seyyedi, 2016) و ذرت با لوبیا چشم بلبلی (Eskandari & Alizadeh-Amraie, 2016) نیز برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی و بهبود استفاده از زمین و منابع گزارش شده است.



شکل ۱- شاخص نسبت برابری زمین در الگوهای مختلف کشت مخلوط نخود و کلزا

C_1 و C_2: به‌ترتیب نخود با تراکم ۳۰ و ۴۰ بوته در متر مربع و R_1 و R_2: به‌ترتیب کلزا با تراکم ۶۰ و ۸۰ بوته در متر مربع

Fig. 1- Land equivalent ratio in different intercropping patterns of chickpea and rapeseed

C_1 and C_2: 30 and 40 chickpea plant per m^2, respectively and R_1 and R_2: 60 and 80 rapeseed plant per m^2, respectively.

نتیجه‌گیری

به نظر می‌رسد پایداری عملکرد اقتصادی از اهداف مهم فعالیت‌های پژوهشی و همچنین سیستم‌های توسعه یافته می‌باشد. برای رسیدن به این هدف، کشت مخلوط نقش اساسی را بازی می‌کند و گیاهانی نظیر کلزا و نخود از این نظر مستثنی نیستند. در این مطالعه، شاخص کلروفیل و درصد پروتئین کلزا در کشت مخلوط بیشتر از کشت

خالص بود، ولی بیشترین سرعت فتوسنتز هر دو گونه گیاهی در کشت خالص مشاهده شد. بیشترین عملکردهای دانه، بیولوژیک و روغن کلزا نیز بدون تفاوت معنی‌دار با تراکم ۶۰ بوته کلزا، از تراکم ۸۰ بوته آن در کشت خالص بدست آمد. در مورد نخود نیز نتایج مشابه با کلزا بود، به طوری‌که بیشترین عملکردهای دانه و پروتئین نخود بدون تفاوت معنی‌دار با تراکم ۳۰ بوته نخود، از تراکم ۴۰ بوته آن در کشت خالص بدست آمد. در کل، علی‌رغم کاهش عملکردهای دانه کلزا و نخود در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص آن‌ها، نسبت برابری زمین در تمامی الگوهای کشت مخلوط بیشتر از یک بود. بطوری‌که بیشترین (۱/۴۶) میزان LER در تیمار کشت مخلوط ۳۰ بوته نخود با ۶۰ بوته کلزا حاصل شد که می‌تواند در مقایسه با تک‌کشتی هر یک از گونه‌های کلزا و نخود، ۴۶ درصد کارایی استفاده از زمین را افزایش دهد.

منابع

Agegnehu, G., Ghizaw, A., and Sinebo, W. 2006. Yield performance and land use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. European Journal of Agronomy 25: 202–207.

Agricultural Statistics. 2017. Report on the production of crops in the 2016–2017 growing seasons. Ministry of Agriculture – Jahad, Tehran, Iran. (In Persian)

Aminifar, J., Ramroudi, M., Galavi, M., and Mohsenabadi, G.R. 2016. Assessment of cotton (*Gossypium* spp.) productivity in rotation with intercropping of sesame (*Sesamum indicum* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.). Iranian Journal of Crop Sciences 18(2): 120-134. (In Persian with English Summary)

Banik, P., Midya, A., Sarkar, B.K., and Ghose, S.S. 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. European Journal of Agronomy 24: 325-332.

Bedoussac, L., and Justes, E. 2010. Dynamic analysis of competition and complementarityfor light and N use to understand the yield and the protein content of a durum wheat–winter pea intercrop. Plant and Soil 330: 37-54.

Brooker, R.W., Bennett, A.E., Cong, W.F., and Daniell, T.J. 2015. Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. New Phytologist 206: 107–117.

Campiglia, E., Mancinelli, R., Radicetti, E., and Baresel, J.P. 2014. Evaluating spatial arrangement for durum wheat (*Triticum durum* Desf.) and sub clover (*Trifolium subterraneum* L.) intercropping systems. Field Crops Research 169: 49–57.

Crusciol, C.A.C., Nascente, A.S., Mateus, G.P., Pariz, C.M., Martins, P.O., and Borghi, E. 2014. Intercropping soybean and palisade grass for enhanced land use efficiency and revenue in a no till system. European Journal of Agronomy 58: 53–62.

Dutra, W.F., Melo, A.S., and Durta, A.F. 2017. Photosynthetic efficiency, gas exchange and yield of castor bean intercropped with peanut in semiarid Brazil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 21: 106-110.

Dusa, E.M., and Stan, V. 2013. The effect of intercropping on crop productivity and yield quality of oat grain leguminous species pea and lentil cultivated in pure stand and mixtures in the organic agriculture system. European Scientific Journal 21: 69-78.

Ekram, A.M., Sharaan, A.N., and EL-Sherif, A.M. 2010. Effect of intercropping patterns on yield and its components of barley, lupin or chickpea grown in newly reclaimed soil. Egyptian Journal of Applied Science 25: 437-452.

Ehrmann, J., and Ritz, K. 2014. Plant: soil interactions in temperate multi-cropping production systems. Plant and Soil 376: 1–29.

Eskandari, H., and Alizadeh-Amraie, A. 2016. Evaluation of growth and species composition of weeds in maize-cowpea intercropping based on additive series under organic farming condition. Journal of Agroecology 8: 227-240. (In Persian with English Summary)

Eslamizadeh, A., Kashani, A., Siyadat, S.A., Modhej, A., and Lak, S. 2015. Study of soybean forage at different planting dates intercropped with corn. Walia Journal 31: 108-112.

Fatahi Nazad, A., Siadat, A., Esfandiari, M., Moghadasi, R., and Moazi, A. 2013. Effect of phosphorus fertilizer on yield, oil and protein in canola in dryland under soil phosphorus fertility groups. Crop Physiology 18: 83-100.

Franco, J.G., King, S.R., Masabni, J.G., and Volder, A. 2015. Plant functional diversity improves short-term yields in a low-input intercropping system. Agriculture, Ecosystems and Environment 203: 1–10.

Fuente, E.B., Suárez, S.A., Lenardis, A.E., and Poggio, S.L. 2014. Intercropping sunflower and soybean in intensive farming systems.Evaluating yield advantage and effect on weed and insect assemblages. NJAS- Wageningen Journal of Life Science 165: 1–6.

Gao, Y., Duan, A., Qiu, X., Liu, Z., Suna, J., Zhang, J., and Wang, H. 2010. Distribution of roots and root length density in a maize/soybean strip intercropping system. Agricultural Water Management 98: 199–212.

Geren, H., Avcioglu, R., Soya, H., and Kir, B. 2008. Intercropping of corn with cowpea and bean: Biomass yield and silage quality. Biotechnology 22: 4100–4104.

Génard, T., Etienne, P., Diquélou, S., Yvin, J.-C., Revellin, C., and Laîné, P. 2017. Rapeseed-legume intercrops: plant growth and nitrogen balance in early stages of growth and development. Heliyon 3: 1-20.

Ghosh, P.K., Manna, M.C., Bandyopadhyay Ajay, K.K., Tripathi, A.K., Wanjari, R.H., Hati, K.M., Misra, A.K., Acharya, C.L., and Subba Rao, A. 2006. Interspecific interaction and nutrient use in soybean/sorghum intercropping system. Agronomy Journal 98: 1097–1108.

Hamzei, J. 2011. Seed, oil, and protein yields of canola under combinations of irrigation and nitrogen application. Agronomy Journal 103: 1152–1158.

Hamzei, J. 2012. Evaluation of yield, SPAD index, landuse efficiency and system productivity index of barley (*Hordeum vulgare*) intercropped with bitter vetch (*Vicia ervilia*). Journal of Crop Production and Processing 2(4):79-92. (In Persian with English Summary)

Hamzei, J., and Babaei, M. 2017. Study of quality and quantity of yield and land equivalent ratio of sunflower in intercropping series with bean. Journal of Agroecology 8: 490-504. (In Persian with English Summary)

Hamzei, J., and Seyedi, M. 2016. Energy use and input–output costs for sunflower production in sole and intercropping with soybean under different tillage systems. Soil and Tillage Research 157: 73–82.

Hamzei, J., and Seyedi, M. 2015. Evaluation of the effects of intercropping systems on yield performance, land equivalent ratio and weed control efficiency. Agriculture Research 4: 202–207.

Hamzei, J., and Seyedi, S.M. 2014. Soil physicochemical characteristics and land use efficiency in cereal-legume intercropping systems. Water and Soil 24: 261-271. (In Persian with English Summary)

Hamzei, J., and Seyedi, S.M. 2012. Determination of the best intercropping combination of wheat and rapeseed based on agronomic indices, total yield and land use equivalent ratio. Crop Production and Processing 2: 109-119. (In Persian with English Summary)

Hamzei, J., Seyedi, M., Ahmadvand, G., and Aboutalebian, M.A. 2012.Effect of additive intercropping on weed suppression, yield and component yield of chickpea and barley. Crop Production and Processing 3: 43-56. (In Persian with English Summary)

Jalilian, J., Modarres Sanavy, S.A.M., and Sabaghpour, S.H. 2005. Effect of plant density and supplemental irrigation on yield, yield components and protein content of four chickpea (*Cicer arietinum*) cultivars under dry land condition. Journal of Agricultural Science and Natural Resource 12(5): 1-9. (In Persian with English Summary)

Li, L., Tilman, D., Lambers, H., and Zhang, F.S. 2014. Biodiversity and overyielding: insights from below-ground facilitation of intercropping in agriculture. New Phytologist 203: 63–69.

Lin, C.W., Chen, Y.B., Huang, J.J., and Tu, S.H. 2007. Temporal variation of plant height, plant cover and leaf area index in intercropped area of Sichuan, China. Chinese Journal of Ecology 26: 989- 994.

Majnoun Hosseini, N. 2008. Agronomy and Production of Legume. Jihad Daneshgahi Press. Tehran, Iran. 284 pp. (In Persian)

Ngwira, A.R., Aune, J.B., and Mkwinda, S. 2012. On-farm evaluation of yield and economic benefit of short term maize legume intercropping systems under conservation agriculture in Malawi. Field Crops Research 132: 149–157.

Pooramir, F., Koocheki, A.R., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2010. Assessment of sesame and chickpea yield and yield components in the replacement series intercropping. Iranian Journal of Fied Crops Research 8: 747-757. (In Persian with English Summary)

Ren, Y., Liuc, J., Wangd, Z., and Zhanga, S. 2016. Planting density and sowing proportions of maize–soybean intercropsaffected competitive interactions and water-use efficiencies on theLoess Plateau, China. European Journal of Agronomy 72: 70–79.

Sarhaddi, M., Zand, E., Baghestani, M.A., and Mohtasebi, R. 2010. Investigating on the effect of different corn planting

method on weed management, corn growth indices and yield. Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi) 88: 78-86. (In Persian with English Summary)

Vaziri Kateshori, S., Daneshvar, M., Sohrabi, A., and Nazarian Firoz Abadi F. 2014. Effects of foliar application of P, Zn and Fe on grain yield and yield components of chick pea. Journal of Crop Inprovement 15(2): 17-30. (In Persian with English Summary)

Weisany, W., Zehtab-Salmasia, S., Raeia, Y., Sohrabib, Y., and Ghassemi-Golezani, K. 2016. Can arbuscular mycorrhizal fungi improve competitive ability of dill + common bean intercrops against weeds? European Journal of Agronomy 75: 60–71.

Yan, S., Du, X., Wu, F., Li, L., Li, C., and Meng, Z. 2014. Proteomics insights into the basis of interspecific facilitation for maize (*Zea mays*) in faba bean (*Vicia faba*)/ maize intercropping. Journal of Proteomics 109: 111-124.

Zhang, J., Blackmer, A.M., Ellsworth, J.W., and Koehler, K.J. 2008. Sensitivity of chlorophyll meters for diagnosing nitrogen deficiencies of corn in production agriculture. Agronomy Journal 100: 543–550.

Zhang, F., Shen, J., Zhang, J., Zuo, Y., Li, L., and Chen, X. 2010. Rhizosphere processes and management for improving nutrient use efficiency and crop productivity:implications for China. Advances in Agronomy 107: 1–32.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 245-259

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۲۵۹-۲۴۵

Evaluarion of Agrophysiological Indices and Yield Performance in Canola/Chickpea Intercropping

J. Hamzei[1*] and R. Davoudian[2]

Submitted: 19-06-2017
Accepted: 05-01-2018
Hamzei, J., and Davoudian, R. 2019. Evaluarion of Agrophysiological Indices and Yield Performance in anola/Chickpea Intercropping. Journal of Agroecology. 11(1):245-259.

Introduction:
One of the ecological strategies for increasing of stability is diversity creation by multiple cropping. So, intercropping is an advantage approach for utilization from environmental resource in comparison with monoculture. Intercropping, which is defined as growing two or more species simultaneously in the same field during a growing season, has been considered as an important strategy to develop sustainable production systems, particularly those which aim to limit external inputs such as chemical fertilizer and herbicide. Intercropping is a sustainable cropping practice that has been successfully implemented in agroecosystems. In 79% of biodiversity experiments, biomass production in species diverse systems was on average, 1.7 times higher than in monoculture. Biodiversity enhancement can increase productivity and other ecosystem functions through replacement and complementarity effects. Complementarity effects occur when intercropped plants with complementary traits interact positively to increase productivity, and here genuine yield gains are possible. Thus, it was aimed to evaluate the agrophysiological traits, and yield of canola intercropped with chickpea in different plant densities.

Materials and methods:
Ecophysiological aspects of chickpea-canola intercropping were assessed at the Agricultural Research Station, Faculty of Agriculture (latitude 35°34'N, longitude 50°57'E), University of Tehran, during 2014 growing season. The area lies at an altitude of 2010 m.a.s.l. The mean annual rainfall was 256 mm. The mean maximum and minimum temperatures were 27.5°C and 8°C, correspondingly. The soil type of the experimental site was clay loam with pH of 7.78. Irrigation of the entire experiment was done with an overhead sprinkler system on a weekly basis until soil had reached field capacity. Experiment was done as factorial layout bases on a randomized complete block design with three replications and eight treatments. Treatments were sole cropping of rapeseed (60 and 80 plants m^{-2}; 60R and 80R), sole cropping of chickpea (30 and 40 plants m^{-2}; 30C and 40C) and additive intercropping based on combination of the two species (30C+60R, 30C+80R, 40C+60R, 40C+80R). The crops' seeds were sown simultaneously. Leaf chlorophyll reading was measured in the youngest expanded leafs using an SPAD-502 (Minolta). The Photosynthetic CO_2 assimilation was measured with a portable leaf chamber and an open-system infrared gas analyzer (IRGA). At the final harvest, plants were cut at ground level and seeds were separated by manual threshing. Grain productivity was used to calculate land equivalent ratio (LER). LER was calculated to measure efficiency of intercropping compared to pure cropping (Banik et al., 2006). SAS vs. 9.1 procedures and programs were used for analysis of variance (ANOVA) calculations. Least significant differences (LSD) test was use for means comparison at 5% probability level.

Results and discussion:
Results indicated that chlorophyll reading and protein percentage for canola in intercropping treatment with chickpea were more than its sole cropping. However, photosynthetic rate for both species in sole cropping was more than intercropping. The highest canola grain yield (370.7 g m^{-2}) was achieved at sole cropping with 80 plants m^{-2} but this treatment had not significant difference with canola sole cropping with 60 plants m^{-2}. Also, chickpea sole cropping in comparison with

1 and 2- Associate Professor and Former M.Sc. Student, Department of Crop Production and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: j.hamzei@basu.ac.ir)

intercropping treatments had higher grain yield. Although, grain yields of canola and chickpea at sole cropping treatments decreased in comparison with intercropping, but evaluation of land equivalent ratio (LER) confirmed higher advantage of intercropping. At all of the intercropping treatments, LER was higher than one and the highest value for LER (1.46) was revealed at '30 plants m^{-2} chickpea+60 plants m^{-2} canola' treatment. In fact, when the value of land equivalent ratio is less than 1, the intercropping affects the growth negatively and yield of crops grown in mixtures but when the value of LER is more than 1, the intercropping favors the growth and yield of the crops. Moreover, the total land equivalent ratio was higher in intercropping system compared to the sole cropping system, indicating the advantage of intercropping over sole cropping in utilizing environmental resources for crop growth.

Conclusion; In general, chickpea/canola intercropping had relative advantage in comparison with sole cropping and increased land use efficiency. So that, results indicated that intercropping of medium density of chickpea (30 plants m^{-2}) with medium density of canola (60 plants m^{-2}) may give better overall yield and income than sole cropping of canola and chickpea.

Acknowledgments:
We would like to thank the funding from Faculty of Agriculture, Tehran University, Iran.

Keywords: Grain legume, Land equivalent ratio, Multiple cropping, Oil seed, Photosynthetic

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۲۷۶-۲۶۱

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 261-276

تأثیر تاریخ کاشت و تنش خشکی آخر فصل بر صفات اکوفیزیولوژیک ارقام جدید کلزا (*Brassica napus* L.)

پریسا ناظری[۱]، امیرحسین شیرانی‌راد[۲*]، سید علیرضا ولد آبادی[۳]، مجتبی میراخوری[۴] و اسماعیل حدیدی ماسوله[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۰۲

ناظری، پ.، شیرانی‌راد، ا.ح.، ولد آبادی، س.ع.، میراخوری، م.، و حدیدی ماسوله، ا. ۱۳۹۸. تأثیر تاریخ کاشت و تنش خشکی آخر فصل بر صفات اکوفیزیولوژیک ارقام جدید کلزا (*Brassica napus* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱(۱):۲۷۶-۲۶۱.

چکیده

بررسی واکنش ارقام مختلف کلزا (*Brassica napus L.*) به عوامل محیطی یکی از اصول اساسی برنامه‌ریزی کشور برای حصول حداکثر عملکرد کمی و کیفی است. تغییر تاریخ کاشت و خشکی از جمله عواملی است که با تغییر طول دوره رویشی و زایشی بر عملکرد محصولات زراعی تأثیر می‌گذارد. به منظور بررسی واکنش چهار رقم جدید کلزا به اثر تاریخ کاشت‌های مختلف و تنش خشکی بر خصوصیات فیزیولوژیک، مورفولوژیک و عملکرد، آزمایشی به‌صورت طرح فاکتوریل اسپیلیت در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در منطقه کرج و در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ انجام شد. تاریخ کاشت در دو سطح تاریخ کاشت معمول و تاریخ کاشت تأخیری، آبیاری در دو سطح آبیاری معمول و قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد در کرت اصلی و چهار رقم Agamax، Trapper، Smilla و Makro در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد کلیه خصوصیات مورد بررسی به جز شاخص برداشت، تحت تأثیر معنی‌دار تاریخ کاشت، تنش خشکی و رقم قرار گرفتند ($P\leq0.05$). اثر متقابل تاریخ کاشت در آبیاری در صفات کربوهیدرات‌های محلول، ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته و درصد روغن معنی‌دار گردید. همچنین اثر سه گانه نیز تنها در غلظت کربوهیدرات‌های محلول برگ معنی‌دار شد. کاشت تأخیری و قطع آبیاری سبب افزایش کربوهیدرات‌های محلول و کاهش غلظت کلروفیل برگ شد. همچنین اجزاء عملکرد کلزا نیز در اثر تأخیر در کاشت و قطع آبیاری کاهش یافت که در نهایت موجب کاهش عملکرد دانه و روغن کلزا شد. در بین ارقام مورد بررسی، دو رقم Trapper و Agamax با اختلاف ناچیزی نسبت به یکدیگر دارای عملکرد بهتری نسبت به دو Smilla و Makro بودند. تنش آبیاری آخر فصل همزمان با تاخیر در کاشت باعث کاهش اجزاء عملکرد و افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول شد. عدم معنی‌دار بودن اثر متقابل ارقام در تاریخ کاشت برای عملکرد دانه و روغن مبین آن است که کاهش عملکرد ارقام، ناشی از تأخیر در تاریخ‌های کاشت از روند مشابهی برخوردار بوده است.

واژه‌های کلیدی: عملکرد و اجزای عملکرد، کشت تأخیری، کلروفیل، کم‌آبی

مقدمه

کلزا (*Brassica napus* L.) از جمله گیاهان زراعی می‌باشد که جهت استخراج روغن مورد کشت و کار قرار می‌گیرد و پس از سویا و نخل روغنی در جایگاه سوم تولید قرار دارد (El-Din et al., 2010). ارقام پاییزه‌ی کلزا می‌تواند مانند سایر گیاهان زمستانه از بارندگی فصلی استفاده نموده و به این علت جانشین مناسبی برای سایر دانه‌های روغنی نظیر سویا (*Glycine max* L.) و آفتاب‌گردان (*Helianthus annuus*) هستند (Rameeh, 2014). با رعایت اصول به زراعی و به‌نژادی، عملکرد کلزا را می‌توان بهبود بخشید. بدین منظور، علاوه بر معرفی ارقام دارای عملکرد بالاتر، از حداکثر ظرفیت ژنتیکی ارقام موجود نیز در شرایط آب و هوایی مختلف می توان استفاده نمود (Sieling et al., 2017)، که بخشی از این هدف در صورت کاشت در زمان مناسب قابل دستیابی است. بنابراین هدف از تعیین تاریخ کاشت، یافتن بهترین زمان کاشت رقم در جهت فراهمی عوامل محیطی برای سبز شدن، استقرار و بقای گیاهچه تا زمان رسیدگی محصول مناسب بوده تا هر مرحله از رشد گیاه از شرایط مطلوب برخوردار باشد. نتایج تحقیقی که روی تاریخ کاشت و

۱و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تاکستان
۲- استاد، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۴- دانش‌آموخته دکتری، گروه زراعت، دانشگاه آزاد تبریز
(*- نویسنده مسئول: Email: Shirani.rad@gmail.com)
DOI:10.22067/jag.v11i1.67311

اثر تنش‌های حاصله از آن در کلزا مشاهده شد که به دلیل دوره پر شدن طولانی‌تر دانه، تا حدودی درصد روغن افزایش می‌یابد (Seiling et al., 2017). از طرفی، کشت تأخیری باعث کوتاهی مرحله رشد رویشی گیاه شده و در نهایت، گلدهی سریع رخ می‌دهد. بنابراین، کاشت زود هنگام سبب افزایش ارتفاع ساقه شده و این مسأله موجب افزایش تعداد غلاف در بوته می‌گردد. لذا در مجموع تعداد بذر در غلاف در نتیجه عدم تولید ماده خشک کافی کاهش یافته و مقدار عملکرد و درصد روغن دانه نیز کم می‌شود.

کمبود رطوبت سبب کوتاه شدن عمر گیاه کلزا و کاهش تولید ماده خشک و بازدهی محصول می‌شود. تحقیقات نشان داده است که آبیاری از مرحله ساقه رفتن تا گل‌دهی از نقطه نظر سطح برگ حائز اهمیت است (Khalili et al., 2012). کپسول‌های نارس کلزا در اثر خشکی خاک به زمین می‌ریزند، همچنین نقل و انتقال مواد فتوسنتزی از ساقه به دانه متوقف می‌شود. درنتیجه، عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Khan et al., 2010). تأمین ۷۰ تا ۷۵ درصد کل آب مصرفی گیاه بعد از گل‌دهی برای تولید حداکثر ماده خشک مناسب است. حساس‌ترین مرحله رشد و نمو کلزا به کمبود آب، مرحله گل‌دهی است. کمبود آب در این مرحله سبب افت شدید تعداد گل، کپسول و دانه شده و وزن هزار دانه و میزان روغن دانه را کاهش می‌دهد. تنش کم‌آبی باعث می‌شود که گیاه در شرایط نامساعد محیطی به گل رفته و در اثر گرما، تعدادی از گل‌ها عقیم مانده و ریزش کنند. همچنین چون گیاه در اثر بالا بودن دمای محیط در مدت زمان کمتری نیاز حرارتی خود را تأمین می‌کند طول دوره گلدهی گیاه کوتاه شده و پتانسیل تولید غلاف کاهش می‌یابد (Sepehri & Golparvar, 2011).

تنش خشکی در هر مرحله از رشد زایشی موجب کاهش عملکرد می‌شود، اما میزان کاهش به مرحله نمو بستگی دارد. تأثیر منفی تنش خشکی به ویژه طی مرحله گلدهی، تشکیل و پر شدن دانه مهم است. کمبود آب خاک در هر مرحله‌ای از رشد به خصوص در مرحله زایشی، سبب تشدید کاهش عملکرد می‌گردد و در نیمه انتهایی نمو زایشی به حداکثر می‌رسد. گزارش شده تنش رطوبتی طی دوره گلدهی سبب کاهش طول دوره گلدهی، تعداد گل، تعداد غلاف، تعداد دانه و وزن دانه می‌شود. همچنین تنش رطوبتی طی اوایل مرحله تشکیل غلاف، تعداد غلاف و دانه را بیشتر از هر مرحله دیگری کاهش می‌دهد (Keerthi et al., 2017). کمبود آب در انتهای مرحله نمو غلاف و طی تشکیل دانه، توانایی گیاه را برای سازگاری به تنش رطوبتی محدود می‌کند. در صورت آبیاری، وزن دانه و تعداد غلاف گیاهان آبیاری شده در مقایسه با گیاهان تحت تنش افزایش می‌یابد. آبیاری هنگام تکمیل گل‌دهی و پر شدن دانه، عملکرد را تا دو برابر در مقایسه با شرایط بدون آبیاری افزایش می‌دهد (Sabaghnia et al., 2010). کاهش رطوبت در زمان رشد رویشی نیز می‌تواند به طور غیرمستقیم بر ارتفاع گیاه مؤثر باشد. در واقع علت کاهش ارتفاع به تعداد گره کمتر و فاصله میانگره کوتاه‌تر مربوط است (Sabaghnia et al., 2010). پرهیز از تنش آبی در طول دوره بحرانی گلدهی تا رسیدن فیزیولوژیک مهم بوده و در همین راستا گزارش شده که در طول این دوره میزان آب نباید کمتر از ۵۰ درصد ظرفیت نگهداری آب در خاک باشد (Din et al., 2011). گزارش‌های دیگر حاکی از آن است که تنش خشکی اجزاء اصلی عملکرد در کلزای پائیزه را کاهش می‌دهد. اعمال تنش رطوبت در مرحله رشد طولی ساقه اصلی بر تعداد شاخه‌های فرعی اثر منفی گذاشت. همچنین اعمال تنش در مرحله گلدهی موجب کاهش تعداد غلاف‌ها و در مرحله غلاف‌دهی سبب کاهش وزن هزار دانه گردید (Keerthi et al., 2017).

در مجموع، لازم است که اطلاع کامل و صحیحی از عوامل محیطی، خصوصیات زراعی و نیازهای اکولوژیک ارقام مختلف داشت تا بتوان در هر منطقه، تاریخ کاشت مناسبی را برای هر رقم پیشنهاد داد. با توجه به وجود پتانسیل کشت کلزا در منطقه کرج و نبود اطلاعات جامع در رابطه با تاریخ کاشت مناسب آن در این منطقه، تحقیق حاضر با هدف ارزیابی و بررسی واکنش ارقام مختلف کلزا (از لحاظ صفاتی نظیر عملکرد و اجزائ عملکرد، برخی صفات فیزیولوژیک و همچنین محتوای روغن دانه) به شرایط مختلف ایجاد شده در تاریخ‌های متفاوت کاشت و میزان آبیاری، انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در منطقه کرج با متوسط بارندگی بلند مدت ۲۴۴ میلی‌متر که بیشترین میزان آن در آذر ماه و کمترین آن به میزان یک میلی‌متر در مرداد و شهریور اتفاق می‌افتد، انجام گرفت. بافت خاک مزرعه آزمایش، لومی-رسی با ۰/۶۴ درصد کربن آلی، اسیدیته ۷/۷۴ و هدایت الکتریکی ۱/۷۰ میلی‌موس بر سانتی‌متر و میزان فسفر و پتاسیم قابل جذب به ترتیب ۱۰/۳ و ۲۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و میزان نیتروژن کل خاک برابر ۰/۰۶ درصد بود. آزمایش به صورت طرح فاکتوریل اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. تیمارها عبارتند از: تاریخ کاشت در دو سطح شامل تاریخ کاشت معمول (۱۳۹۰/۰۷/۱۰) و تاریخ کاشت تأخیری (۱۳۹۰/۰۸/۱۰)، آبیاری نیز در دو سطح شامل آبیاری معمول (شاهد) و قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد، ارقام تجاری شامل Agamax، Trapper، Marko و Smilla بودند. تاریخ کاشت و آبیاری به صورت فاکتوریل در کرت‌های اصلی و رقم در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. هر کرت آزمایشی شامل شش ردیف به طول پنج متر، فاصله خطوط ۳۵ سانتی‌متر از هم بود که دو خط کناری به عنوان حاشیه در نظر گرفته شدند. فاصله بوته‌ها روی

خطوط کاشت چهار سانتی‌متر بود. بنابراین تراکم بوته حدود ۷۰ بوته در متر مربع بود (Jamshidi et al., 2012) کلیه عملیات مربوط به داشت به جز آبیاری بصورت یکسان و بر اساس عرف منطقه انجام شد. آبیاری برای تیمار آبیاری معمول در هشت مرحله و برای تیمار تنش در شش مرحله صورت گرفت.

به منظور آماده‌سازی زمین، قبل از اجرای آزمایش، زمین مورد نظر آبیاری گردید و پس از گاو رو شدن، به وسیله گاو آهن بر گردان‌دار شخم زده شد. سپس جهت خرد شدن کلوخ‌ها و همچنین یکنواخت شدن وضعیت خاک مزرعه، زمین مذکور دیسک و ماله‌زده شد. سپس اقدام به نمونه‌گیری از خاک مزرعه در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر گردید. بر اساس نتایج تجزیه خاک و توصیه کودی، اقدام به کودپاشی (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنه در هر هکتار که این میزان ازت به صورت یک سوم در هنگام کاشت و دوسوم در دو مرحله از رشد به صورت سرک مصرف، مقادیر ۵۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل و ۷۵ کیلوگرم سولفات پتاسیم) و پخش علف‌کش ترفلان (تریفلورالین) به میزان ۲/۵ لیتر در هکتار به طور یکنواخت در سطح مزرعه گردید و به وسیله دیسک سبک، کود و علف‌کش با خاک مخلوط گردیدند. به منظور استفاده بهینه از نیتروژن، بقیه کود ازته مورد نیاز به صورت سرک در مرحله شروع ساقه رفتن و ظهور اولین غنچه‌های گل مصرف گردید. پس از اجرای آزمایش مطابق نقشه کاشت و سبز شدن و استقرار گیاهچه، عملیات داشت شامل کنترل آفات به ویژه شته مومی با استفاده از سموم متاسیستوکس (۱/۵ لیتر در هکتار) و اکاتین (یک لیتر در هکتار) صورت گرفت.

به منظور بررسی تیمارهای اعمال شده، با نزدیک شدن گیاه به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک در تاریخ ۴ تیر ماه ۱۳۹۱، از هر کرت آزمایشی، ۱۰ بوته به طور تصادفی انتخاب و پس از حذف ۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهایی خطوط با رعایت خط اول و ششم به عنوان حاشیه، نمونه‌برداری انجام شد و صفاتی نظیر ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد خورجین در بوته، طول خورجین، تعداد دانه در خورجین، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، درصد روغن دانه، عملکرد روغن دانه، اندازه گیری شدند. همچنین جهت بررسی صفات فیزیولوژیک، بعد از قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی (۸ اردیبهشت ۱۳۹۱) اقدام به نمونه‌گیری برگی شد و نمونه‌ها بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و در نیتروژن مایع فریز شد. برای نگهداری نمونه‌ها تا زمان انجام تجزیه‌های بیوشیمیایی در فریزر در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری گردید و به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Varian Cary Win UV 6000i, Australia) مورد آنالیز قرار گرفت. برای سنجش مقدار کلروفیل از روش Arnon, 1949 استفاده شد. برای استخراج این رنگیزه‌ها، برگ‌ها در استون ۸۰ درصد سائیده شدند. پس از صاف کردن به وسیله کاغذ صافی جذب آن‌ها در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر خوانده شد. جهت صفر کردن دستگاه از استن ۸۰ درصد استفاده شد. نتایج بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه و ارائه گردیده است. جهت اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول برگ به روش دوبیس و همکاران (Dobois et al., 1956) نمونه‌های منجمد به میزان ۰/۲ گرم در سه میلی‌لیتر آب مقطر عصاره‌گیری شدند و سپس محلول همگن حاصل به کمک کاغذ صافی صاف گردید. برای اندازه‌گیری قند نمونه، به ۵۰ میکرولیتر از همگن صاف شده ۰/۵ میلی‌لیتر فنل پنج درصد و ۲/۵ میلی‌لیتر سولفوریک اسید ۹۸ درصد اضافه شد. منحنی استاندارد با استفاده از غلظت‌های مختلف گلوکز از ۸-۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر ترسیم گردید. جذب استانداردها به همراه جذب قند نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۴۹۰ نانومتر اندازه‌گیری شده و مقدار قند نمونه، بر مبنای وزن تر نمونه بیان شد.

آنالیز آماری با استفاده از نرم افزار SAS (SAS Institute, 2002) انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد محاسبه گردید. ترسیم شکل با استفاده از داده‌پرداز Micro soft office- Excel (2013) انجام شد.

نتایج و بحث

جدول تجزیه واریانس حاکی از تأثیر تیمارهای اعمال شده بر اکثر صفات مورد بررسی بود (جداول ۱ و ۳)؛ بطوری‌که تنها شاخص برداشت تحت تأثیر هیچ کدام از اثرهای اصلی و متقابل اعمال شده قرار نگرفتند. اثر اصلی تاریخ کاشت بر تمام صفات مورد بررسی به جز شاخص برداشت با ضریب احتمال ۱ درصد ($P\leq ۰/۰۱$) معنی‌دار بود. اثر اصلی آبیاری نیز همانند تارخ کاشت در تمام صفات مورد بررسی به جز شاخص برداشت اختلاف معنی‌داری نشان داد. اثر اصلی رقم نیز به جز صفات تعداد شاخه در بوته و شاخص برداشت، در باقی صفات معنی‌دار شد. اثر متقابل آبیاری در تاریخ کاشت تنها در میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ، ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته و درصد روغن دانه بود (جدول ۱). اثر متقابل رقم در تاریخ کاشت و اثر سه‌گانه تاریخ کاشت×آبیاری× رقم تنها در میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ معنی‌دار گردید. اثر متقابل رقم در آبیاری در هیچکدام از صفات مورد بررسی معنی‌دار نگردید (جداول ۱ و ۳).

اثر اصلی رقم بر میزان کلروفیل a معنی‌دار گردید؛ بطوری‌که بیشترین میزان این صفت در تاریخ کاشت ۱۵ مهر با میزان ۱/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تازه بدست آمد. تأخیر در کاشت موجب کاهش حدود ۴۰ درصد غلظت کلروفیل a شد (جدول ۲). تیمار آبیاری بر میزان کلروفیل a در گیاهان تحت تنش دارای تأثیر معنی‌داری بود (جدول ۱). همچنین در بین ارقام مورد استفاده، Trapper و Agamax دارای بیشترین میزان کلروفیل a و ارقام Makro و

Smila دارای کمترین میزان کلروفیل a بودند (جدول ۲). غلظت کلروفیل b نیز واکنشی شبیه کلروفیل a نشان داد؛ بطوری‌که تأخیر در کاشت و قطع آبیاری (بطور جداگانه) باعث کاهش ۱۴ و ۱۵ درصدی میزان کلروفیل b شد (جدول ۲). در این بین ارقام Trapper و Agamaxبیشترین و ارقام Makro و Smila دارای کمترین میزان کلروفیل b بودند. در مجموع، بیشترین غلظت کلروفیل کل در تاریخ کاشت مناسب یعنی ۱۵ مهر حاصل شد و تأخیر در کاشت موجب کاهش ۳۹ درصدی غلظت کلروفیل کل شد (جدول ۲). همچنین قطع آبیاری موجب کاهش ۱۷ درصدی غلظت کلروفیل شد؛ بطوری‌که بیشترین غلظت کلروفیل کل با میزان ۱/۴۷ میلی‌گرم در گرم وزن تازه در تیمار بدون قطع آبیاری مشاهده شد (جدول ۲). در بین ارقام مورد استفاده، اگرچه بین سه رقم Trapper، Agamax و Makro از لحاظ آماری تفاوتی وجود نداشت، اما از لحاظ عددی رقم Trapper با مقدار ۱/۴۴ میلی‌گرم در گرم وزن تازه، بیشترین غلظت کلروفیل کل را دارا بود (جدول ۲).

در شرایط کمبود رطوبت خاک، محتوای کلروفیل گیاه به منظور کاهش تولید رادیکال‌های آزاد کاهش میابد. کاهش در میزان کلروفیل تحت تنش خشکی اغلب مشاهده شده که از آن جمله می‌توان به گزارش دلخوش و همکاران (Delkhosh et al., 2005) در گونه‌های *Brassica* اشاره کرد. کاهش مقادیر کلروفیل تحت تنش خشکی، توسط دیگر محققین گزارش شده است (Kauseri et al., 2006). آنها اعلام کردند که میزان کلروفیل a و b در بسیاری از گیاهان متأثر از خشکی بوده و می‌تواند به عنوان یکی از شاخص‌های تحمل به خشکی مورد توجه قرار گیرد. این تغییرات احتمالاً می‌تواند به این دلیل باشد که در شرایط تنش خشکی تولید رادیکال‌های آزاد در سیستم فتوسنتزی افزایش یافته و گیاه با فعال کردن آنزیم کلروفیلاز اقدام به تخریب محتوای کلروفیل خود می‌کند تا به این طریق از افزایش تخریب سایر سلول‌های گیاهی توسط رادیکال‌های آزاد جلوگیری کند. طی تحقیقاتی که بر روی تأثیر تنش خشکی بر مقدار کلروفیل ارقام کلزا انجام گرفته نشان داده است که تنش کمبود آب در برخی ارقام باعث کاهش میزان محتوای کلروفیل برگ می‌شود. همبستگی مثبت کلروفیل (**۰/۹) با عملکرد دانه نشان‌دهنده آن است که ارقام با کلروفیل بیشتر توانایی تولید مواد پرورده بیشتری بوده است که در نهایت، منجر به افزایش عملکرد دانه شده است (جدول ۶).

جدول ۱- تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزاء عملکرد کلزا تحت تاثیر تیمارهای آبیاری، تاریخ کاشت و رقم

Table1- Analysis of variance (mean of squares) of physiological traits, yield and yield components of canola affected as different regimes, sowing date and cultivars

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyyll	کربوهیدراتهای محلول کل Total solution carbohydrate	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه در بوته No. of branches per plant	تعداد خورجین در بوته No. of pods per plant
بلوک Block	2	0.025^{ns}	0.0024^{ns}	0.0415*	55.05**	20.0^{ns}	3.12^{ns}	999.4**
تاریخ کاشت Sowing date	1	3.026**	0.0712**	4.0468**	4215.78**	950.5**	82.91**	61270.2**
آبیاری Irrigation	1	0.491**	0.0258*	0.7145**	741.66**	275.3**	22.91*	14592.1**
آبیاری×تاریخ کاشت Sowing Date×Irrigation	1	0.022^{ns}	0.0004^{ns}	0.0235^{ns}	14.54**	51.5*	0.08^{ns}	383.1*
خطا کرت اصلی Main error	6	0.005	0.0012	0.0054	0.08	5.4	3.32	37.3
رقم Cultivar	3	0.126 **	0.0033**	0.1497**	121.64**	33.8**	1.89^{ns}	1956.1**
رقم× تاریخ کاشت Sowing Date× Cultivar	3	0.003^{ns}	0.0001^{ns}	0.0031^{ns}	4.71**	3.3^{ns}	0.77^{ns}	23.5^{ns}
رقم×آبیاری Irrigation×Cultivar	3	0.005^{ns}	0.0001^{ns}	0.0045^{ns}	0.22^{ns}	0.3^{ns}	0.62^{ns}	0.9^{ns}
آبیاری×تاریخ کاشت×رقم Sowing Date×Cultivar×Irrigation	3	0.002 ^{ns}	0.0003^{ns}	0.0024^{ns}	2.41**	0.8^{ns}	0.25^{ns}	4.3^{ns}
خطای کرت فرعی Sub error	24	0.007	0.0006	0.0086	0.26	4.5	1.25	45.1
ضریب تغییرات CV(%)		8.0	8.2	6.9	1.2	1.4	7.9	4.5

ns و *، **: به ترتیب بدون اثر معنی‌دار و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, * and **: significant at 1 and 5% probability levels and no significant, respectively.

اثر سطوح تاریخ کاشت، آبیاری، رقم و همچنین اثر متقابل تاریخ کاشت × آبیاری و تاریخ کاشت × رقم و همچنین اثر سه گانه تاریخ کاشت × آبیاری × رقم در سطح ۱ درصد بر میزان کربوهیدرات محلول برگ معنی‌دار بودند (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح تاریخ کاشت بر میزان کربوهیدرات محلول برگ نشان داد که تأخیر در کاشت باعث افزایش میزان کربوهیدرات محلول برگ شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح آبیاری بر میزان کربوهیدرات نشان داد که قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد باعث افزایش میزان کربوهیدرات محلول در برگ شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر رقم بر میزان کربوهیدرات محلول برگ نشان داد که ارقام Trapper و Agamax کمترین میزان کربوهیدرات محلول در برگ را داشتند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تاریخ کاشت و آبیاری بر میزان کربوهیدرات محلول برگ نشان داد که تأخیر در کاشت و همچنین تنش در مرحله خورجین دهی باعث افزایش میزان کربوهیدرات محلول برگ شد (جدول ۳). کمترین میزان کربوهیدرات محلول برگ مربوط به آبیاری معمول در تاریخ کاشت ۱۵ مهر مشاهده شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین-های اثر متقابل تاریخ کاشت، آبیاری و رقم بر میزان کربوهیدرات محلول برگ نشان داد که رقم Smilla در تاریخ کاشت دوم (۵ آبان) و قطع آبیاری بیشترین و رقم Trapper در تاریخ کاشت ۱۵ مهر و آبیاری عادی کمترین میزان کربوهیدرات محلول برگ را داشتند. افزایش مقدار قندهای محلول بر اثر تنش خشکی در کنجد (*Sesamum indicum* L.) (Aein, 2011)، کتان روغنی (*Linum usitatssimum* L.) (Parida et al., 2008) و برنج (*Oryza sativa* L.) (Pirdashti et al., 2009) نیز گزارش شده است. نتایج مقایسه میانگین‌های اثر رقم بر میزان کربوهیدرات محلول برگ نشان داد که ارقام Trapper و Agamax کمترین میزان کربوهیدرات محلول در برگ را داشتند (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تاریخ کاشت و آبیاری بر میزان کربوهیدرات محلول برگ نشان داد که تأخیر در کاشت و همچنین تنش در مرحله خورجین‌دهی باعث افزایش میزان کربوهیدرات محلول برگ شد (جدول ۳). کمترین میزان کربوهیدرات محلول برگ مربوط به آبیاری معمول در تاریخ کاشت ۱۵ مهر بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سه گانه تاریخ کاشت، آبیاری و رقم بر میزان کربوهیدرات محلول برگ نشان داد که رقم Trapper در تاریخ کاشت اول (۱۵ مهر) و آبیاری نرمال، کمترین میزان کربوهیدرات محلول برگ را داشت (شکل ۱). تنظیم اسمزی در گیاهانی که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند به مقدار زیادی به قندهای محلول بستگی دارد.

جدول ۲- اثر اصلی تیمارهای آبیاری، تاریخ کاشت و رقم بر صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد کلزا

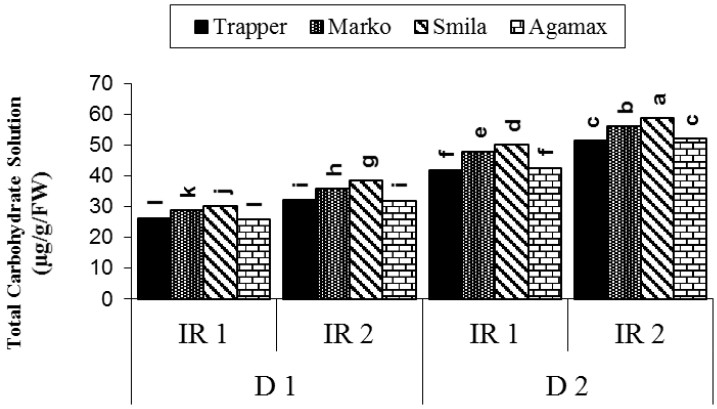
Table 2- Main effects of irrigation, sowing date and cultivars on physiological traits, yield and yield components of canola

تیمار Treatment	کلروفیل a (میلی گرم در گرم وزن تازه) Chlorophyll a (mg/g.FW)	کلروفیل b (میلی گرم در گرم وزن تازه) Chlorophyll b (mg/g.FW)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg/g.FW)	کربوهیدرات‌های محلول کل (میکروگرم در گرم وزن تازه) Total solution carbohydrate (µg/g/FW)	ارتفاع بوته (سانتی-متر) Plant height (cm)	تعداد شاخه در بوته No. of branches per plant	تعداد خورجین در بوته No. of pods per plant
تاریخ کاشت Sowing date							
۱۵ مهرماه October 6th	1.32 a ±0.02	0.33 a ±0.008	1.64 a ±0.02	31.21 b ±0.86	148.9 a ±0.89	15.3 a ±0.29	184.9 a ±5.10
۵ آبان ماه October 26th	0.79 b ±0.02	0.25 b ±0.005	1.01 b ±0.04	50.16 a ±1.16	139.8 b ±0.52	12.7 b ±0.26	112.5 b ±3.85
رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes							
بدون قطع آبیاری Without water holding	1.15 a ±0.05	0.32 a ±0.011	1.47 a ±0.06	36.72 b ±1.95	146.8 a ±1.25	105.6 a ±0.38	166.3 a ±8.56
قطع از مرحله خورجین‌دهی بدبعد Without water holding	0.95 b ±0.06	0.27 b ±0.009	1.22 b ±0.07	44.63 a ±2.17	141.9 b ±0.87	85.8 b ±0.34	131.1 b ±7.37
رقم cultivar							
تریر Trapper	1.13 a ±0.07	0.31 a ±0.015	1.44 a ±0.08	37.98 c ±3.04	145.6 a ±1.77	14.2 a ±0.54	159.7 a ±12.2
ماکرو Makro	1.01 b ±0.09	0.29 b ±0.014	1.29 a ±0.10	42.21 b ±3.28	143.5 b ±1.59	13.9 a ±0.53	142.6 b ±12.3
سمیلا Smilla	0.94 b ±0.09	0.28 b ±0.012	1.22 b ±0.10	44.45 a ±3.20	142.4 b ±1.49	13.5 a ±0.59	133.7 c ±11.8
اگامکس Agamax	1.12 a ±0.08	0.31 a ±0.013	1.43 a ±0.09	38.10 c ±2.89	145.9 a ±1.80	14.3 a ±0.57	159.0 a ±12.6

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن فاقد اختلاف آماری معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشند.

Values within the each column and followed by the same letter are not different at $P \leq 0.05$ by Duncan's Multiple Range Test.

به عقیده برخی محققین در طول دوره تنش، قندها به عنوان یکی از مکانیسم‌های مقاومت عمل می‌کنند (Bai et al., 2013). اعتقاد بر این است که در بسیاری از گیاهانی که توانایی افزایش قندهای محلول را در اندام خود دارند توانایی مقاومت در برابر تنش را نیز دارند (Kirkegaard et al., 2008). تجمع قندهای ساده که در اثر سازگاری به تنش خشکی اتفاق می‌افتد در پایداری غشاء نیز نقش دارد و باعث حفاظت غشاء در مقابل خسارت پس‌آبیدگی می‌شود. بر اساس تحقیقات پیشین، قندهای محلول می‌توانند نقش مهمی در تنظیم اسمزی سلول‌ها ایفاء نمایند و برخی گیاهان مانند کلزا از طریق تجمع مقدار زیادی مواد محافظت‌کننده اسمزی مانند قندهای محلول می‌توانند به طور چشمگیری نسبت به تنش‌های دمای بالا و خشکی مقاومت نمایند و ظرفیت پایین در تجمع محافظت کننده‌های اسمزی مانند قندها یکی از دلایل ضعف گیاهان در شرایط تنش عنوان شده است (Bai et al., 2013). از طرفی تنش دمای پایین می‌تواند سبب بروز خسارت به غشای سلولی و ایجاد اختلال در انتقال مولکول‌ها و یون‌ها از طریق کانال‌ها و پمپ‌های موجود در غشاء گردد که این امر می‌تواند یکی از دلایل مهم ناتوانی ارقام در انتقال قندها از برگ به دانه و افزایش میزان قند در برگ گیاهان باشد. افزایش قندها در گیاه کلزا تحت تنش خشکی توسط محققین (Kirkegaard et al., 2008) گزارش شده است. همبستگی منفی (**۰/۸۷-) این صفت با عملکرد دانه نیز نشان می‌دهد که ارقامی تجمع قندهای محلول در برگ خود بنحوی باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد که قندهای محلول یکی از عوامل مقاومت به تنش در ارقام متحمل در این چنین آزمایش‌هایی باشند. محققین اظهار داشتند که قندهای محلول در گیاه کلزا می‌تواند تأثیرات مضر خشکی بر خصوصیات رشد، عملکرد و اجزاء عملکرد را کاهش دهد (Kirkegaard et al., 2012).



شکل ۱- اثر سه‌گانه تاریخ کاشت، آبیاری و رقم بر میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ کلزا

Fig. 1-Three way intraction of sowing date, irrigation and cultivars on total carbohydrate solution of canola

D_1: تاریخ کاشت ۱۵ مهر، D_2: تاریخ کاشت ۵ آبان، IR_1: بدون قطع آبیاری، IR_2: قطع از مرحله خورجین‌دهی به‌بعد،

D_1: October 6th, D_2: October 26th; IR_1: Without water holding, IR_2: Water holding at pod stage

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن فاقد اختلاف آماری معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

Values within the each column and followed by the same letter are not different at $P < 0.05$ by Duncan's Multiple Range Test.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح تاریخ کاشت، آبیاری و رقم در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار بودند. همچنین اثر متقابل تاریخ کاشت و آبیاری بر ارتفاع بوته معنی-دار بودند (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح تاریخ کاشت بر ارتفاع بوته نشان داد که بیشترین ارتفاع مربوط به تاریخ ۱۵ مهر با میانگین ۱۴۸/۹ سانتی‌متر بود و نسبت به تاریخ کاشت ۵ آبان برتری معنی‌داری داشت (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح آبیاری بر ارتفاع بوته نشان داد که آبیاری معمول با میانگین ۱۴۶/۸ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع بوته را داشت و نسبت به قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد برتری معنی‌داری داشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر رقم بر ارتفاع نشان داد که ارقام Trapper و Agamax به ترتیب با میانگین‌های ۱۴۵/۶ و ۱۴۵/۹ سانتی‌متر بیشترین ارتفاع را در بین ارقام داشتند (جدول ۲). دیگر محققین در بررسی عکس‌العمل سه رقم کلزای پاییزه به چهار رژیم آبیاری قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد، قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی، قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه به بعد و تیمار آبیاری معمول (شاهد) مشاهده کردند که قطع آبیاری (تنش خشکی) موجب کاهش معنی‌دار صفات مورفولوژیک (ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و

طول خورجین)، عملکرد دانه و اجزای عملکرد (تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه) و عملکرد روغن گردید (Hassan zade et al., 2005).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح تاریخ کاشت و آبیاری بر تعداد شاخه در بوته معنی‌دار بودند (جدول ۱). نتایج حاکی از آن بود که تاریخ کاشت ۱۵ مهر با میانگین ۱۵/۳۴ شاخه بیشترین تعداد شاخه در بوته را داشت و کاشت دیرهنگام (۵ آبان) باعث کاهش تعداد شاخه در بوته شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر آبیاری بر تعداد شاخه در بوته نشان داد که آبیاری معمول با میانگین ۱۰۵/۶ میلی‌متر نسبت به قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد برتری معنی‌دار داشت (جدول ۲). این نتایج با نتایج به‌دست آمده از بررسی مشابه که توسط جمشیدی و همکاران (Jamshidi et al., 2012) مطابقت دارد.

جدول ۳- اثر متقابل دوگانه آبیاری در تاریخ کاشت بر صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد کلزا

Table 3- Two-way interaction between irrigation and sowing date on physiological traits, yield and yield components

تیمار Treatment		صفات Traits			
تاریخ کاشت Sowing date	رژیم های آبیاری Irrigation regimes	کربوهیدرات‌های محلول (میکروگرم بر گرم وزن تازه) Total solution carbohydrate (µg/g/FW)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	تعداد خورجین در بوته No. of pods per plant	درصد روغن دانه Oil Percentage
۱۵ مهرماه October 6th	بدون قطع آبیاری Without water holding	27.7 d ± 0.56	152.4 a ± 0.83	205.5 a ± 4.10	45.2 a ± 0.17
	قطع از مرحله خورجین‌دهی به‌بعد Water holding at pod stage	34.6 c ± 0.83	145.4 b ± 0.68	164.4 b ± 3.94	43.9 b ± 0.18
۵ آبان ماه October 26th	بدون قطع آبیاری Without water holding	45.6 b ± 1.09	141.2 c ± 0.50	127.2 c ± 3.47	42.8 c ± 0.14
	قطع از مرحله خورجین‌دهی به‌بعد Water holding at pod stage	54.6 a ± 0.89	138.5 d ± 0.74	97.8 d ± 3.27	42.2 d ± 0.15

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌داری در سطح پنج درصد می‌باشند.

Values within the each column and followed by the same letter are not different at $P < 0.05$.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح تاریخ کاشت، آبیاری و رقم در سطح ۱ درصد بر تعداد خورجین در بوته معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل تاریخ کاشت × آبیاری در سطح ۵ درصد بر تعداد خورجین در بوته معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح تاریخ کاشت بر تعداد خورجین در بوته نشان داد که تأخیر در کاشت باعث کاهش شدید تعداد خورجین در بوته شد. تاریخ کاشت ۱۵ مهر با میانگین ۱۸۴/۹ خورجین بیشترین مقدار را داشت و نسبت به تاریخ کاشت ۵ آبان با ۱۱۲/۵ خورجین برتری قابل توجهی داشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح آبیاری بر تعداد خورجین در بوته نشان داد که آبیاری معمول با میانگین ۱۶۶/۳ خورجین بیشترین تعداد خورجین را داشت و نسبت به قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد برتری داشت (جدول ۲). ارقام Trapper و Agamax به ترتیب با ۱۵۹/۷ و ۱۵۹ خورجین، بیشترین تعداد خورجین در بوته را داشتند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تاریخ کاشت × آبیاری بر تعداد خورجین در بوته نشان داد که تیمار آبیاری معمول در تاریخ کاشت ۱۵ مهر بیشترین تعداد خورجین در بوته را داشت. نتایج همچنین بیانگر این بود که در هر تاریخ کاشت، آبیاری معمول نسبت به قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد از نظر تعداد خورجین در بوته برتری معنی‌داری داشت (جدول ۳). کشت دیر هنگام کلزا سبب شد تا گیاه با گیاهچه‌های ضعیفی وارد زمستان شود. در نتیجه در اثر سرمای زمستان آغازی‌های گلچه‌ها آسیب دیدند. از طرفی، بعد از زمستان نیز با بوته‌های ضعیف‌تری گلدهی انجام شد و تعداد گلچه کمتری به خورجین تبدیل شد. اوزر (Ozer, 2003) عنوان کرد که بین تجمع ماده خشک در طول دوره رشد رویشی تا زمان گلدهی و تعداد خورجین در بوته رابطه خطی وجود دارد. وی دلیل کاهش تعداد خورجین گیاه در تاریخ کاشت‌های دیرتر که عامل اصلی در کاهش عملکرد دانه است را ضعیف بودن بوته‌ها در زمان گلدهی دانسته است.

جدول ٤- تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزاء عملکرد کلزا تحت تاثیر تیمارهای آبیاری، تاریخ کاشت و رقم

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of physiological traits, yield and yield components of canola affected as different regimes, sowing date and cultivars

منابع تغیر Source of variation	درجه آزادی df	طول خورجین Pod length	تعداد دانه در خورجین No. of seeds per pod	وزن هزار دانه 1000 seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biomass yield	درصد روغن دانه Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield	شاخص برداشت Harvest index
بلوک Block	2	1.05^{ns}	20.43**	20.16*	409578^{ns}	5224993	1.12^{ns}	98942^{ns}	17.12^{ns}
تاریخ کاشت Sowing Date	1	86.37**	2028.19**	36028.64**	34157513**	64145972^{9**}	48.17**	7898046**	20.91
آبیاری Irrigation	1	20.29**	389.91**	7.18**	10510730*	12943914^{0**}	10.08**	2381082*	7.94^{ns}
آبیاری×تاریخ کاشت Sowing date×Irrigation	1	0.0003^{ns}	0.62^{ns}	0.06^{ns}	455.85^{ns}	1319804^{ns}	1.44*	13735^{ns}	3.67^{ns}
خطا کرت اصلی Main error	6	0.43	1.62	0.05	844164	3187036	0.21	184075	14.21
رقم Cultivar	3	2.95**	60.56**	10.07**	1454124*	21967231**	1.43**	323105*	1.31^{ns}
رقم× تاریخ کاشت Sowing date×cultivar	3	0.017^{ns}	0.86^{ns}	0.02^{ns}	15050^{ns}	244515	0.12^{ns}	4540^{ns}	1.44^{ns}
رقم×آبیاری Irrigation×Cultivar	3	0.005^{ns}	0.17^{ns}	0.01^{ns}	28060^{ns}	706804^{ns}	0.002^{ns}	3690^{ns}	0.39^{ns}
آبیاری×تاریخ کاشت×رقم Irrigation×Sowing date×cultivar	3	0.001^{ns}	0.67^{ns}	0.004^{ns}	3995^{ns}	219524^{ns}	0.0094^{ns}	635^{ns}	2.08^{ns}
خطای کرت فرعی Sub error	24	0.38	2.52	0.02	371088	597374	0.27	73507	40.51
ضریب تغییرات CV(%)		9.6	8.7	4.08	16.37	5.21	1.02	16.59	25.15

ns ،* و ** به ترتیب بدون اثر معنی‌دار و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

ns, * and ** significant at 0.01, 0.05 probability level and no significant, respectively.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح تاریخ کاشت، آبیاری و رقم بر طول خورجین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح تاریخ کاشت بر طول خورجین نشان داد که تاریخ کاشت ۱۵ مهر با میانگین ۷/۸ سانتی‌متر نسبت به تاریخ کاشت ۵ آبان برتری معنی‌داری داشت (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح آبیاری بر طول خورجین نشان داد که بیشترین طول خورجین از آبیاری معمول با میانگین ۷/۱ سانتی‌متر حاصل شد و نسبت به قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد برتری معنی‌داری داشت (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که ارقام Trapper و Agamax با میانگین ۶/۸ سانتی‌متر بیشترین طول خورجین را داشتند (جدول ۵). طول خورجین در کلزا از جمله صفاتی است که به‌طور غیرمستقیم بر عملکرد دانه تأثیرگذار است و ارقامی از کلزا که دارای طول خورجین بلندتری بوده‌اند، مطلوب‌تر هستند و علت آن را مربوط به افزایش ظرفیت تعداد دانه و افزایش سطح فتوسنتزکننده خورجین متناسب با افزایش طول آن دانسته‌اند (Ehteshami et al., 2014).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت، آبیاری و رقم بر تعداد دانه در خورجین در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). تاریخ کاشت ۱۵ مهر با میانگین ۲۴/۶ دانه نسبت به تاریخ کاشت تأخیری (۵ آبان) با میانگین ۱۱/۵ دانه برتری چشمگیری داشت (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر آبیاری بر تعداد دانه در خورجین نشان داد که آبیاری معمول با میانگین ۲۰/۹ دانه نسبت به قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد برتری معنی‌داری داشت (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر رقم بر تعداد دانه در خورجین نشان داد که ارقام Trapper و Agamax به ترتیب با میانگین‌های ۱۶/۹ و ۱۹/۸ دانه بیشترین تعداد دانه در خورجین را داشتند (جدول ۵). تعداد دانه در خورجین یکی از اجزای عملکرد کلزا است که با افزایش آن عملکرد گیاه افزایش می‌یابد. هرچه تعداد دانه در خورجین بیشتر باشد، مخزن بزرگ‌تری برای مواد فتوسنتزی تولید شده توسط گیاه ایجاد می‌شود که در نهایت منجر به افزایش عملکرد می‌گردد. احتشامی و همکاران (Ehteshami et al., 2014) دریافتند که افزایش تعداد دانه در خورجین یک عامل کلیدی در افزایش عملکرد ارقام جدید می‌باشد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تاریخ کاشت، آبیاری و رقم بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح تاریخ کاشت بر وزن هزار دانه نشان داد که بیشترین مقدار وزن هزار دانه از تاریخ کاشت ۱۵ مهر با میانگین ۴/۶ گرم بدست آمد و نسبت به تاریخ کاشت دوم (۵ آبان) برتری چشمگیری قابل مشاهده بود (جدول ۵).

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح آبیاری بر وزن هزار دانه نشان داد که آبیاری معمول با میانگین ۴/۱۸ گرم نسبت به قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد برتری معنی‌داری داشت (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر رقم بر وزن هزار دانه نشان داد که ارقام Trapper و Agamax به ترتیب با میانگین‌های ۴/۰۳ و ۴/۰ گرم بیشترین وزن هزار دانه را داشتند و از نظر آماری هم‌گروه بودند (جدول ۵). کاهش وزن هزار دانه به دنبال تنش خشکی احتمالاً به‌دلیل کاهش جذب آب و املاح توسط گیاه و به دنبال آن کاهش ساخت و انتقال مواد فتوسنتزی و آسیمیلات‌ها به دانه بوده است که در این شرایط گیاه حتی با انتقال مجدد ذخایر اندوخته شده خود نیز نتوانسته کاهش آسیمیلات ناشی از تنش را جبران نماید و این وضعیت منجر به کاهش وزن دانه‌ها گردیده است. گزارشات مشابهی در این زمینه ارائه شده است (Zhang et al., 2013).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تاریخ کاشت، آبیاری و رقم بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح تاریخ کاشت بر عملکرد دانه نشان داد که تاریخ کاشت ۱۵ مهر با میانگین ۴۵۷۲ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشت و نسبت به تاریخ کاشت ۵ آبان با میانگین ۲۸۶۷ کیلوگرم در هکتار اختلاف قابل توجهی داشت (جدول ۵). به نظر می‌رسد که کشت دیرهنگام کلزای پاییزه باعث می‌شود که گیاه با یک روزت ضعیف وارد فصل زمستان می‌شود و در نتیجه بوته‌ها در اثر سرمای زمستانه آسیب می‌بینند. بنابراین بعد از فصل زمستان و با گرم شدن هوا نمی‌تواند به اندازه کافی از شرایط محیطی جهت انجام فتوسنتز و تولید شیره پرورده استفاده کند. در این صورت پر شدن دانه‌ها زمانی واقع می‌شود که درجه حرارت محیط بالا بوده و گرمای زیاد مانع از پر شدن دانه‌ها می‌شود و میزان مواد متابولیکی ذخیره‌ای با تشدید تنفس کاهش خواهد یافت. در این شرایط خورجین‌های حاوی دانه‌های کوچک و پوک با وزن هزار دانه اندک تولید می‌شوند (Fallah et al., 2010) که در نهایت باعث کاهش عملکرد دانه کلزا خواهد شد. در این رابطه بیان شده که تأخیر در کاشت باعث کاهش رشد رویشی گیاه و درنتیجه کاهش مواد فتوسنتزی قابل انتقال به دانه‌ها در طی مرحله نمو آن‌ها می‌شود که با کاهش وزن هزار دانه و عملکرد دانه همراه است (Tobe et al., 2013).

نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح آبیاری بر عملکرد دانه نشان داد که قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد باعث کاهش عملکرد دانه شد. آبیاری معمول با میانگین ۴۱۹۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشت (جدول ۵). دیگر محققین اظهار داشتند هنگامی که گیاه در مرحله رشد خورجین‌ها با کمبود آب مواجه گردد، انتقال مواد غذایی به دانه‌ها تقلیل یافته و عملکرد کاهش می‌یابد که ناشی از کاهش تعداد و اندازه خورجین‌ها می‌باشد (Gholipoor et

جدول ۵- اثرات اصلی تیمار آبیاری، تاریخ کاشت و رقم بر صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد کلزا

Table 5- Main effect of irrigation, sowing date and cultivars treatment on physiological traits, yield and yield components of canola

تیمار Treatment	طول خورجین (سانتی‌متر) Pod lenght (cm)	تعداد دانه در خورجین No. of seeds per pod	وزن هزار دانه (گرم) 1000 seed weight (g)	عملکرد دانه Seed Yield (kg.ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biomass yield (kg.ha^{-1})	درصد روغن دانه Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield (kg.ha^{-1})
اثر اصلی تاریخ کاشت Main effect of sowing date							
۱۵ مهرماه October 6th	7.8 a ±0.20	26.6 a ± 0.75	4.62 a ± 0.09	4572.7 a ± 163	18503 a ± 501	44.5 a ± 0.17	2043 a ±79
۵ آبان ماه October 26th	5.1 b ±0.18	11.5 b ± 0.78	2.91 b ± 0.11	2867.7 b ± 161	11140 b ± 416	42.5 b ± 0.11	1223 b ±71
رژیم های آبیاری Irrigation regimes							
بدون قطع آبیاری Without water holding	7.1 a ±0.31	20.9 a ± 1.43	4.18 a ± 0.19	4190.1 a ± 218	16464 a ± 844	44.0 a ± 0.26	1857 a ±107
قطع از مرحله خورجین‌دهی به‌بعد Without water holding	5.8 b ±0.31	15.2 b ± 1.46	3.40 b ± 0.20	3250.3 b ± 220	13182 b ± 809	43.1 b ± 0.21	1409 b ±100
رقم Cultivar							
Trapper تریر	6.8 a ±0.46	16.9 a ± 2.09	4.03 a ± 0.28	4002.6 a ± 323	15956 a ± 1205	43.8 ab ±0.36	1764 ab ±154
Makro مارکو	6.2 b ±0.47	17.1 b ± 2.27	3.60 b ± 0.29	3527.6 ab ± 353	14058 b ±1247	43.3 bc ±0.34	1544 bc ±167
Smilla سمیلا	5.9 b ± 0.47	15.3 c ± 2.22	3.41 c ± 0.30	3325.9 b ± 321	13323 c ±1252	43.1 c ±0.34	1446 c ±150
Agamax اگامکس	6.8 a ± 0.48	19.8 a ± 2.18	4.02 a ± 0.29	4024.6 a ± 344	15954 a ±1280	43.8 a ±0.39	1778 a ±164

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، فاقد اختلاف آماری معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشند.

Values within the each column and followed by the same letter are not different at $P \leq 0.05$.

(al., 2004. گزارش شده کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش رطوبتی متأثر از کاهش اجزای عملکرد از جمله تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین، ارتفاع بوته و وزن ماده خشک بوده است (Molazem et al., 2013). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر رقم بر عملکرد دانه نشان داد که ارقام Trapper و Agamax به ترتیب با میانگین‌های ۴۰۰۲ و ۴۰۲۴ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشتند و از نظر آماری هم‌گروه بودند. کمترین عملکرد دانه مربوط به رقم Smilla بود (جدول ۵). بسیاری از محققان همبستگی مثبت بالایی بین تعداد خورجین در گیاه، تعداد شاخه در بوته، طول خورجین، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه با عملکرد دانه را گزارش کردند (Diepenbrock 2000; Fallah Haki et al., 2012). در تحقیق حاضر به جز غلظت کربوهیدرات‌های محلول برگ، بین اجزاء عملکرد و عملکرد دانه رابطه مستقیم معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۶). نتایج مشابهی با نتایج این تحقیق گزارش شده مبنی بر اینکه بین تعداد غلاف در دانه، تعداد دانه در غلاف و طول غلاف با عملکرد دانه رابطه مستقیمی وجود دارد (Sabaghian et al., 2006; Khan et al., 2006). همبستگی مثبت و معنی‌دار اجزاء عملکرد با عملکرد دانه مبین آن است که اثرات معنی‌دار تغییرات این صفات بر عملکرد دانه نیز تغییر خواهد گذاشت (جدول ۶). بر این اساس، تأخیر در کاشت موجب کاهش عملکرد دانه می‌گردد. به نظر می‌رسد دلیل اصلی افزایش عملکرد دانه در تاریخ کاشت مناسب، مساعد بودن درجه حرارت باشد که باعث می‌شود گیاه رشد رویشی سریعتر و بیشتری داشته باشد و در نهایت، بوته‌های قوی‌تر و با عملکرد دانه بیشتری تولید کند. عملکرد دانه رابطه مستقیم بالایی با تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه دارد. گزارش شده که کشت دیر هنگام کلزا موجب همزمانی گرده‌افشانی گیاه با دمای بالا می‌گردد که مجر به عقیمی گلچه‌ها، تسریع و کوتاه شدن زمان پر شدن دانه و در نهایت افت عملکرد دانه می‌شود (Pavlista et al., 2011). به‌طور کلی، کاهش یافتن زیست‌توده گیاه و کوتاه شدن دوره رشد رویشی و زایشی را می‌توان از دلایل مهم کاهش عملکرد در کشت‌های تأخیری عنوان کرد. مطالعات پاولیستا و همکاران Pavlista et (al., 2011) کاهش عملکرد دانه در تاریخ کاشت دیر هنگام را به کاهش در زیست‌توده در زمان رسیدگی مرتبط دانستند. در مطالعه‌ای در خصوص چگونگی اثر تاریخ کاشت بر روی خصوصیات فنولوژیکی و عملکرد دانه ارقام مختلف کلزا گزارش شده است که با تأخیر در تاریخ کاشت عملکرد دانه به طور معنی‌داری کاهش یافت. در واقع، با تأخیر در تاریخ کاشت، زمان مورد نیاز برای رشد رویشی و زایشی کوتاهتر شده و این امر منجر به کاهش عملکرد دانه گردید (Adamsen & Coffelt, 2005).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تاریخ کاشت، آبیاری و رقم بر عملکرد بیولوژیکی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح تاریخ کاشت بر عملکرد بیولوژیکی نشان داد که تاریخ کاشت ۱۵ مهر با میانگین حدود ۱۸۵۰۳ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد بیولوژیکی را داشت و نسبت به تاریخ کاشت ۵ آبان برتری قابل ملاحظه‌ای از خود نشان داد (جدول ۵). گزارش شده که با تأخیر در کاشت، روزت ضعیف‌تر باعث کاهش عملکرد بیولوژیکی می‌شود (Fanaei et al., 2008). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح آبیاری بر عملکرد بیولوژیکی نشان داد که آبیاری معمول با میانگین ۱۶۴۶۴ کیلوگرم در هکتار نسبت به شرایط تنش (قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد) برتری معنی‌داری داشت (جدول ۵). نتایج مقایسه ارقام از نظر عملکرد بیولوژیکی نشان داد که ارقام Trapper و Agamax به ترتیب با میانگین‌های ۱۵۹۵۶ و ۱۵۹۵۴ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد بیولوژیکی را داشتند (جدول ۵). عملکرد بیولوژیکی از چند جنبه حائز اهمیت است. از طرفی به دلیل اینکه دربرگیرنده عملکرد کاه است، می‌تواند از لحاظ اقتصادی مورد توجه قرار گیرد. چرا که علوفه کلزا از نظر پروتئین قابل هضم کیفیت خوبی برای دام دارد (Khajepour., 2005). از نظر فیزیولوژیکی نیز عملکرد بیولوژیکی معادل تولید خالص کل می‌باشد. بنابراین گیاهانی دارای عملکرد بالایی خواهند بود که با توجه به شرایط رشد خود از عوامل تولید بهترین استفاده را داشته و مواد فتوسنتزی بیشتری را در اندام‌های خود تجمع دهند و داری بیشترین تولید خالص باشند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح تاریخ کاشت، آبیاری و رقم بر میزان روغن دانه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل تاریخ کاشت × آبیاری بر میزان روغن دانه معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح تاریخ کاشت بر میزان روغن دانه نشان داد که تاریخ کاشت ۱۵ مهر با میانگین ۴۴/۵ درصد نسبت به تاریخ کاشت ۵ آبان برتری معنی‌داری از نظر درصد روغن داشت (جدول ۵). میزان روغن دانه صفتی با وراثت پذیری بالا می‌باشد که البته تا حدودی هم تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد. در میان عوامل محیطی موثر بر مقدار روغن دانه، دما مهمترین عامل محسوب می‌شود که با افزایش آن، افت شدیدی در درصد روغن دانه آشکار می‌شود. این اثر کاهنده دما بر درصد روغن در تاریخ‌های کاشت دیر مشهودتر می‌باشد (Fanaei et al., 2008). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر آبیاری بر میزان روغن دانه نشان داد که قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد باعث کاهش معنی‌دار در محتوای روغن دانه شد، اگرچه این کاهش جزئی بود (جدول ۵). در تحقیقی تنش خشکی در سطوح مختلف میزان روغن دانه را نسبت به شاهد کاهش داد، ولی بین سطوح مختلف تنش

تفاوت معنی‌داری از نظر میزان روغن دانه وجود نداشت (Naderi et al., 2004). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح رقم بر میزان روغن دانه نشان داد که ارقام Trapper و Agamax با میانگین ۴۳/۸ درصد بیشترین درصد روغن دانه را داشتند (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تاریخ کاشت × آبیاری بر میزان روغن دانه نشان داد که بیشترین میزان روغن دانه مربوط به تیمار آبیاری معمول در تاریخ کاشت ۱۵ مهر با میانگین ۴۵/۲ درصد بود (جدول ۳).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر تاریخ کاشت، آبیاری و رقم بر عملکرد روغن دانه معنی‌دار گردید (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح تاریخ کاشت بر عملکرد روغن دانه نشان داد که بیشترین میزان روغن دانه از تاریخ کاشت ۱۵ مهر با میانگین ۲۰۴۳ کیلوگرم در هکتار حاصل شد و نسبت به تاریخ کاشت ۵ آبان برتری معنی‌داری داشت (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح آبیاری بر عملکرد روغن دانه نشان داد که آبیاری معمول با میانگین ۱۸۵۷ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد روغن دانه را دارا بود که نسبت به قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد برتری معنی‌داری داشت (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر سطوح رقم بر عملکرد روغن دانه نشان داد که ارقام Agamax و Trapper به ترتیب با میانگین‌های ۱۷۷۸ و ۱۷۶۴ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد روغن دانه را داشتند (جدول ۵).

جدول ٦- ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات فیزیولوژیک، عملکرد و اجزاء عملکرد کلزا

Table 6- Pierson correlation coefficients between physiological traits, yield and yield components traits of canola

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	کلروفیل کل Total chlorophyll	1										
2	کربوهیدرات‌های محلول برگ Total solution carbohydrate	-0.97**	1									
3	ارتفاع بوته Plant height	0.88**	-0.90**	1								
4	تعداد شاخه در بوته No. of branches per plant	0.76**	-0.80**	0.71**	1							
5	تعداد خورجین در بوته No. of pods per plant	0.95**	-0.98**	0.93**	0.99**	1						
6	طول خورجین Pod length	0.91**	-0.93**	0.87**	0.91**	0.92**	1					
7	تعداد دانه در خورجین No. of seeds in pod	0.96**	-0.98**	0.91**	0.96**	0.97**	0.94**	1				
8	وزن هزار دانه 1000-seed weight	0.96**	-0.98**	0.90**	0.96**	0.97**	0.95**	0.97**	1			
9	عملکرد دانه Seed yield	0.90**	-0.87**	0.85**	0.87**	0.88**	0.85**	0.88**	0.88**	1		
10	عملکرد بیولوژیک Biomass yield	0.93**	-0.97**	0.89**	0.95**	0.97**	0.93**	0.97**	0.95**	0.87*	1	
11	درصد روغن دانه Oil percentage	0.91**	-0.90**	0.90**	0.92**	0.92**	0.86**	0.92**	0.91**	0.89**	0.91**	1
12	عملکرد روغن دانه Oil yield	0.90**	-0.88**	0.86**	0.88**	0.88**	0.86**	0.89**	0.89**	0.99**	0.88**	0.91**

**: معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد

*: Significant at 1% probability level.

نتیجه‌گیری

در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که تاریخ کاشت تأثر بسیار زیادی بر عملکرد، اجزاء عملکرد و روغن ارقام کلزا دارد. تغییر در تاریخ کاشت کلزا باعث می‌شود که مراحل نمو گیاه با عوامل اکولوژیک متفاوتی مواجه شود که این عوامل بر تولید این محصول اثرگذار است. با تأخیر در کاشت به دلیل از دست رفتن زمان‌های

مناسب برای رشد، گیاه به پتانسیل بالقوه خود نمی‌رسد. همچنین تأخیر در کاشت باعث برخورد مراحل پرشدن دانه و تجمع روغن با دمای بالاتر محیط شد که این شرایط کاهش عملکرد دانه و روغن را در پی داشت. نبود آبیاری آخر فصل منجر به تأثیر تنش خشکی در آزمایش شده و باعث تشدید اثر گرمای ناشی از تأخیر در کاشت می‌گردد. در بین ارقام مورد بررسی نیز Agamax و Smilla از بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه برخوردار بوده‌اند. عدم معنی‌دار بودن اثر متقابل رقم در تاریخ کاشت یا خشکی برای عملکرد دانه این صفت مبین آن است که کاهش عملکرد دانه ارقام ناشی از تیمارهای اعمال شده از روند مشابهی برخوردار بوده است.

منابع

Adamsen, F.J., and Coffelt, T.A. 2005. Planting date effects on flowering, seed yield and oil content of rape and crambe cultivars. Industrial Crops and Products 21(3): 293-307.

Aein, A. 2011. Changes in the amount of proline, carbohydrate solution and potassium, zinc and calcium absorption in sesame genotypes. (*Sesamum indicum* L.) under drought stress. Crop Production under Environmental Stress Conditions 4(3): 39-48. (In Persian with English Summary)

Arnon D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoxidase in beta vulgaris. Plant Physiology 24: 1-15.

Bai, J., Liu, J., Zhang, N., Sa, R., and Jiang, L. 2013. Effect of salt stress on antioxidant enzymes, soluble sugar and yield of oat. Advance Journal of Food Science and Technology 5(3): 303-309.

Delkhosh, B., Shirani Rad, A.H., Noor Mohammadi, G., and Darvish, F. 2005. Study of drought stress effects on yield and some agronomic and physiological characteristic in rapeseed. Journal of Agricultural Science 11(2): 165-176. (In Persian with English Summary)

Diepenbrock, W. 2000. Yield components of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. Field crops Research 67: 35-49.

Din, J., Khan, S.U., Ali, I., and Gurmani, A.R. 2011. Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. The Journal of Animal and Plant Sciences 21(1): 78-82.

Dubiso, M., Gilles, K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A., and Smith, F. 1965. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Annual Chemical 28: 350-356.

Ehteshami, S.M., Tehrani Aref, A., and Samadi, B. 2014. Effect of planting date on some phenological and morphological characteristics, yield and yield components of five rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi) 109(4): 111-120. (In Persian with English Summary)

El-Din, H., El-Beltagi, S., and Mohamed, A.A. 2010. Variations in fatty acid composition, glucosinolate profile and some phytochemical contents in selected oil seed rape (*Brassica napus* L.) cultivars. 61(2): 141-150.

Fallah Haki, M.H., Yadavi, A.R., Movahedi Dehnavi, M., and Bonyadi, M. 2012. Effect of planting date on physiologic and morphologic characteristics of four canola cultivars in Yasooj. Journal of Crop Production and Processing 2(4): 53-65. (In Persian with English Summary

Fallah Heki, M.H., Yadavi, A.R., and Movahhedi Dehnavi, M. 2010. Evaluation of oil, protein and grain yield of canola cultivars in different planting date in Yasouj region. Electronic Journal of Crop Production 4(2): 207-222. (In Persian with English Summary)

Fanaei, H.R., Galavi, M., Ghanbari Bongar, A., Solouki, M., and Naruoei-Rad, M.R. 2008. Effect of planting date and seeding rate on grain yield and yield components in two rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars under Sistan conditions. Iranian J ournal Crop Science 10(2): 15-30. (In Persian with English Summary)

Gholipoor, A., Latifi, N., Ghasemi Golezani, K., Aliary, H. and Moghaddam, M. 2004. Comparison of growth and grain yield of rapeseed cultivars under rainfed conditions. Agricultural Journal of Science, Nature Resource 11(1): 5- 13. (In Persian with English Summary)

Hassan-Zade, M., Naderi Darbaghshahi, M.R., and Shirani Rad, A.H. 2005. Evaluation of drought stress effects on yield and yield components of autumn rapeseed varieties in Isfahan region. Iranian Journal of Research in Agriculture 2(2): 51- 62. (In Persian with English Summary)

Jamshidi, N., Shirani rad, A.H., Takhtchin, F., Nazeri, P., and Ghaffari, M. 2012. Evaluation of rapeseed genotypes under drought stress condition. Journal of Crop Ecophysiology 6(3): 323-339. (In Persian with English Summary)

Kauseri, R.H., Athar, U.R., and Ashraf, M. 2006. Chlorophyll fluorescence: A potential indicator for rapid assessment of water stress tolerance in Canola. Pakistan Journal of Botany 38: 1501-1509.

Keerthi, P., Pannu, R.K., Dhaka, A.K. 2017. Effect of sowing dates and nitrogen levels on total dry matter and its partitioning at different growth stages and yield of Indian mustard (*Brassica juncea* L.). Agricultural Science Digest 37(1): 27-31.

Khajepour, M.R. 2001. Industrial plants. Publications Unit, University Jihad of Isfahan, Iran. 571 pages. (In Persion)

Khalili, M., Naghavi, M.R., Aboughadareh, A., and Talebzadeh, S.J. 2012. Evaluating of drought stress tolerance based on selection indices in spring canola cultivars (*Brassica napus* L.). Journal of Agricultural Science 4(11): 78-85.

Khan, F.A., Ali, S., Shakeel, A., Saeed, A., and Abbas, G. 2006. Correlation analysis of some quantitative characters in *Brassica napus* L. Journal of Agriculture Research 44:7-14.

Khan, M.A., Ashraf, M.Y., Mujtaba, S.M., Shirazi, M.U., Khan, M.A., Shereen, A., Mumtaz, S., Aqil Siddiqui, M., and Murtaza Kaleri, G. 2010. Evaluation of high yielding canola type Brassica genotypes/mutants for drought tolerance using physiological indices as screening tool. Pakestan Journal of Botany 42(6): 3807-3816.

Kirkegaard, J.A., Sprague, S.J., Dove, H., Kelman, W.M., Marcroft, S.J., Lieschke, A., Howe, G.N., and Graham, J.M. 2008. Dual-purpose canola-A new opportunity in mixed farming systems. Journal Australian of Agriculture Research 59: 291-302.

Kirkegaard, J.A., Sprague, S.J., Lilley, J.M., McCormick, J.I., Virgona, J.M., and Morrison, M.J. 2012. Physiological response of spring canola (*Brassica napus*) to defoliation in diverse environments. Field Crops Research 125: 61-68.

Molazem, D., Azimi, J., Ghasemi, M., Hanifi, M., and Khatami, A. 2013. Correlation analysis in different planting dates and plant density of canola *(Brassica napus* L.) varieties in Astara Region. Life Science Journal 10(1): 26-31.

Naderi, M.R., Nourmohammadi, G., Majidi, A., Darvish, F., and ShiraniRad, A.M. 2004. Evaluation of the response of three summer safflower varieties to drought stress. Journal of Agriculture Science 4: 14-3. (In Persian with English Summary)

Ozer, H. 2003. Sowing date and nitrogen rate effects on growth yield and yield components of two summer rapeseed cultivars. European Journal of Agronomy 19: 453-463.

Parida, A.K., Dagaonkar, V.S., Phalak M.S., and Aurangabadkar, L.P. 2008. Differential response of the enzymes involved in proline biosynthesis and degradation in drought tolerant and sensitive cotton genotypes during drought stress and recovery. Acta Physiologiae Plantarum 30: 619-627.

Pavlista, A.D., Isbell, T.A., Baltensperger, D.D., and Hergert, G.W. 2011. Planting date and development of spring-seeded irrigated canola, brown mustard and camelina. Industrial Crops and Products 33: 451-456.

Pirdashti, H., Tahmasebi Sarvestani Z., and Bahmanyar, M.A. 2009. Comparison of physiological response among four contrast rice cultivars under drought stress conditions. World Academy of Science, Engineering and Technology 49: 52-53.

Rameeh, V. 2014. Evaluation of planting dates effects on growth, phenology and seed yield of spring rapeseed varieties. Oil Plant Production 1(1): 79-89. (In Persian with English Summary)

Sabaghnia, N., Dehghani, H., Alizadeh, B., and Mohghaddam, M. 2010. Interrelationships between seed yield and 20 related traits of 49 canola (*Brassica napus* L.) genotypes in non-stressed and water-stressed environments. Spanish Journal of Agricultural Research 8(2): 356-370.

SAS Institute Inc. 2002. The SAS System for Windows, Release 9.0. Cary, NC, USA: Statistical Analysis Systems Institute.

Sepehri, A., and Golparvar, AR. 2011. The effect of drought stress on water relations, chlorophyll content and leaf area in canola cultivars (*Brassica napus* L.). Electronic Journal of Biology 7(3): 49-53.

Sieling, K., Böttcher, U., and Kage, H. 2017. Sowing date and N application effects on tape root and above-ground dry matter of winter oilseed rape in autumn. European Journal of Agriculture 83:40-46.

Tobe, A., Hokmalipour, S., Jafarzadeh, B., and Hamele Darbandi, M. 2013. Effect of sowing date on some phenological stages and oil contents in spring canola (*Brassica napus* L.) cultivars. Middle-East Journal of Scientific Research 13 (9): 1202-1212.

Zhang, H., Berger, J.D., and Milroy, S.P. 2013. Genotype × environment interaction studies highlight the role of phenology in specific adaptation of canola (*Brassica napus*) to contrasting Mediterranean climates. Field Crops Research 144: 77-88.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 261-276

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۲۷۶-۲۶۱

The Effect of Planting Date and Late Season Drought Stress on Eco-Physiological Characteristics of the New Varieties of Canola (*Brassica napus* L.)

P. Nazeri[1], A.H. Shirani Rad*[2], S.A. Valad Abadi[3], M. Mirakhori[4], and E. Hadidi Masoule[3]

Submitted: 09-09-2017
Accepted: 22-02-2018

Nazeri, P., Shirani Rad, A.H., ValadAbadi, S.A., Mirakhori, M., and Hadidi Masoule, E. 2019. The effect of planting date and late season drought stress on Eco-physiological characteristics of the new varieties of Canola (*Brassica napus* L.). Journal of Agroecology. 11(1):261-276.

Introduction

Development of new canola (*Brassica napus* L.) varieties need effective tools to monitor characterizes association in yield and its components. Although, determination of the response of canola cultivars to environmental variables is one of the principal of agriculture planning to achieve maximum qualitative and quantitative yield. Drought stress and planting date are the most important factor which limit yield production in arid and semiarid regions. Iran is considered as the arid and semiarid with average rainfall of 250 mm. On the other hand, 33% of agricultural land is devoted to dry cultivation. Changing plant date will change yield and product quality by affecting on vegetative and reproductive growth period and balance between them.

Materials and Methods

In order to study the responses of four winter canola cultivars to late season drought stress and different planting dates on physiological, morphology characteristics and yield, a split factorial experiment was carried out in Randomized Complete Block Design with three replication in 2011-2012 in Karaj province. Planting date in two levels, normally sowing dates and delayed planting date and irrigation in two levels, normal and cutting off irrigation from pod stage to next, both in main plot and four cultivars included (Trapper, Makro, Smilla and Agamax) in sub plot. Drought stress was applied by control of irrigation during the pod lengthening stage. Thus, drought was applied by withholding water when the first pod appeared at the beginning of pod filling (April 27th). At this stage, chlorophyll and total sugar solution content was measured as index of drought stress damage. Eleven traits were measured on 10 random plant/plot at physiological maturity stage (June 24th). The traits were plant height, no. of branches/plot, number of pods /plant, pod length, number of seeds/plant,1000-seed weight, seed yield, biomass yield, oil percentage, oil yield and harvest index.

Results and Discussion

The results showed all characteristics except harvest index, significantly ($p\leq0.05$) were influenced by planting date, drought and cultivars. Interaction of sowing date in irrigated was significant in attributes of soluble carbohydrates, plant height, number of pods per plant and oil content. The triple effect was significant only in the concentration of soluble carbohydrates. Due to late planting and irrigation disruption, increasing in soluble carbohydrates and reducing the concentration of chlorophyll was occurred. The yield components of canola decreased because of delays in planting and irrigation disruption which leads to lower grain and canola oil yield. Among cultivars, two cultivars Trapper and Agamax narrowly to each other had better outperformed comparing to Smilla and Marko. Using different sowing dates can change the time of plant growth and development, helping the plant to survive better, under the stress of heat and drought. Water stress along with end of the season delayed planting, reduces yield components and increasing concentrations of soluble carbohydrates. Non-significant interaction effects of planting dates and cultivars for seed and oil yield indicated that yield reduction of the cultivars in late planting dates had similar trend. Drought not only causes dramatic loss of pigments but also leads to disorganization of thylakoid membranes. Therefore reduction in chlorophyll contents is expected.

1 and 3 - Ph.D. Student and Assistant Professor, Agronomy Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islami Azad University, Takestan Branch, Takestan, respectively
2-Professor of Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
4- Ph.D Graduated Student, Agronomy Department, Islami Azad University, Tabriz Branch, Tabriz
(*- Corresponding Author Email: Shirani.rad@gmail.com)
DOI:10.22067/jag.v11i1.67311

The sowing date may influence plant growth that can be attributed to the favorable climatic conditions (rain and temperature).

Conclusion

Correlation between drought tolerance and yield in all cultivars, identify the most suitable indicators for monitoring drought tolerance cultivars. According to these results, Trapper and Agamax can be recommended for semiarid regions due to maximum seed and oil yield among the stress and non-stress condition. Delayed planting decrease seed oil percent, grain and oil yield of Smilla and Makro than the other cultivars.

Keywords: Canola, Chlorophyll, Delayed planting, Yield and component yield, Water deficit

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۲۹۴-۲۷۷

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 277-294

مستندسازی فرآیند تولید و تحلیل عوامل محدودکننده عملکرد ارقام اصلاح شده برنج (*Oryza sativa* L.) به روش CPA در منطقه نکا

احمد گرجی‌زاد[۱]، افشین سلطانی[۲]، سلمان دستان[۳]* و حسن عجم نوروزی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۱۰

گرجی‌زاد، ا.، سلطانی، ا.، دستان، س.، و عجم نوروزی، ح. ۱۳۹۸. مستندسازی فرآیند تولید و تحلیل عوامل محدودکننده عملکرد ارقام اصلاح شده برنج (*Oryza sativa* L.) به روش CPA در منطقه نکا. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱(۱):۲۹۴-۲۷۷.

چکیده

کمی‌سازی خلاء عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) برای دانستن امکان رسیدن به عملکرد بالاتر و برنامه‌ریزی‌های مناسب ضرورت دارد. بنابراین، این پژوهش با هدف مستندسازی فرآیند تولید و برآورد خلاء عملکرد برنج مرتبط با مدیریت زراعی ارقام اصلاح شده برنج در منطقه نکا واقع در استان مازندران انجام شد. به این منظور در این پژوهش کلیه عملیات مدیریتی انجام شده از مرحله تهیه بستر بذر تا برداشت در ۱۰۰ مزرعه از طریق مطالعات میدانی طی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ ثبت شد. نتایج نشان داد که از حدود ۱۵۰ متغیر مورد بررسی، مدل نهایی با هشت متغیر مستقل انتخاب شد. در مدل عملکرد، متوسط و حداکثر عملکرد به‌ترتیب ۷۱۹۴ و ۹۲۴۱ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد. متوسط و حداکثر عملکرد مشاهده شده در مزرعه نیز برابر ۷۱۷۸ و ۸۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. کل خلاء عملکرد تخمین زده شده برابر ۲۰۴۷ کیلوگرم در هکتار بود. میزان افزایش عملکرد مربوط به متغیرهای تناوب زراعی و بذر گواهی شده به ترتیب برابر ۱۱۱ و ۱۴۱ کیلوگرم در هکتار بود. مقدار افزایش عملکرد مربوط به اثر کود سرک و پتاسیم مصرفی نیز به‌ترتیب برابر ۳۲۷ و ۶۷۴ کیلوگرم در هکتار معادل ۱۶ و ۳۳ درصد از کل خلاء عملکرد بود. همچنین، میزان افزایش عملکرد مربوط به متغیر مصرف نیتروژن بعد از گلدهی و محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها به‌ترتیب برابر ۳۲۴ و ۲۱۴ کیلوگرم در هکتار معادل ۱۶ و ۱۰ درصد از کل خلاء عملکرد بود. میزان خسارت عملکرد ناشی از دو متغیر پیش‌کاشت کلزا و تاریخ بذرپاشی در خزانه به‌ترتیب برابر دو و ۱۱ درصد از کل افزایش عملکرد (۳۴ و ۲۲۳ کیلوگرم در هکتار) بود. بنابراین، بر اساس برازش رابطه بین عملکرد مشاهده شده و عملکرد پیش‌بینی شده می‌توان بیان کرد که دقت مدل (معادله تولید) مناسب بوده و می‌تواند برای برآورد میزان خلاء عملکرد و تعیین سهم هر یک از متغیرهای محدود کننده عملکرد به‌کار گرفته شود. لذا، مدیریت زراعی هشت متغیر وارد شده در معادله تولید در مزارع کشاورزان می‌تواند منجر به افزایش عملکرد و کاهش خلاء عملکرد شود.

واژه‌های کلیدی: تحلیل مقایسه کارکرد، تناوب زراعی، کود سرک، عملکرد دست‌یافتنی، محلول‌پاشی

مقدمه

ظرفیت نهایی تولید غذا در جهان از طریق میزان زمین‌های مناسب و منابع آب در دسترس برای تولید محصولات زراعی و همچنین محدودیت‌های بیوفیزیکی رشد گیاهان زراعی محدود می‌شود (Van Ittersum et al., 2013). از بین بردن فاصله بین عملکردی که در حال حاضر در مزارع به‌دست می‌آید و عملکردی که می‌تواند با استفاده از بهترین ارقام سازگار با محیط و مناسب‌ترین روش‌های مدیریت آب، خاک و گیاه به‌دست آید، راهکاری کلیدی برای غلبه بر چالش تغذیه‌ای جمعیت در حال رشد جهان است (Hochman et al., 2013). انتظار تأمین تقاضای شدید غذایی از طریق افزایش سطح زیر کشت قابل

۱و ۳- دانشجوی دکتری و استادیار گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان
۲- استاد گروه تولیدات گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۴- محقق دوره پسادکتری زراعت مولکولی، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی کرج
(*- نویسنده مسئول: (Email: dastan@abrii.ac.ir
DOI:10.22067/jag.v11i1.67430

توجیه نیست، زیرا در ابتدا زمین‌های مناسب برای کشاورزی کم بوده و سپس تقاضای زمین برای کاربری‌های غیرکشاورزی افزایش یافته است؛ لذا، در کشورهای در حال توسعه انتظار می‌رود که ۸۰ درصد رشد در تولید محصولات زراعی از طریق افزایش عملکرد در واحد سطح و افزایش فشرده‌سازی زراعی و ۲۰ درصد باقی‌مانده توسط افزایش سطح زیر کشت حاصل شود (Bruinsma, 2009).

یکی از مشکلات اساسی تولید گیاهان زراعی در کشور ایران، اختلاف زیاد بین عملکرد واقعی کشاورزان و عملکرد قابل‌حصول است. آنالیز خلاء عملکرد یک تخمین کمی از امکان افزایش ظرفیت تولید را فراهم می‌کند که یک جزء مهم در طراحی راهبردهای تأمین غذا در مقیاس منطقه‌ای، ملی و در سطح جهانی است (van Wart et al., 2013). خلاء عملکرد اختلاف بین عملکرد پتانسیل با عملکرد واقعی به‌دست آمده از مزرعه تحت شرایط مطلوب مدیریتی تعریف می‌شود (Lobell et al., 2009; van Ittersum et al., 2013). تحلیل مقایسه کارکرد (CPA[۲]) یکی از روش‌هایی است که برای کمی کردن خلاء عملکرد استفاده می‌شود. با استفاده از این روش محدودیت‌های اصلی عملکرد و توابع کمی شده برای خلاء عملکرد تعیین می‌شود. در روش CPA با استفاده از رگرسیون چندگانه و با روش گام‌به‌گام (Soltani et al., 2016)، محدودیت‌های عملکرد و مدل تولید تعیین می‌شود. با استفاده از معادله تولید و مقادیر مؤلفه‌های مدل سهم هر یک از محدودیت‌ها در ایجاد خلاء عملکرد مشخص می‌شود (De Bie, 2000).

در زمینه آنالیز خلاء عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) در جهان می‌توان به آنالیز خلاء عملکرد برنج در نظام‌های کاشت رایج و ارگانیک در مدیترانه (Delmotte et al., 2011)؛ تعیین عوامل مؤثر بر تنوع عملکرد برنج غرقابی در در جنوب مرکزی بنین (Tanaka et al., 2013)؛ تعیین عوامل رکود عملکرد برنج در نظام‌های کاشت غرقابی در دره رودخانه سنگال (Tanaka et al., 2015)؛ آنالیز خلاء عملکرد نظام‌های کاشت برنج در آمریکا (Espe et al., 2016a, b)؛ شبیه‌سازی خلاء عملکرد برنج در دنیا (Mueller et al., 2012)؛ تعیین خلاء عملکرد برنج غرقابی در کشور چین (Xu et al., 2016) و آنالیز خلاء عملکرد برنج با استفاده از مدل‌سازی در فیلیپین (Silva et al., 2017) اشاره کرد. همچنین، Kayiranga (2006) نیز خلاء عملکرد برنج را ۱۸۵۵ کیلوگرم در هکتار برآورد کرد. دیگر محقق نیز نشان داد که به ترتیب کود با ۳۳ درصد، کمبود آب با ۲۶ درصد، برداشت دیرهنگام با ۱۸ درصد، وجین دستی در نوبت دوم با ۱۶ درصد و به تعویق افتادن نشاکاری با هفت درصد، مهم‌ترین عوامل ایجاد خلاء عملکرد در برنج به میزان ۲۳۶۵ کیلوگرم در هکتار بودند (Rajapakse, 2003).

در سال‌های اخیر به‌علت نگرانی‌های به‌وجود آمده در مورد مباحث امنیت غذایی، مطالعات نیز در این زمینه در سطح جهان (Lobell et al., 2009; van Ittersum et al., 2013; Wang et al., 2015) و ایران (Habibi et al., 2019a; Haghshenas et al., 2018; Halalkhor et al., 2018; Kamkar et al., 2007; Nezamzadeh et al., 2019; Soltani et al., 2016; Yousefian et al., 2018) رو به افزایش است و نیاز است تا با روش‌های آماری مناسب اقدام به برآورد میزان خلاء عملکرد و دلایل آن و شناسایی عوامل محدودکننده عملکرد پتانسیل کرد (Hajarpour et al., 2015). مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که اولین قدم برای کاهش خلاء عملکرد، مشخص کردن متغیرهای مهم محدودکننده عملکرد است. شناخت صفات محدودکننده عملکرد می‌تواند محققان را در تلاش برای کاهش خلاء عملکرد یاری دهد. کاهش خلاء عملکرد نه تنها به افزایش عملکرد و تولید کمک می‌کند، بلکه کارایی استفاده از زمین و نیروی انسانی را بهبود می‌بخشد که در نتیجه هزینه تولید را کاهش و پایداری عملکرد را افزایش می‌دهد. از این‌رو، کمی‌سازی خلاء عملکرد برای دانستن امکان رسیدن به عملکرد بالاتر و برنامه‌ریزی‌های مناسب ضرورت دارد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی و اقلیم منطقه

این آزمایش در منطقه نکا واقع در شرق استان مازندران طی سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ انجام شد. شهرستان نکا در قسمت شمالی رشته‌کوه‌های البرز و جنوب دریای خزر و در شمال ایران در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۹ دقیقه غربی و در ۲۲ کیلومتری جنوب دریای خزر قرار دارد. آب‌و هوای قسمت جلگه‌ای نکا مطلوب و معتدل و آب‌وهوای قسمت کوهستانی آن سردسیری است. مساحت اراضی شالیزاری در شهرستان نکا حدود ۱۰ هزار هکتار بوده که معادل ۴/۳ درصد از کل اراضی شالیزاری در سطح استان مازندران است. کشت غالب ارقام اصلاح‌شده و پرمحصول در منطقه نکا شامل ارقام شیرودی، ندا و فجر هستند.

مهم‌ترین مؤلفه‌های آب‌وهوایی در طی دوره نمو و رشد گیاه برنج در منطقه نیز در جدول ۱ ارایه شده است. داده‌های هواشناسی شامل دمای متوسط، دمای کمینه و بیشینه (درجه سانتی‌گراد)، رطوبت نسبی (درصد)، ساعت آفتابی، تبخیر و تعرق (میلی‌متر) و بارندگی (میلی‌متر) از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک دشت‌ناز با طول جغرافیایی ۵۲ درجه

2- Comparative performance analysis

و ۴۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۷ دقیقه با ارتفاع ۲۹ متر از سطح دریای آزاد جمع‌آوری شد (جدول ۱). برای محاسبه تابش خورشیدی (مگاژول در مترمربع در روز) از برنامه Srad_calc استفاده شد که از ضرایب انگستروم در برنامه استفاده شد (Soltani & Maddah, 2010). این برنامه از داده‌های ساعت آفتابی هر منطقه برای محاسبه تابش خورشیدی استفاده می‌کند. برای محاسبه طول روز از برنامه PP_calc استفاده شد (Soltani & Maddah, 2010).

جمع‌آوری داده‌ها

مستندسازی فرآیند تولید در کشاورزی شامل تهیه کلیه اطلاعات و فعالیت‌هایی است که سیر تولید یک محصول از مرحله تهیه بستر بذر تا برداشت را نشان می‌دهد (Dastan et al., 2017; Habibi et al., 2019b, Torabi et al., 2019). به این منظور در این پژوهش کلیه عملیات‌های مدیریتی انجام شده از مرحله شخم اولیه و تهیه خزانه تا برداشت مربوط به ۱۰۰ مزرعه در منطقه نکا واقع در استان مازندران به‌صورت پیمایشی و از طریق مطالعات میدانی برای برآورد خلاء عملکرد ثبت شد. برای تعیین تعداد مزارع (نمونه) از فرمول کوکران استفاده شده است. تمامی مزارع مورد مطالعه متعلق به ارقام اصلاح شده یا پرمحصول بود. مشخصات ارقام در جدول زیر ارایه شده است (جدول ۲).

برای انجام این تحقیق ابتدا مزارع به‌طور تصادفی شناسایی و انتخاب شدند. شیوه شناسایی مزارع به شکلی بود که کلیه روش‌های عمده تولید را در منطقه پوشش داده و از لحاظ مدیریتی نیز دارای تنوع باشد. سپس، برای جمع‌آوری اطلاعات مربوط به مدیریت مزرعه، ابتدا کلیه اعمال زراعی تفکیک شدند. با شروع هر عملیات، با توجه به نوسانات دمایی، تنوع روش‌های تولید و مقادیر مختلف کاربرد نهاده‌ها (ورودی‌ها) توسط کشاورزان منطقه و به‌منظور تهیه اطلاعات جامع‌تر، اطلاعات بارز عملیات زراعی از قبیل تاریخ شروع هر عملیات و میزان ورودی‌ها در هر مرحله از اجرا (کاشت تا برداشت) از مزارع جمع‌آوری و ثبت شد.

جدول ۱- میانگین مؤلفه‌های آب و هوایی در دوره آزمایش در مقایسه با میانگین آمار بلند مدت ۱۵ ساله (۱۳۹۵-۱۳۸۰)

Table 1- Description of climatic parameters in the experiment period (2015-2016) and mean term period (2001-2016)

ماه Month	دمای کمینه Min. temp. (°C)	دمای بیشینه Max. temp. (°C)	متوسط دما Mean. temp. (°C)	تبخیر و تعرق Evaporation (mm)	بارندگی Rain (mm)	رطوبت نسبی Mean humidity (%)	ساعت آفتابی کل Sunshine hours	تابش خورشیدی Solar radiation ($MJ.m^{-2}.d^{-1}$)
فروردین Apr.	9.5	19.5	14.5	71.8	98.7	76	157.7	14.7
اردیبهشت May	15.8	25.2	20.4	115.9	27.0	77	168.8	17.0
خرداد Jun.	19.2	28.6	23.9	154.4	23.7	76	252.2	22.2
تیر Jul.	22.2	31.4	26.8	169.4	59.4	75	238.0	21.3
مرداد Aug.	22.6	33.5	28.0	193.9	6.7	73	269.5	21.9
شهریور Sep.	21.2	32.0	26.6	156.6	99.3	71	240.5	18.6
دوره ۱۵ ساله Mean 15 years	18.3	25.2	22.8	147.6	89.0	73.5	208.8	19.5

در این بررسی‌ها شیوه انجام هر عملیات مدیریتی در هر یک از مراحل کاشت، داشت و برداشت و همچنین نسبتی از کشاورزان که از شیوه‌های مختلف هر یک از این عملیات مدیریتی استفاده کردند، مشخص شد. کلیه اطلاعات مربوط به مدیریت زراعی شامل عملیات تهیه بستر بذر (نوع، تعداد و زمان شخم، دیسک و غیره)، رقم مورد استفاده و محل تهیه بذر آن، زمان کاشت، کود (نوع کود، میزان کود و زمان مصرف کود)، مبارزه با آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، آبیاری (تعداد و زمان آبیاری) و مسایل مربوط به برداشت (زمان برداشت و میزان عملکرد) جمع‌آوری شد. این اطلاعات در قالب پرسش‌نامه و از طریق مصاحبه رو در رو با ۱۰۰ کشاورز جمع‌آوری و تکمیل شد. در پایان فصل رشد میزان عملکرد واقعی برداشت شده توسط کشاورزان ثبت شد.

جدول ۲- تشریح مشخصات ارقام برنج مورد بررسی در آزمایش

Table 2- Description of rice cultivars characteristics in the experiment

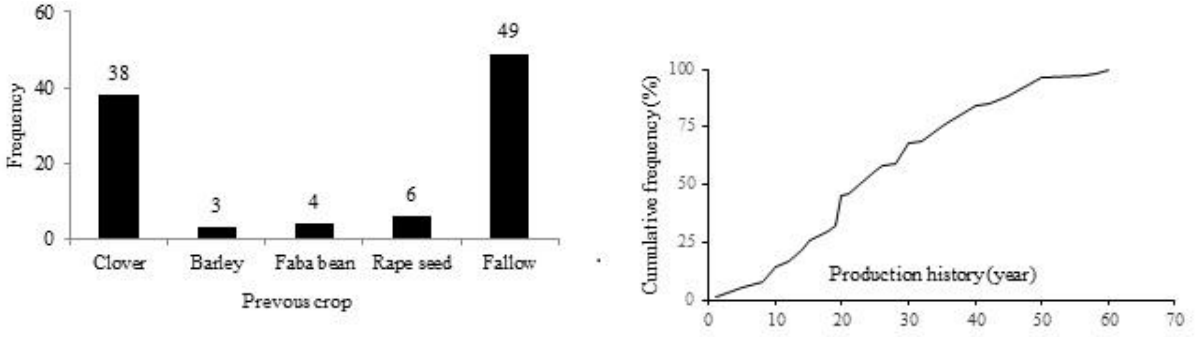
رقم Cultivar	وضعیت رشدی Growth condition	وضعیت رسیدگی Maturity condition	میزان عملکرد Paddy yield ($kg.ha^{-1}$)	کیفیت Quality condition	تحمل به تنش Tolerance to stress
شیرودی	نیمه‌پاکوتاه	دیررس	پرمحصول	پایین	متحمل
Shiroodi	Semi-dwarf	Late maturity	High yield	Low	Tolerant
ندا	نیمه‌پاکوتاه	دیررس	پرمحصول	متوسط	متحمل
Neda	Semi-dwarf	Late maturity	High yield	Medium	Tolerant
فجر	نیمه‌پاکوتاه	دیررس	پرمحصول	پایین	متحمل
Fajr	Semi-dwarf	Late maturity	High yield	Low	Tolerant
قائم	نیمه‌پاکوتاه	دیررس	پرمحصول	پایین	متحمل
Ghaem	Semi-dwarf	Late maturity	High yield	Low	Tolerant
نعمت	نیمه‌پاکوتاه	دیررس	پرمحصول	پایین	متحمل
Nemat	Semi-dwarf	Late maturity	High yield	Low	Tolerant

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در پایان مشخصات متغیرها به‌صورت مقادیر متوسط و بهترین حالت که می‌تواند در مدل رگرسیونی عملکرد قرار گیرد وارد مدل تولید پنج متغیره شدند. برای تعیین مدل عملکرد (تولید)، رابطه بین تمام متغیرهای اندازه‌گیری شده و عملکرد از طریق روش رگرسیون مورد بررسی قرار گرفت. مدل نهایی با استفاده از روش آزمون و خطای کنترل شده تعیین شد که می‌تواند اثر محدودیت‌های عملکرد را کمی کند. با قرار دادن متوسط مشاهده شده متغیرها (xها) در مدل، عملکرد متوسط محاسبه شد. سپس، با قرار دادن بهترین مقدار مشاهده شده متغیرها در مدل عملکرد، حداکثر عملکرد قابل‌حصول محاسبه شده است. اختلاف این دو، به‌عنوان خلاء عملکرد در نظر گرفته شد. اختلاف حاصل‌ضرب مقدار متوسط مشاهده شده برای هر متغیر در ضریب آن با حاصل‌ضرب مقدار بهترین مشاهده شده برای همان متغیر در ضریب همان متغیر الی ۶۰ سال) را دارا بودند (شکل ۱الف). در ۱۰۰ مزرعه مورد بررسی از نظر محصول قبل از کاشت برنج، حدود ۳۸ کشاورز اقدام به کشت شبدر برسیم کردند. در ۴۹ مزرعه زیر کشت هیچ محصولی قرار نگرفته و نشان دهنده مقدار خلاء عملکرد ایجاد شده برای آن متغیر است. نسبت خلاء عملکرد برای هر متغیر به کل خلاء عملکرد، نشان‌دهنده سهم آن در ایجاد خلاء عملکرد است و به‌صورت درصد نشان داده شد. برای تجزیه و تحلیل از رویه‌های Freq، Nlin و Stepwise نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ استفاده شد.

نتایج و بحث

با توجه به یافته‌های شکل ۱الف مشاهده می‌شود که از نظر سابقه تولید کشاورزان در منطقه بین یک الی ۶۰ سال سابقه تولید داشتند. طبق یافته‌ها حدود ۴۵ درصد از کشاورزان سابقه تولید کمتر از ۲۰ سال داشتند. حدود ۳۹ درصد از کشاورزان سابقه تولید بین ۲۰ تا ۴۰ سال داشتند. تنها ۱۲ درصد از کشاورزان دارای سن ۴۰ الی ۵۰ سال بودند. همچنین، تنها چهار درصد از کشاورزان سابقه تولید بالای ۵۰ سال (۵۰ آیش (نکاشت) انجام شد. در سه مزرعه کشاورزان اقدام به کشت جو و در چهار مزرعه باقلا کشت کردند. همچنین، کشاورزان در شش مزرعه کلزا کشت کردند (شکل ۱ب).



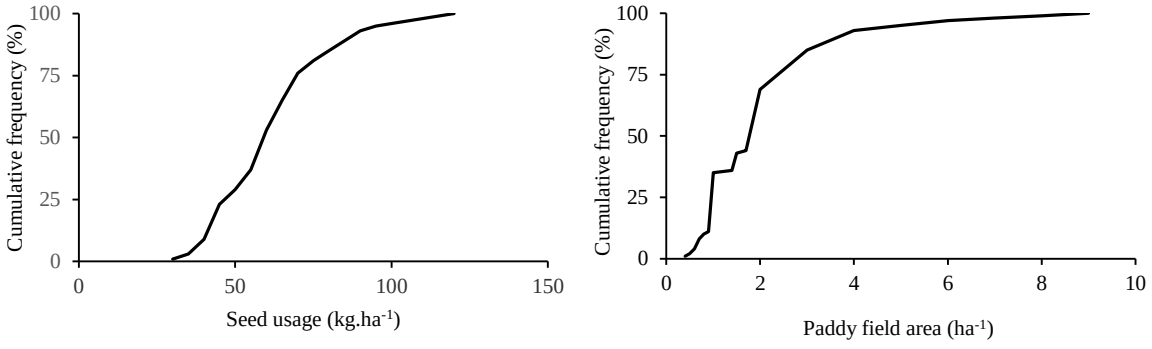
شکل ۱- احتمال توزیع تجمعی سابقه تولید (الف) و درصد فراوانی محصول قبلی (ب) در مزارع مورد بررسی برنج

Fig. 1- Probability of cumulative distribution of production history (a) and crop rotation (b) in paddy fields

اراضی شالیزاری انتخاب شده، دارای مساحت متفاوتی بوده و از این نظر دارای تنوع لازم بوده‌اند. مساحت ۱۰۰ مزرعه مورد بررسی بین ۰/۴ الی ۹ هکتار بودند که نشان می‌دهد اراضی شالیزاری انتخاب شده، از نظر مساحت دارای تنوع لازم بوده‌اند (شکل ۲–الف). حدود ۳۵ درصد از مزارع دارای مساحت کمتر از یک هکتار بود. همچنین، ۳۴ درصد از مزارع مساحتی بین یک الی دو هکتار را دارا بودند (شکل ۲الف). با توجه به یافته‌های شکل ۲ب، میزان بذر مصرفی در ۱۰۰ مزرعه مورد مطالعه بین ۳۰ تا ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. بر اساس یافته‌ها در ۲۹ درصد از مزارع مصرف بذر کمتر از ۵۰ کیلوگرم در هکتار بود. طبق یافته‌ها ۲۴ درصد از کشاورزان مصرف بذر بین ۵۰ الی ۶۰ کیلوگرم در هکتار داشتند. همچنین، بذر مصرفی ۲۳ درصد از کشاورزان بین ۶۰ الی ۷۰ کیلوگرم در هکتار بود. بذر مصرفی حدود ۱۷ درصد از کشاورزان بین ۷۰ الی ۹۰ کیلوگرم در هکتار بود. تنها سه درصد از کشاورزان مورد بررسی مصرف بذر بین ۹۰ الی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار داشتند. تنها چهار درصد از کشاورزان بالای ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بذر مصرف کردند که حداکثر بذر مصرفی نیز ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (شکل ۲–ب). استفاده از مکانیزاسیون برای تهیه خزانه، بذر مصرفی و سطح خزانه‌گیری را در کاشت نیمه‌مکانیزه کاهش می‌دهد. هم‌چنین، نشاکاری به روش رایج زودتر از روش نیمه‌مکانیزه شروع می‌شود. این در حالی است که در روش سنتی و هنگام کندن و انتقال نشاها به زمین اصلی ریشه، ساقه و برگ‌ها خسارت دیده و هنگام نشا نیز ریشه‌ها حالت انحنا پیدا می‌کند که موجب پوسیدگی از محل انحنا و وارد شدن خسارت به گیاهچه برنج می‌شود، ولی این مشکلات در روش مکانیزه وجود ندارد. در کاشت نیمه‌مکانیزه شیوه خزانه‌گیری تغییریافته و از خزانه نشای جعبه‌ای و پرورش و کاشت نشاهای جوان ۴-۳ برگی انجام می‌شود (Amiri Larijani, 2010; Amiri Larijani et al., 2010). شالیکاران در کاشت رایج منطقه به‌طور معمول نشاهای مسن و بالغ گیاه برنج را با تراکم‌های بالا، به‌صورت دسته‌ای و با تعداد بسیار زیاد نشا در کپه نشاکاری می‌کنند که باعث افزایش مصرف بذر و کاهش پتانسیل رشد اندام هوایی و ریشه گیاه برنج در اثر افزایش رقابت درون بوته‌ای می‌شود (Dastan et al., 2015).

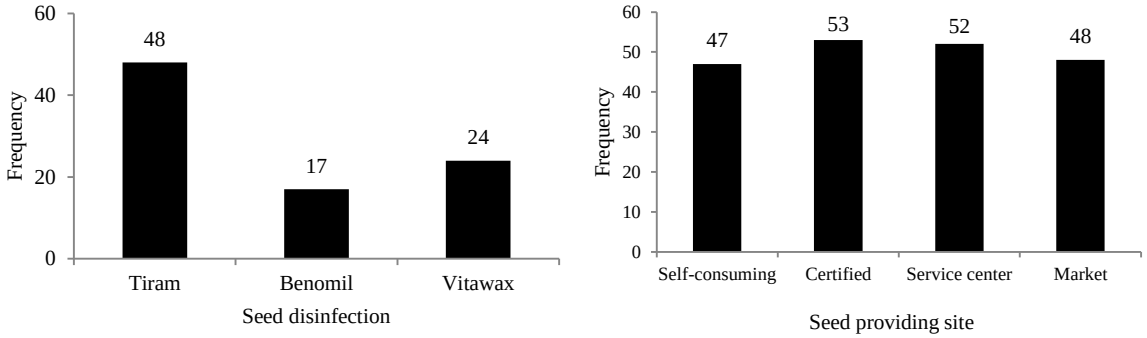
از نظر محل تهیه بذر در ۱۰۰ مزرعه مورد بررسی مشاهده شد که در ۴۷ مزرعه کشاورزان از بذور خود مصرفی و ۵۳ کشاورز از بذور گواهی شده استفاده کردند. همچنین، ۵۲ کشاورز بذر مصرفی را از مراکز خدمات و ۴۸ کشاورز بذر مصرفی را از بازار تهیه کرده بودند (شکل ۳–الف). طبق یافته‌ها ضدعفونی بذور توسط کشاورزان منطقه توسط سه ماده انجام شد که شامل تیرام، بنومیل و ویتاتاکس بود. در ۴۵ مزرعه کشاورزان از تیرام و در ۱۷ مزرعه کشاورزان از بنومیل برای ضدعفونی بذور مصرفی استفاده کرده بودند. همچنین، ۲۴ کشاورز از ویتاواکس برای ضدعفونی بذور استفاده کردند. در هیچ مزرعه‌ای از نمک برای ضدعفونی بذور استفاده کردند (شکل ۳–ب).

بر اساس داده‌های مورد مطالعه در ۱۰۰ مزرعه مورد مطالعه کشاورزان از ارقام پرمحصول و اصلاح شده شیرودی، ندا، فجر، قائم و نعمت استفاده کردند. در ۶۵ مزرعه کشاورزان اقدام به کشت رقم شیرودی کردند. در ۱۶ مزرعه رقم ندا و در ۱۲ مزرعه رقم فجر کشت شد. همچنین در چهار مزرعه رقم قائم، و در دو مزرعه رقم نعمت کشت شده بود (شکل ۴–الف). طبق یافته‌ها مشاهده می‌شود که کشت غالب کشاورزان منطقه برای ارقام پرمحصول و اصلاح شده مربوط به رقم شیرودی است که محققان برای تولید ارقام اصلاحی جدید بهتر است از رقم شیرودی به‌عنوان والد استفاده کنند. از نظر نوع خزانه نیز دو وضعیت خزانه سنتی و جعبه نشا وجود داشت که در ۴۸ مزرعه کشاورزان از خزانه سنتی و در ۵۲ مزرعه از جعبه نشا استفاده کردند. همچنین، در ۴۸ مزرعه کشاورزان از نشاکاری دستی و در ۵۲ مزرعه نشاکاری مکانیزه انجام دادند (شکل ۴–ب).

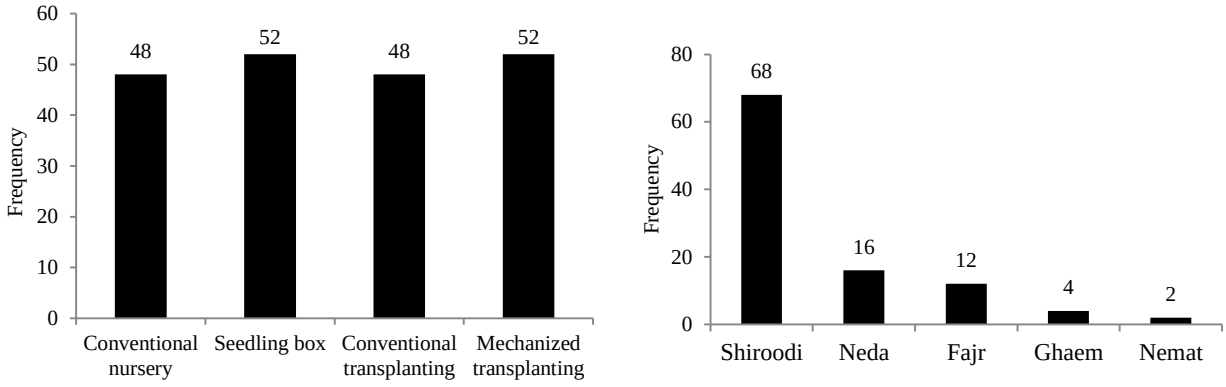


شکل ۲- احتمال توزیع تجمعی مساحت مزرعه (الف) و مقدار بذر (ب) در مزارع مورد بررسی برنج

Fig. 2- Probability of cumulative distribution of paddy fields area (a) and seed rate (b) in paddy fields



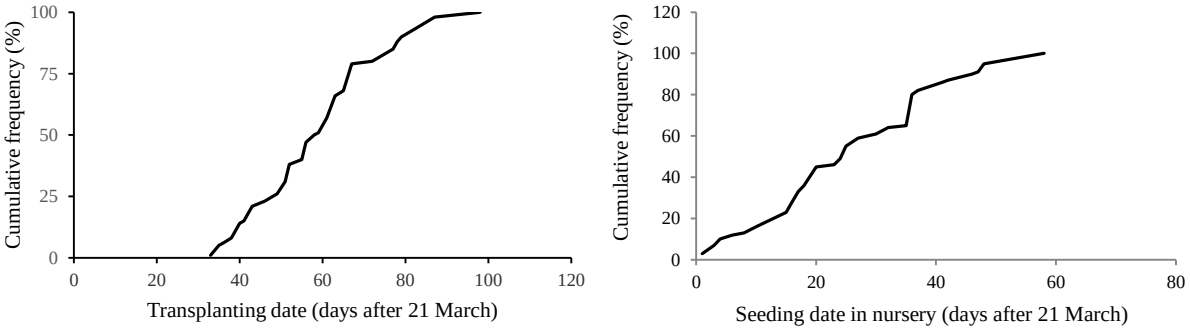
شکل ۳- درصد فراوانی محل تهیه بذر (الف) و ضدعفونی بذر (ب) در مزارع مورد بررسی برنج
Fig. 3- Frequency of seed providing site (a) and seed disinfection (b) in paddy fields



شکل ٤- درصد فراوانی رقم مورد استفاده (الف) و نوع خزانه (ب) در مزارع مورد بررسی برنج
Fig. 4- Frequency of cultivar (a) and nursery type (b) in paddy fields

برای مدیریت بهتر مزرعه، کاهش هزینه تولید و افزایش عملکرد محصول با توجه به شرایط آب و هوایی، نوع رقم و طول دوره رشد گیاه برنج تهیه تقویم زراعی ضروری است. کشت متوالی و تک‌کشتی محصول برنج بدون آیش‌گذاری در اراضی شالیزاری استان مازندران متداول است، لذا زمان کافی برای تهیه بستر بذر از این نظر وجود دارد. در منطقه مورد مطالعه شخم اولیه مزرعه برای آماده‌سازی بستر بذر و زمین اصلی از دهه سوم اسفند تا دهه سوم فروردین انجام می‌شود. بذرپاشی در خزانه را به اتمام رساندند. حدود ۲۹ درصد از کشاورزان نیز در نیمه اول اردیبهشت ماه اقدام به بذرپاشی در خزانه کردند. تنها ۱۰ کشاورز در نیمه دوم اردیبهشت ماه بذرپاشی در خرانه را انجام داد (شکل ۵-الف). با توجه به یافته‌های شکل ۵ب مشاهده می‌شود که نشاکاری ارقام پرمحصول در منطقه از دوم اردیبهشت شروع شده و تا پنجم تیر ماه ادامه یافت. طبق یافته‌ها کشاورزان منطقه در فروردین ماه نشاکاری انجام ندادند. حدود ۲۳ درصد از کشاورزان در نیمه اول اردیبشهت ماه نشاکاری را در منطقه به اتمام رساندند. حدود ۲۳ درصد از کشاورزان در نیمه دوم اردیبهشت ماه نشاکاری کردند. در نیمه اول خرداد ماه نیز ۱۸ درصد از کشاورز اقدام به نشاکاری کرده بودند. تنها ۱۳ درصد از کشاورزان در نیمه دوم خرداد ماه نشاکاری کردند. همچنین، دو درصد همچنین، کاشت به روش رایج زودتر از کاشت نیمه‌مکانیزه در منطقه انجام می‌شود.

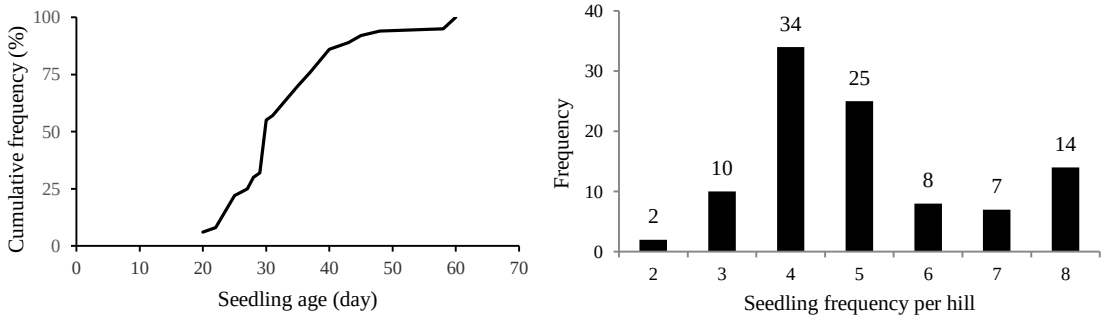
تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به متغیر تاریخ بذرپاشی در خزانه نشان داد که تاریخ بذرپاشی کشاورزان در منطقه ساری از اول فروردین ماه شروع و تا ۲۷ اردیبهشت ماه ادامه داشت (شکل ۵-الف). حدود ۲۳ درصد از کشاورزان در نیمه اول فروردین عملیات بذرپاشی در خزانه را انجام دادند. حدود ۳۸ درصد از کشاورزان در نیمه دوم فروردین ماه از کشاورزان در هفته اول تیرماه اقدام به نشاکاری کردند (شکل ۵-ب). به‌منظور مدیریت بهتر مزرعه، کاهش هزینه تولید و افزایش عملکرد محصول با توجه به شرایط آب و هوایی، نوع رقم و طول دوره رشد گیاه برنج تهیه تقویم زراعی ضروری است. کشت متوالی و تک‌کشتی محصول برنج بدون آیش‌گذاری در اراضی شالیزاری استان مازندران متداول است. بنابراین، زمان کافی برای تهیه بستر بذر از این نظر وجود دارد. در منطقه مورد مطالعه شخم اولیه مزرعه برای آماده‌سازی بستر بذر و زمین اصلی از دهه سوم اسفند تا دهه سوم فروردین انجام می‌شود. علاوه بر این، کاشت به روش رایج زودتر از کاشت نیمه‌مکانیزه در منطقه انجام می‌شود.



شکل ۵- احتمال توزیع تجمعی تاریخ بذرپاشی در خزانه (الف) و تاریخ نشاکاری (ب) در مزارع مورد بررسی برنج

Fig. 5- Probability of cumulative distribution of seeding date (a) and transplanting date (b) in paddy fields

بر اساس یافته‌ها تعداد نشا در کپه بین دو الی هشت عدد متغیر بود که در دو مزرعه نشاکاری دو عدد در کپه گزارش شد. در ۱۰ مزرعه از تعداد سه نشا در کپه استفاده شده بود. در ۳۴ مزرعه از چهار نشا در کپه و در ۲۵ مزرعه از پنج نشا در کپه استفاده شد. همچنین، در هشت مزرعه از شش نشا در کپه و در هفت مزرعه از هفت نشا در کپه استفاده شده است. در ۱۴ مزرعه کشاورزان با هشت نشا در کپه نشاکاری کردند (شکل ۶-الف). تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به متغیر سن نشا نشان داد که دامنه تغییرات سن نشاهای مورد استفاده کشاورزان بین ۲۰ الی ۶۰ روز بود. طبق یافته‌ها در ۲۲ مزرعه، کشاورزان با استفاده از نشاهای ۲۵ روزه یا کمتر نشاکاری کردند. حدود ۴۰ درصد از کشاورزان از نشاهای با سن ۳۰ الی ۳۵ روز استفاده کردند که نشان می‌دهد اکثر کشاورزان از نشاهای بالغ برای نشاکاری استفاده می‌کنند. حدود ۴۲ درصد از مزارع مورد بررسی با نشاهای با سن ۳۰ الی۴۰ روز نشاکاری شده بودند. همچنین، ۲۲ درصد از کشاورزان منطقه از نشاهای با سن ۴۰ الی ۴۵ روز استفاده کردند. تنها هشت درصد از کشاورزان از نشاهای با سن بالاتر از ۴۵ روز اقدام به نشاکاری کردند که حداکثر سن نشا برابر ۶۰ روز بود (شکل ۶-ب). بر اساس یافته‌ها نشاهای کمتر از ۳۰ روز در نشاکاری مکانیزه و نشاهای بالاتر از ۳۰ روز در نشاکاری دستی استفاده شدند.

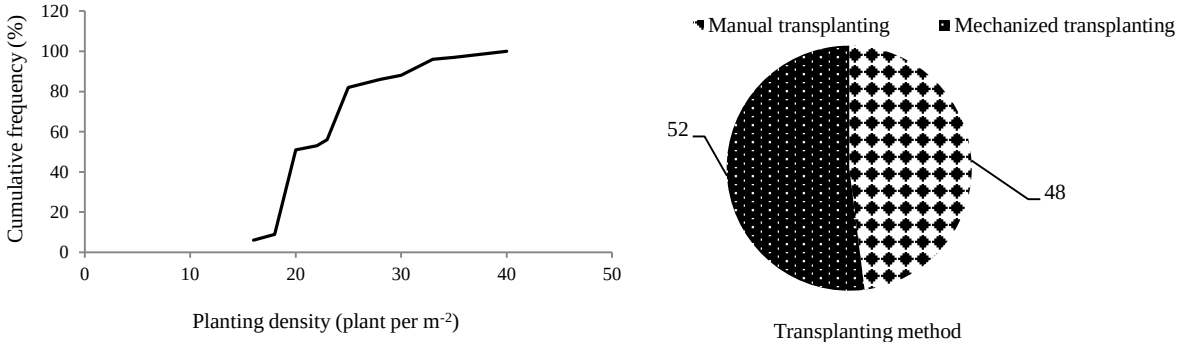


شکل ٦- درصد فراوانی تعداد نشا در کپه (الف) و احتمال توزیع تجمعی سن نشا (ب) در مزارع مورد بررسی برنج

Fig. 6- Frequency of paddy seedling per hill (a) and Probability of cumulative distribution seedling age (b)

بر اساس دستورالعمل فنی کاشت برنج باید شخم اول سه هفته قبل از نشاکاری انجام شود. شخم دوم همراه با تیلر یا تراکتور برای گل کردن نیز دو هفته قبل از نشاکاری و شخم سوم همراه با پادلینگ و تسطیح زمین انجام گردد. هم‌چنین، در کاشت مکانیزه برنج باید عملیات آماده‌سازی زمین که شامل شخم برگردان، شخم دوم و شخم سوم تسطیح و آماده‌سازی (باید حدود ۲۰ روز قبل از نشا انجام شود) است به‌ترتیب در زمستان، فروردین و اردیبهشت انجام می‌شود (Amiri Larijani, 2010; Amiri Larijani et al., 2010).

بر اساس یافته‌ها در ۵۲ درصد از مزارع نشاکاری به روش دستی و به صورت تصادفی انجام شد. همچنین، در ۴۸ درصد از مزارع نشاکاری مکانیزه و به روش خطی و منظم انجام شد (شکل ۷-الف). بر اساس یافته‌ها تراکم کاشت در ۱۰۰ مزرعه مورد بررسی بین ۱۶ الی ۴۰ بوته در متر مربع بود. تراکم کاشت حدود ۵۱ درصد از مزارع کمتر از ۲۰ بوته در متر مربع بود. تراکم کاشت حدود ۳۷ درصد از مزارع بین ۲۰ الی ۳۰ بوته در متر مربع و تراکم کاشت تنها ۹ درصد از مزارع بین ۳۰ الی ۳۵ بوته در متر مربع گزارش شد. تنها سه درصد از مزارع (دو کشاورز) از تراکم کاشت ۴۰ بوته در متر مربع استفاده کردند (شکل ۷-ب).

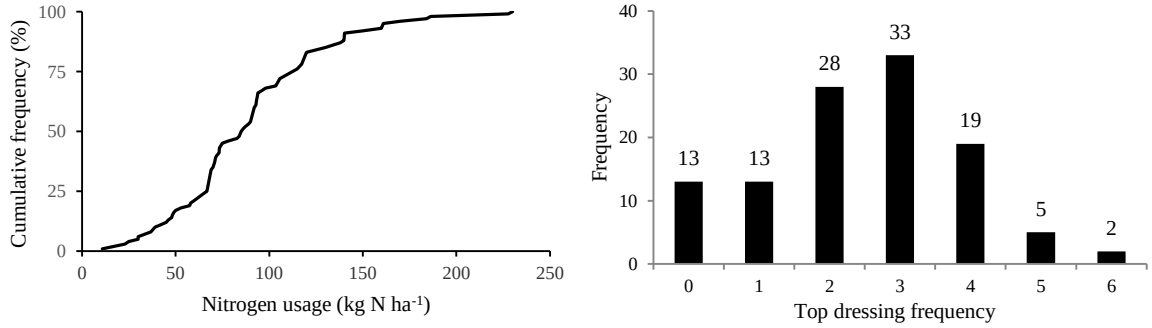


شکل ۷- درصد فراوانی شیوه نشاکاری (الف) و احتمال توزیع تجمعی تراکم کاشت (ب) در مزارع مورد بررسی برنج

Fig. 7- Probability of cumulative distribution of transplanting method (a) and planting density (b) in paddy fields

مدیریت استفاده از ادوات و ماشین‌آلات یکی از قسمت‌های مهم مدیریت مزرعه است. استمرار و تداوم در امر توسعه مکانیزاسیون مستلزم این است که شناخت کافی از نحوه کاربرد ادوات و ماشین‌آلات، سطح توجیه‌کننده مالکیت و میزان سازگاری آن‌ها با توجه به سطوح مالکیت اراضی، وجود داشته باشد. ارتقای مکانیزاسیون از عوامل مهم و تأثیرگذار برای رسیدن خوداتکایی برنج است که از طریق تجهیز و نوسازی اراضی و ساماندهی و ارتقای مکانیزاسیون امکان‌پذیر است (Aghagolzadeh, 2010; Amiri Larijani et al., 2010).

با توجه به یافته‌های شکل ۸-الف مشاهده می‌شود که در بین ۱۰۰ مزرعه مورد مطالعه، در ۱۳ مزرعه کود سرک مصرف نشد. در ۱۳ مزرعه تنها یک مرحله کود سرک مصرف شد و در ۲۸ مزرعه دو مرحله سرک استفاده شده بود. همچنین در ۳۳ مزرعه سه مرحله کود سرک و در ۱۹ مزرعه چهار مرحله کود سرک مصرف شد. در پنج مزرعه نیز پنج مرحله از کود سرک استفاده شد. تنها در دو مزرعه اقدام به مصرف کود سرک در شش مرحله شده بود (شکل ۸-الف). یافته‌های شکل ۸-ب مصرف کود نیتروژن در ۱۰۰ مزرعه مورد بررسی را نشان می‌دهد. میزان کل کود نیتروژن مصرفی در منطقه بین ۱۰/۸ الی ۲۳۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. در بین مزارع مورد بررسی ۱۳ درصد از کشاورزان مصرف نیتروژن کمتر از ۴۶ کیلوگرم در هکتار داشتند. مصرف نیتروژن ۱۳ درصد از کشاورزان بین ۴۶ الی ۶۹ کیلوگرم کود نیتروژن بود. حدود ۲۶ درصد از کشاورزان نیز بین ۶۹ الی ۹۲ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار مصرف کردند. حدود ۱۶ درصد از کشاورزان بین ۹۲ الی ۱۱۵ کیلوگرم مصرف کود نیتروژن داشتند. مصرف کود نیتروژن حدود ۱۲ درصد از کشاورزان بین ۱۱۵ الی ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار بود. تنها پنج درصد از کشاورزان منطقه مصرف کود نیتروژن بین ۱۴۰ الی ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار داشتند. همچنین، تنها سه درصد از کشاورزان بین ۱۶۰ الی ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار و تنها چهار درصد از کشاورزان مصرف نیتروژن بالاتر از ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار داشتند که حداکثر نیتروژن مصرفی برابر ۲۳۰ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۸-ب).



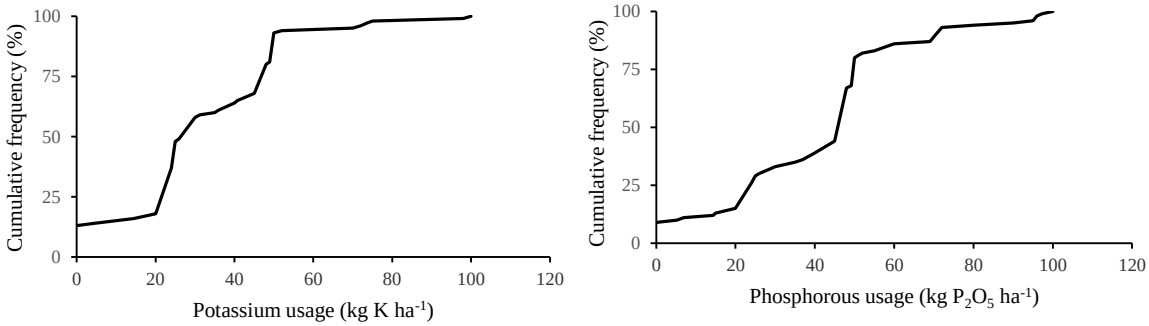
شکل ۸- درصد فراوانی تعداد کود سرک مصرفی (الف) و احتمال توزیع تجمعی مقدار نیتروژن (ب) در مزارع مورد بررسی برنج

Fig. 8- Frequency of top dressing (a) and probability of cumulative distribution N rate (b) in paddy fields

مصرف کود سرک توسط کشاورزان در دو مرحله انجام می‌شود که بیش‌تر کشاورزان در مراحل شروع پنجه‌دهی و ظهور خوشه آغازین انجام می‌دهند و برخی از کشاورزان نیز در مرحله خوشه‌دهی کامل کود سرک مصرف می‌کنند. کشت‌وکار رایج منطقه به‌علّت عدم درک صحیح از نیازمندی‌های گیاه برنج، با مشکلات زیادی روبه‌رو است؛ به‌طوری‌که مصرف بی‌رویه آب، کودها و سموم شیمیایی نه تنها به افزایش هزینه تولید منجر شده، بلکه موجب کاهش عملکرد شده و باعث تخریب منابع و محیط زیست در دراز مدت می‌گردد (Dastan et al., 2015). انجام عملیات مربوط به داشت در طی فصل رشد می‌تواند منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد گردد. کوددهی، آبیاری و مبارزه با علف‌های هرز و

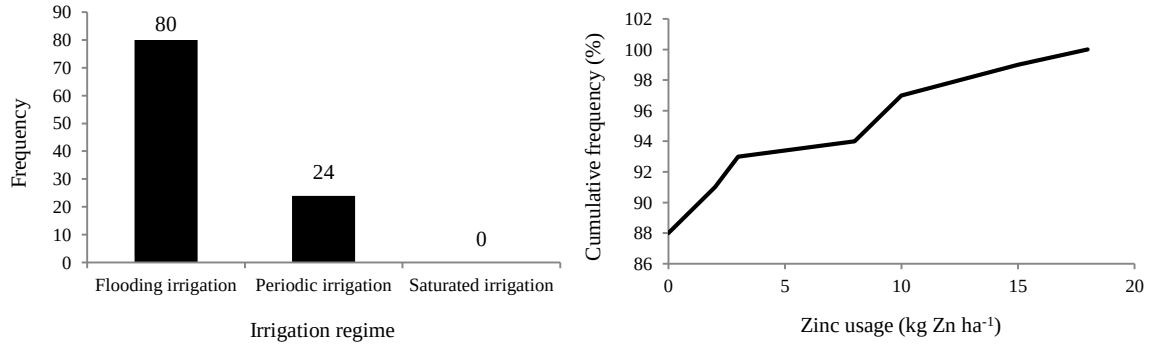
بیماری‌ها از عملیات مهم زراعی هستند که در طول فصل رشد مورد توجه اکثر کشاورزان قرار می‌گیرد (Torabi et al., 2012).

به‌طور کلی ارزیابی اراضی شالیزاری نشان می‌دهد که مصرف کود فسفر در منطقه بین صفر تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. طبق یافته‌ها در ۱۵ درصد از مزارع مصرف فسفر کمتر از ۲۰ کیلوگرم در هکتار بود. برای حدود ۲۹ درصد از مزارع مصرف کود فسفر بین ۲۰ الی ۴۵ کیلوگرم در هکتار ثبت شده بود. در ۴۲ درصد از مزارع مصرف فسفر بین ۴۵ الی ۶۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شد. کشاورزان تنها ۱۰ درصد از مزارع مصرف فسفر بین ۶۰ الی ۹۵ کیلوگرم در هکتار داشتند. تنها چهار درصد از کشاورزان مصرف فسفر بالاتر از ۹۵ کیلوگرم در هکتار داشتند که حداکثر فسفر مصرفی برابر ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۹–الف). تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که مصرف کود پتاسیم در منطقه بین صفر تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. در ۱۳ درصد از مزارع عدم مصرف پتاسیم گزارش شد. در ۶۰ درصد از مزارع مورد بررسی مصرف پتاسیم کمتر از ۳۵ کیلوگرم در هکتار بود. مصرف پتاسیم در ۲۰ درصد از مزارع مورد مطالعه نیز بین ۳۵ الی ۴۸ کیلوگرم در هکتار بود. در ۱۵ درصد از مزارع کشاورزان بین ۴۸ الی ۷۰ کیلوگرم پتاسیم مصرف کردند. تنها در ۵ درصد از مزارع مصرف پتاسیم بالاتر از ۷۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شد که حداکثر پتاسیم مصرفی برابر ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۹–ب).



شکل ۹- احتمال توزیع تجمعی مقدار فسفر (الف) و پتاسیم (ب) در مزارع مورد بررسی برنج

Fig. 9- Probability of cumulative distribution of P rate (a) and K rate (b) in paddy fields



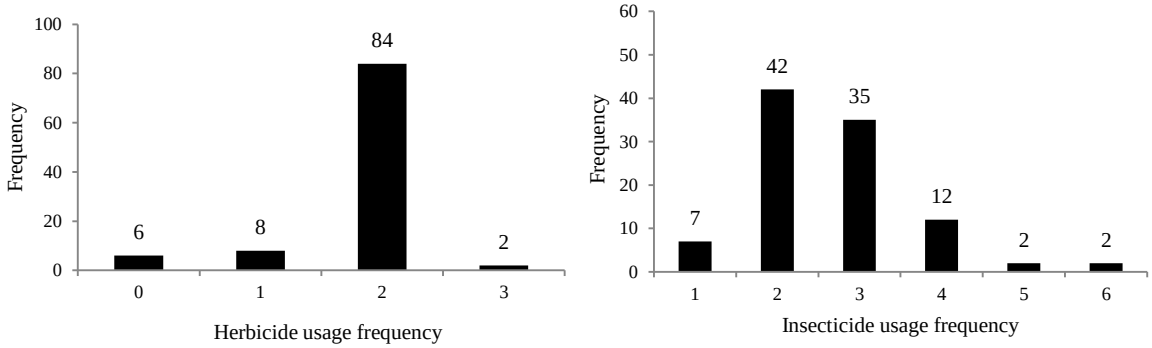
شکل ۱۰- احتمال توزیع تجمعی مقدار روی مصرفی (الف) و درصد فراوانی رژیم آبیاری (ب) در مزارع مورد بررسی برنج

Fig. 10- Probability of cumulative distribution of Zn rate (a) and frequency of irrigation regime (b) in paddy fields

به‌طور کلی ارزیابی اراضی شالیزاری نشان می‌دهد که مصرف کود روی در منطقه بین صفر تا ۱۸ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. طبق یافته‌ها در ۸۸ درصد از مزارع مصرف روی گزارش نشد. تنها در هشت درصد از مزارع مصرف روی بین دو الی ۱۵ کیلوگرم در هکتار و در دو درصد از مزارع مصرف روی بین ۱۵ الی ۱۸ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۱۰–الف). از نظر نوع رژیم آبیاری در ۸۰ مزرعه از آبیاری غرقابی استفاده شد. در ۲۴ مزرعه آبیاری تناوبی و در هیچ کدام از مزارع آبیاری با رژیم آبی اشباع گزارش نشد (شکل ۱۰–ب). با توجه به این‌که افزایش آب مصرفی بیش از حد لازم نقشی در افزایش عملکرد ندارد، صرفه‌جویی ناشی از این روش در مواقع خشک‌سالی و کمبود آب می‌تواند مؤثر باشد. بنابراین، لازم است روش‌های صرفه‌جویی و افزایش بهره‌وری آب برای تولید برنج مورد ارزیابی قرار گیرد. بر اساس دستورالعمل فنی کاشت برنج باید یک ماه اول آبیاری غرقابی و بقیه دوره رشد به‌صورت آبیاری تناوبی انجام شود. در یک ماه اول وجود آب دایم در پایه بوته‌ها در کنترل رشد علف‌های هرز مؤثر است. همچنین، با تغییرات احتمالی دمای محیط سبب مقابله می‌شود. بنابراین، آبیاری تناوبی به فاصله ۷–

۴ روز بسته منطقه و نوع خاک مناسب است (Amiri Larijani, 2010; Amiri Larijani et al., 2010). همچنین، دیگر محققان دریافت که آبیاری تناوبی و ایجاد زه‌کش در اراضی شالیزاری به صرفه‌جویی در مصرف آب منجر می‌شود که نتیجه آن افزایش بهره‌وری و کارایی مصرف آب خواهد بود. همچنین، شرایط غرقابی دایم سبب پوسیدن ریشه، کاهش پنجه‌زنی و رشد گیاه برنج شده و در نهایت سبب کاهش پتانسیل تولید و افزایش مصرف آب می‌گردد (Dastan et al., 2015).

تعداد دفعات مصرف حشره‌کش در ۱۰۰ مزرعه مورد بررسی بین صفر تا شش مرتبه متغیر بود. در هفت مزرعه یک مرحله و در ۴۲ مزرعه دو مرحله از حشره‌کش برای کنترل آفات استفاده شده بود. در ۳۵ مزرعه سه مرحله از حشره‌کش استفاده شد. در ۱۲ مزرعه چهار مرحله مبارزه با آفات انجام شد. تنها در دو مزرعه به ترتیب پنج و شش مرتبه مبارزه با آفات انجام شد (شکل ۱۱-الف). تعداد دفعات مصرف علف‌کش نیز بین صفر تا سه مرتبه متغیر بود که در شش مزرعه عدم مصرف علف‌کش، در هشت مزرعه یک مرحله، در ۸۴ مزرعه دو مرحله از علف‌کش و در دو مزرعه سه مرحله از علف‌کش برای کنترل علف‌های هرز استفاده شده بود (شکل ۱۱-ب).



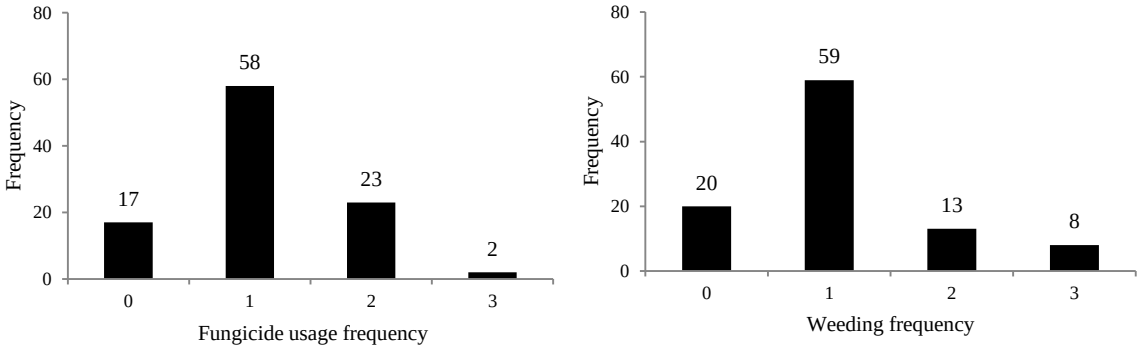
شکل ۱۱- درصد فراوانی حشره‌کش مصرفی (الف) و علف‌کش مصرفی (ب) در مزارع مورد بررسی برنج

Fig. 11- Frequency of insecticide (a) and herbicide (b) in paddy fields

از نظر کنترل مکانیکی علف‌های هرز نیز در ۲۰ مزرعه وجین انجام نشد. در ۵۹ مزرعه یکبار وجین دستی و در ۱۳ مزرعه دوبار وجین صورت گرفت. تنها در هشت مزرعه سه بار وجین دستی انجام شد (شکل ۱۲-الف). تعداد دفعات مصرف قارچ‌کش نیز در مزارع مورد مطالعه بین صفر تا سه مرحله متغیر بود که در ۱۷ مزرعه عدم مصرف قارچ‌کش، در ۵۸ مزرعه یک مرتبه مصرف قارچ‌کش و در ۲۳ مزرعه دو مرحله مصرف قارچ‌کش مشاهده شده بود. در دو مزرعه کشاورزان سه مرحله از قارچ‌کش استفاده کردند (شکل ۱۲-ب).

علف‌های هرز به‌علت استفاده از فضا، سایه‌اندازی، استفاده از آب، عناصر غذایی خاک، میزبان بودن برای آفات و بیماری‌ها، فراهم کردن محیط مناسب برای فعالیت عوامل بیماری‌زا و ایجاد مشکلات فراوان در هنگام برداشت دارای اهمیت هستند (Mirkamali, 2010). کنترل علف‌های هرز در زراعت برنج نیز برای جلوگیری از خسارت کمی و کیفی محصول، کاهش هزینه تولید و خسارت آفات و بیماری است. کاهش عملکرد ناشی از خسارت علف‌های هرز در مزارع برنج نشاکاری بین ۱۰ تا ۵۰ درصد است (Mirkamali, 2010). مرحله اول خسارت را نسل اول آفت به‌وجود می‌آورد. در این مرحله با رشد ساقه‌های جانبی گیاه در مقابل آفت عکس‌العمل نشان داده و حتی المقدور از کاهش محصول جلوگیری می‌شود. در مرحله دوم خسارت گیاه تقریباً در پایان مرحله رویشی است و امکان ترمیم خسارت از طریق رشد ساقه‌های جانبی دیگر وجود ندارد. ساقه‌های آلوده به آفت در این موقع در اثر وزش باد شکسته و باعث از بین رفتن ساقه‌های مجاور می‌گردد (Majidi & Padasht, 2010). کشاورزان در استان مازندران مبارزه با بیماری را در دو مرحله انجام می‌دهند که برای مبارزه با بلاست برگ و خوشه این عمل انجام می‌شود. مرحله اول مبارزه با بیماری برای کنترل بلاست برگ انجام می‌شود. آفات و بیماری‌های گیاهی هر سال مقادیر درخور توجهی از محصول برنج را از بین می‌برد. در میان محصولات کشاورزی، بیشترین میزان مصرف سموم شیمیایی مربوط به محصول برنج است. در میان آفات و بیماری‌هایی که به مزارع برنج آسیب می‌رساند، کرم ساقه‌خوار بیشترین سهم را دارد. امروزه با گسترش مشکلات ناشی از اجرای روش‌های مبارزه شیمیایی، روش‌های مدیریت آفات به‌ویژه مبارزه بیولوژیک کرم ساقه‌خوار برنج توسط زنبور تریکوگراما از جایگاه ویژه‌ای برخوردار شده است. با توجه به زمان کاشت و وضعیت رویشی گیاه (مرحله پنجه‌زنی) با ظهور علایم بیماری روی برگ‌ها و مساعد بودن شرایط آب و هوایی برای گسترش بیماری (هوای ابری و غیرآفتابی، بارندگی‌های مستمر، رطوبت نسبی بالا) با محلول قارچ‌کش علیه بیماری استفاده شود (Majidi & Padasht, 2010).

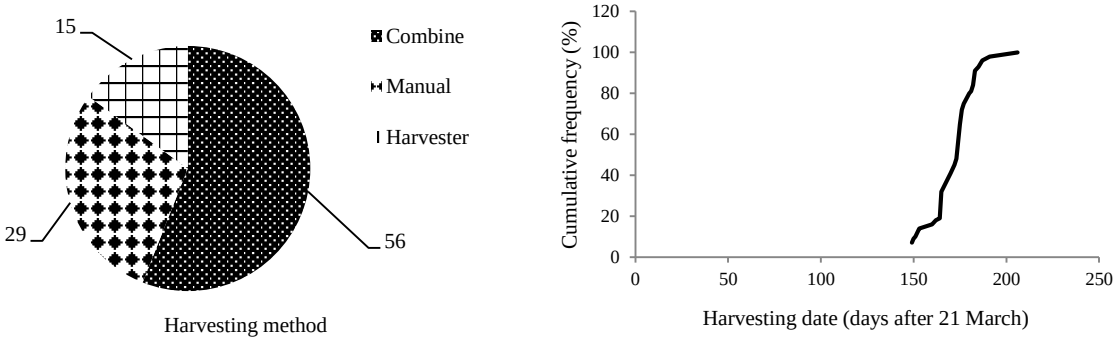
مبارزه زراعی با بیماری‌های مهم برنج نیز شامل: کاشت ارقام متحمل به آفات و بیماری‌ها، شخم عمیق بقایای گیاهی بعد از برداشت محصول، رعایت اصول صحیح زراعت برنج مانند فاصله کاشت، زمان کاشت (کاشت زودهنگام برای فرار از بیماری بلاست توصیه می‌گردد)، آبیاری مناسب، مصرف بهینه کودها به‌ویژه مصرف تقسیطی کودهای نیتروژن‌دار، از بین بردن علف‌های هرز میزبان واسط، رعایت تناوب زراعی بین ارقام محلی و پرمحصول، زهکشی مناسب شالیزار و رعایت بهداشت زراعی است (Majidi & Padasht, 2010).



شکل ۱۲- درصد فراوانی دفعات وجین (الف) و قارچ‌کش مصرفی (ب) در مزارع مورد بررسی برنج

Fig. 12- Frequency of weeding (a) and fungicide (b) in paddy fields

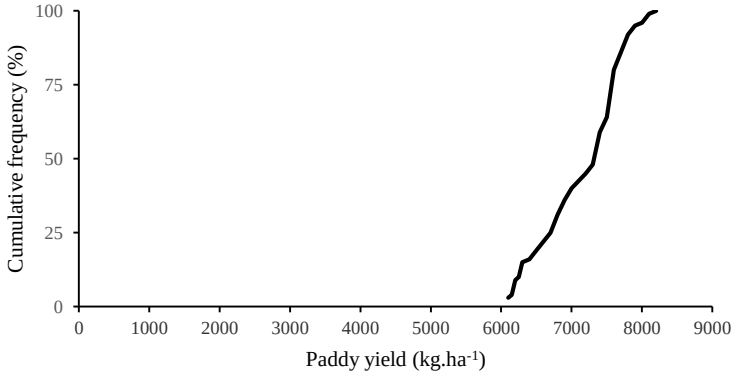
تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که برداشت محصول از ۱۴۹ الی ۲۰۶ روز بعد از اول فروردین انجام شده بود (شکل ۱۳-الف). در ۱۶ درصد از مزارع برداشت در ۱۶۰ روز بعد از اول فروردین انجام شد. در ۲۵ درصد از مزارع نیز برداشت از ۱۶۰ الی ۱۷۰ روز بعد از اول فروردین صورت گرفت. برداشت ۳۹ درصد مزارع در ۱۷۰ الی ۱۸۰ روز بعد از اول فروردین انجام شد. تنها در ۱۱ درصد از مزارع برداشت محصول بین ۱۸۰ الی ۱۸۳ روز بعد از اول فروردین انجام شد. تنها در نه درصد از مزارع برداشت محصول بین ۱۸۳ الی ۲۰۶ روز بعد از اول فروردین انجام شد (شکل ۱۳-الف). طبق یافته‌ها در ۵۶ مزرعه برداشت محصول با کمباین انجام شد و در ۲۹ مزرعه برداشت دستی صورت گرفت. تنها در ۱۵ مزرعه برداشت محصول با دروگر انجام شد (شکل ۱۳-ب).



شکل ۱۳- احتمال توزیع تجمعی تاریخ برداشت (الف) و شیوه برداشت محصول (ب) در مزارع مورد بررسی برنج

Fig. 13- Probability of cumulative distribution of harvesting date (a) and harvesting method (b) in paddy fields

با توجه به یافته‌های شکل ۱۴ مشاهده می‌شود که دامنه تغییرات عملکرد شلتوک در ۱۰۰ مزرعه بین ۶۱۰۰ الی ۸۲۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. در ۱۰ درصد از مزارع عملکرد کمتر از ۶۲۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. عملکرد شلتوک حدود ۳۰ درصد از مزارع مورد بررسی بین ۶۲۵۰ الی ۷۰۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. همچنین، در ۴۰ درصد از مزارع مورد بررسی عملکرد شلتوک بین ۷۰۰۰ الی ۷۶۰۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. عملکرد شلتوک ۱۵ درصد از مزارع مورد مطالعه بین ۷۶۰۰ الی ۷۹۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. تنها در پنج درصد از مزارع عملکرد شلتوک بین ۷۹۰۰ الی ۸۲۰۰ کیلوگرم در هکتار ثبت شد (شکل ۱۴).



شکل ١٤- احتمال توزیع تجمعی عملکرد شلتوک در مزارع مورد بررسی برنج
Fig. 14- Probability of cumulative distribution of paddy yield

تخمین خلاء عملکرد بر اساس مدل‌های رگرسیونی (CPA)

روش تحلیل مقایسه کارکرد یا CPA یکی از روش‌هایی است که برای کمی کردن خلاء عملکرد استفاده می‌شود. با استفاده از این روش محدودیت‌های اصلی عملکرد و توابع کمی شده برای خلاء عملکرد تعیین می‌شود. در واقع، در روش CPA با استفاده از رگرسیون چندگانه و با روش گام‌به‌گام (Soltani et al., 2016)، محدودیت‌های عملکرد و مدل تولید تعیین می‌شود. همچنین، با استفاده از معادله تولید و مقادیر مؤلفه‌های مدل سهم هر یک از عوامل محدود کننده در ایجاد خلاء عملکرد مشخص می‌شود (De Bie, 2000; Lobell et al., 2009).

مدل تولید

یافته‌های مربوط به رگرسیون گام به گام برای تعیین مهم‌ترین متغیرهای مدیریتی مؤثر بر عملکرد و مدل عملکرد در جدول ۳ ارایه شده است. در این مدل رگرسیونی عملکرد شلتوک در واحد سطح به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد و سایر متغیرها از قبیل پیش‌کاشت کلزا، تناوب زراعی، استفاده از بذر گواهی‌شده، تاریخ بذرپاشی در خزانه، مصرف کود سرک، مصرف پتاسیم، مصرف نیتروژن بعد از گلدهی و محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها به‌عنوان متغیرهای مستقل لحاظ شدند که نتیجه آن در معادله نهایی ارایه شد. در نهایت با استفاده از این معادله تولید، میزان عملکرد واقعی، عملکرد قابل حصول و سهم هر کدام از متغیرها بر کاهش عملکرد تعیین شد. بنابراین، از حدود ۱۵۰ متغیر مورد بررسی، مدل (معادله رگرسیون نهایی) با هشت متغیر مستقل انتخاب شد (جدول ۳). معادله نهایی عملکرد به‌صورت زیر بود:

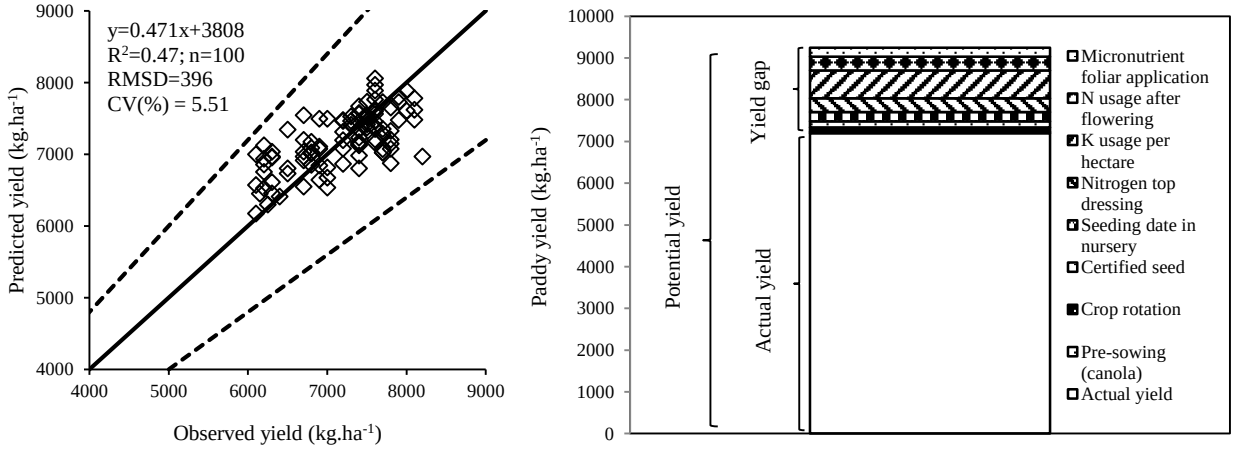
$$y\ (kg.ha^{-1}) = 6440 - 425\ X_1 + 307\ X_2 + 256\ X_3 - 9\ X_4 + 495\ X_5 + 10\ X_6 + 146\ X_7 + 314\ X_8$$

که در آن، y: عملکرد شلتوک بر حسب کیلوگرم در هکتار، X_1: پیش‌کاشت کلزا، X_2: تناوب زراعی، X_3: استفاده از بذور گواهی‌شده، X_4: تاریخ بذرپاشی در خزانه، X_5: مصرف کود سرک، X_6: مصرف کود پتاسیم، X_7: مصرف نیتروژن بعد از گلدهی و X_8: محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها است.

عوامل محدودکننده عملکرد و تخمین خلاء عملکرد

در جدول ۳ متغیرهای وارد شده در معادله تولید به همراه میانگین، حداقل و حداکثر مقادیر مشاهده شده آن‌ها در مزارع ارایه شده است. مشخصات متغیرهای وارد شده در مدل به‌صورت مقادیر متوسط، حداقل، حداکثر و بهترین مقداری که می‌تواند در مدل رگرسیونی عملکرد قرار بگیرد در جدول ۳ ارایه شد. میزان خلاء عملکرد مربوط به هشت متغیر وارد شده در معادله تولید برابر ۲۰۴۷ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. بهترین حالت برای متغیرهای تناوب زراعی، استفاده از بذر گواهی‌شده، مصرف کود سرک، مصرف کود پتاسیم، مصرف نیتروژن بعد از گلدهی و محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها با اثر مثبت، مقدار حداکثر آن‌ها انتخاب شد. متغیرهای پیش‌کاشت کلزا و تاریخ بذرپاشی در خزانه به‌عنوان متغیر منفی بوده و مقادیر اندک آن‌ها انتخاب شد. بنابراین، مقدار بهینه معادل مقدار حداقل این دو متغیر بود (جدول ۳). میزان افزایش عملکرد ناشی از تفاضل عملکرد حالت بهترین و متوسط دو متغیر پیش‌کاشت کلزا و تاریخ بذرپاشی در خزانه به‌ترتیب برابر ۳۴ و ۲۲۳ کیلوگرم در هکتار معادل دو و ۱۱ درصد بود. میزان افزایش عملکرد مربوط به اثر متغیر تناوب زراعی برابر ۱۱۱ کیلوگرم در هکتار معادل پنج درصد از کل افزایش عملکرد بود. مقدار افزایش عملکرد مربوط به اثر استفاده از بذور گواهی‌شده و مصرف کود سرک نیز به‌ترتیب برابر ۱۴۱ و ۳۲۷ کیلوگرم در هکتار معادل هفت و ۱۶ درصد از کل تغییر عملکرد بود. میزان افزایش عملکرد مربوط به اثر متغیر مصرف کود پتاسیم و نیتروژن بعد از گلدهی به‌ترتیب برابر ۶۷۴ و ۳۲۴ کیلوگرم در هکتار معادل ۳۳ و ۱۶ درصد از کل افزایش عملکرد بود. میزان خلاء عملکرد مربوط به متغیر محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها برابر ۲۱۴ کیلوگرم در هکتار معادل ۱۰ درصد بود (جدول ۳). در بین هشت متغیر

وارد شده در مدل اثر متغیر مصرف کود سرک، پتاسیم و نیتروژن بعد از گلدهی قابل توجه بوده که می‌توان بخش قابل توجهی از خلاء عملکردی در مزارع کشاورزان را با مدیریت این سه متغیر جبران کرد. جدول ۳ کل خلاء عملکرد و سهم هر یک از عوامل محدودکننده عملکرد نسبت به آن را نشان می‌دهد. در مدل عملکرد، متوسط و حداکثر عملکرد (پتانسیل عملکرد) به‌ترتیب ۷۱۹۴ و ۹۲۴۱ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد که با متوسط و حداکثر عملکرد مشاهده شده (۷۱۷۸ و ۸۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) قابل مقایسه هستند. کل خلاء عملکرد تخمین زده شده برابر ۲۰۴۷ کیلوگرم در هکتار بود که در در منطقه ساری و بابل نیز میزان خلاء عملکرد ارقام محلی برنج به روش CPA به‌ترتیب برابر ۱۸۴۱ و ۱۹۷۷ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (Halalkhor et al., 2018; Yousefian et al., 2018). این بدان معنی است که بین عملکرد واقعی کشاورزان و آنچه می‌توانند برداشت کنند ۱۸۴۱ کیلوگرم در هکتار فاصله وجود دارد که با مدیریت مناسب‌تر قابل حذف یا کاهش خواهد بود (جدول ۳). شکل ۱۵–الف سهم هر یک از صفات در خلاء عملکرد را به همراه عملکرد واقعی مزرعه و پتانسیل عملکرد را نشان می‌دهد. بنابراین، عملکرد واقعی مزرعه و پتانسیل عملکرد محاسبه شده با مدل به‌ترتیب برابر ۴۴۹۵ و ۶۳۳۷ کیلوگرم در هکتار و میزان خلاء عملکرد برابر ۱۸۴۱ کیلوگرم در هکتار برآورد شد که این نتیجه نشان می‌دهد با می‌توان این خلاء عملکرد را جبران کرد (شکل ۱۵–الف). یافته‌های شکل ۱۶–ب رابطه بین عملکرد واقعی (مشاهده شده) و عملکرد پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. این آماره نشان می‌دهد که RMSD برای عملکرد شلتوک برابر ۳۹۶ کیلوگرم در هکتار (۵/۵۱ درصد میانگین عملکرد مشاهده شد) و RMSE برابر ۳۹/۶۲ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین ضریب تبیین عملکرد مشاهده شده و پیش‌بینی شده برابر ۰/۴۷ بود. لذا، بر اساس برازش رابطه بین عملکرد مشاهده شده و عملکرد پیش‌بینی شده می‌توان بیان کرد که دقت مدل (معادله تولید) مناسب بوده و می‌تواند برای برآورد میزان خلاء عملکرد و تعیین سهم هر یک از متغیرهای محدودکننده تولید به کار گرفته شود (شکل ۱۵–ب).



شکل ۱۵- مقدار محدودیت‌های اصلی خلاء عملکرد (الف) و رابطه بین عملکرد مشاهده شده و پیش‌بینی شده. (ب)

در شکل ۱۶–ب دامنه ۲۰ درصد از اختلاف بین پیش‌بینی شده و مشاهده شده توسط خطوط منقطع نشان داده شده است. خط ممتد خط ۱:۱ است.

Fig. 15- The amount of the main limitations of yield gap (a); the relationship between observed and predicted yields (b)
Twenty percent of the differences between predicted and observed yields are shown by segmented lines.

طبق یافته‌های این پژوهش، میزان بالای خلاء عملکرد و سهم هر یک از عوامل مؤثر بر آن نشان می‌دهد که با مدیریت مناسب می‌توان بخش قابل توجهی از این خلاء را جبران کرد و به پتانسیل عملکرد رسید. دست‌یابی به پتانسیل عملکرد به ندرت در محصولات زراعی حاصل می‌شود و در عمل تنها بخشی از آن به‌عنوان محصول واقعی از مزرعه برداشت می‌شود. هدف بسیاری از محققان نیز افزایش عملکرد تا حد قابل قبولی برای نگهداری قیمت مواد غذایی در حدی است که هم برای مصرف‌کننده مطلوب باشد و هم قیمت تمام شده محصول بتواند هزینه‌ها را برای کشاورز پوشش دهد. به‌نظر می‌رسد عملکردی معادل ۸۰ درصد عملکرد پتانسیل یک آستانه تقریبی مطلوب از نظر اقتصادی در بیشتر نظام‌های کاشت گیاهان زراعی باشد (Lobell et al., 2009).

شناخت پتانسیل‌ها و همچنین میزان و نحوه تأثیر هر یک از عوامل محدودکننده عملکرد به‌صورت جداگانه، نقش مهمی در تعیین راهبردهای مدیریتی جایگزین برای رسیدن به حداکثر عملکرد دارد. در مطالعه پرادهان (Pradhan, 2004) بررسی عوامل مؤثر در خلأ عملکرد ذرت پرداخته شد که خاک دارای بافت سبک، مساحت مزارع، تعداد بذر کاشته شده در هر کپه و عدم انجام عملیات تنک به

ترتیب با ۲۷، ۳۰، ۳۰ و ۱۳ درصد، مهم‌ترین عوامل ایجاد کاهش عملکرد در ذرت بودند. دست‌یابی به عملکرد بالاتر از ۸۰ درصد عملکرد پتانسیل اگرچه امکان‌پذیر است، اما شاید با توجه به قیمت ادوات، کود، سم و همچنین هم‌پوشانی فصل کاشت، از نظر اقتصادی برای کشاورزان منطقه مقرون به صرفه نباشد. علاوه بر این، مشاهده‌های تجربی نشان می‌دهد که مهم‌ترین مشکل خلاء عملکردهای بالا در گیاهان زراعی در ایران شیوه‌های مدیریتی ناکارآمد در مزارع کشاورزان است (Torbati et al., 2013). اگرچه هدف از این پژوهش برآورد میزان خلاء عملکرد برنج بوده و عوامل به‌وجود آمدن این میزان خلاء عملکرد نیازمند بررسی و مطالعه بیشتر است، اما محتمل‌ترین راه‌کار که می‌تواند منجر به افزایش عملکرد و کاهش خلاء عملکرد شود، بهبود مدیریت زراعی در مزارع کشاورزان است.

جدول ۳- کمی کردن خلاء عملکرد برنج و سهم هر یک از متغیرهای وارد شده در معادله تولید

Table 3- Quenching the rice yield gap and the contribution of each variable entered in the production equation

متغیر Variable	ضریب در مدل Coefficients	شکل متغیر در مدل Variable in model			عملکرد محاسبه شده با مدل Predicted yield by model			خلاء عملکرد Yield gap ($kg.ha^{-1}$)	درصد خلاء عملکرد Yield gap share
		حداقل Min.	متوسط Mean	حداکثر Max.	بهترین Best	متوسط Mean	بهینه Optimum		
عرض از مبدأ Intercept	6440	-	-	-	-	6440	6440	-	-
پیش‌کاشت کلزا Canola pre-sowing (X_1)	-425	0	0.08	1	0	-34	0	34	2
تناوب زراعی Crop rotation (X_2)	307	0	0.64	1	1	197	307	111	5
بذر گواهی‌شده Certified seed (X_3)	256	0	0.45	1	1	115	256	141	7
تاریخ بذرپاشی در خزانه Seeding in nursery (X_4)	-9	0	26.11	58	1	-232	-9	223	11
مصرف کود سرک N top dressing (X_5)	495	0	0.34	1	1	168	495	327	16
پتاسیم خالص در هکتار K usage (X_6)	10	0	32.60	100	100	326	1000	674	33
نیتروژن بعد از گلدهی N after flowering (X_7)	146	0	0.78	3	3	114	438	324	16
محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها Foliar application (X_8)	314	0	0.32	1	1	100	314	214	10
عملکرد شلتوک Paddy yield ($kg.ha^{-1}$)	-	6100	7178	8200	-	7194	9241	2047	100

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که در مدل رگرسیونی، متغیرهایی مثل پیش‌کاشت کلزا، تناوب زراعی، بذر گواهی شده، تاریخ بذرپاشی، مصرف کود سرک، مصرف پتاسیم، مصرف نیتروژن بعد از گلدهی و محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها به‌عنوان متغیرهای مستقل وارد معادله نهایی تولید شدند و به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مدیریتی مؤثر بر عملکرد در منطقه بودند. کل خلاء عملکرد تخمین زده شده برابر ۲۰۴۷ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. مقدار افزایش عملکرد مربوط به اثر تناوب زراعی و بذر گواهی شده به‌ترتیب برابر ۱۱۱ و ۱۴۱ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین، میزان افزایش عملکرد مربوط به متغیر کود سرک، مصرف پتاسیم و مصرف نیتروژن بعد از گلدهی به‌ترتیب برابر ۳۲۷، ۶۷۴ و ۳۲۴ کیلوگرم در هکتار معادل ۱۶، ۳۳ و ۱۶ درصد از کل افزایش عملکرد بود. علاوه بر این، سهم خلاء عملکرد مربوط به متغیر محلول‌پاشی ریزمغذی برابر ۲۱۴ کیلوگرم معادل ۱۰ درصد از کل بود. سهم خلاء عملکرد مربوط به دو متغیر پیش‌کاشت کلزا و تاریخ بذرپاشی به‌ترتیب برابر دو و ۱۱ درصد از کل افزایش عملکرد (دو و ۲۲۳ کیلوگرم در هکتار) بود. بنابراین، بر اساس یافته‌ها می‌توان اعلام کرد که دقت مدل (معادله تولید) مناسب بوده و می‌تواند برای برآورد میزان خلاء عملکرد و تعیین سهم هر یک از متغیرهای محدودکننده تولید برنج در شرایط آب و هوایی مشابه با منطقه نکا به کار گرفته شود.

منابع

Aghagolzadeh, H. 2010. Rice guide (Harvesting and Post-harvest). Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). Staff Training Office (STO), Agricultural Education Publisher 220 pp. (In Persian)

Amiri Larijani, B. 2010. Rice guide (Land Preparation and Planting). Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). Staff Training Office (STO), Agricultural Education Publisher 1: 179. (In Persian)

Amiri Larijani, B., Aghagolzadeh, H., and Ramzanpour, Y. 2010. Rice guide (Land Preparation and Planting). Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). Staff Training Office (STO), Agricultural Education Publisher 2: 170. (In Persian)

Bruinsma, J. 2009. The resource outlook to 2050: by how much do lamd, water and crop yields meed to increase by 2050? FAO Expert Meeting on How to Feed the World in 2050. Rome.

Dastan, S., Noormohamadi, G., Madani, H., and Soltani, A. 2015. Analysis of Energy Indices in Rice Production Systems in the Neka Region. Journal of Environmental Sciences 13(1): 53-66. (In Persian with English Summary)

Dastan, S., Soltani, A., and Alimagham, M. 2017. Documenting the process of local rice cultivars production in two conventional and semi-mechanized planting methods in Mazandaran province. Cereal Research 7(4): 485-502. (In Persian with English summary)

De Bie, C.A.J.M. 2000. Yield gap studies through comparative performance analysis of agro-ecosystems. International Institute for Aerospace and Earth Science (ITC), Enschede. The Netherlands, 234 p.

Delmotte, S., Tittonell, P., Moureta, J.C., Hammonda, R., and Lopez-Ridaura, S. 2011. On farm assessment of rice yield variability and productivity gaps between organic and conventional cropping systems under Mediterranean climate. European Journal of Agronomy 35: 223-236.

Espe, M.B., Yang, H., Cassman, K.G., Guilpart, N., Sharifi, H., and Linquist, B.A. 2016a. Estimating yield potential in temperate high-yielding, direct-seeded US rice production systems. Field Crops Research 193: 123-132.

Espe, M.B., Cassman, K.G., Yang, H., Guilpart, N., Grassini, P., Van Wart, J., Anders, M., Beighley, D., Harrell, D., Linscombe, S., McKenzie, K., Mutters, R., Wilson, L.T., and Linquist, B.A. 2016b. Yield gap analysis of US rice production systems shows opportunitiesfor improvementMatthew. Field Crops Research 196: 276-283.

Habibi, E., Niknejad, Y., Fallah, H., Dastan, S., and Barari, D. 2019a. Estimation of yield gap of rice by comparative performance analysis (CPA) in the Amol and Rasht regions. Journal of Plant Production. In Pess (In Persian with English Summary)

Habibi, E., Niknejad, Y., Fallah, H., Dastan, S., and Barari, D. 2019b. Life cycle assessment of rice production systems in different paddy field size levels in north of Iran. Environmental Monitoring and Assessment 191:202.

Haghshenas, H., Soltani, A., Ghanbari, A., Ajamnoroozi, H., and Dastan, S. 2018. Identification of effective agronomic traits on yield of local rice cultivars using multiple regression models. Journal of Agroecology 8(2): 13-28. (In Persian with English Summary)

Hajarpoor, A., SoltanI, A., and Torabi, B. 2015. Using boundary line analysis in yield gap studies: Case study of wheat in Gorgan. Electronic Journal of Crop Production 8(4): 183-201. (In Persian with English Summary)

Halalkhor, S., Dastan, S., Soltani, A., and Ajam Norouzi, H. 2018. Documenting the process of rice production and yield gap associated with crop management in local cultivars of rice production (case study: Mazandaran province, Babol region). Agricultural Crop Management 19(3): 397-414. (In Persian with English summary)

Hochman, Z., Gobbett, D., Holzworth, D., McClelland, T., van Rees, H., Marinoni, O., Garcia, K.N., and Horan, H. 2013. Reprint of Quantifying yield gaps in rain-fed cropping systems: A case study of wheat in Australia. Field Crops Research 143: 65-75.

Kayiranga, D. 2006. The effects of land factors and management practices on rice yields. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enscheda (ITC).The Netherlands.72 p.

Kamkar, B., Koochaki, A., Nasiri Mahalati, M., and Rezvani Moghaddam P. 2007. Yield gap analysis of cumin in nine regions of Khorasan province using modeling approach. Iranian Journal of Field Crops Research 5(2): 333-341. (In Persian with English Summary)

Lobell, D.B., Cassman, K.G., and Field, C.B. 2009. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. Annual Review of Environment and Resources 34: 179-204.

Majidi, F., and Padasht, F. 2010. Rice guide (Pests and Diseases). Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). Staff Training Office (STO), Agricultural Education Publisher 150p. (In Persian)

Mirkamali, H. 2010. Guide to weeds in rice fields and the control methods. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO). Staff Training Office (STO), Agricultural Education Publisher 214p. (In Persian)

Mueller, N.D., Gerber, J.S., Johnston, M., Ray, D.K., Ramankutty, N., and Foley, J.A. 2012. Closing yield gaps through nutrient and water management. Nature 490: 254-257.

Nezamzadeh, E., Dastan, S., Soltani, A., and Ajam Norouzi, H. 2019. Evaluation of yield gap associated with crop management in rapeseed production using comparative performance analysis (CPA) and boundary-line analysis (BLA) methods in Neka region. Applied Field Crops Research. In Press. (In Persian with English Summary)

Rajapakse, D.C., 2003. Biophysical factors defining rice yield gaps. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede (ITC).The Netherlands. 80 p.

Silva, J.V., Reidsma, P., Laborte, A.G., and van Ittersum, M.K. 2017. Explaining rice yields and yield gaps in Central Luzon, Philippines: An application of stochastic frontier analysis and crop modeling. European Journal of Agronomy 82: 223-241.

Soltani, A., and Maddah, V. 2010. Simple applications for agriculture education and research. Agroecology Association, University of Shahid Beheshti, Tehan, Iran 80 p. (In Persian)

Soltani, A., Hajjarpoor, A., and Vadez, V. 2016. Analysis of chickpea yield gap and water-limited potential yield in Iran. Field Crops Research 185: 21-30.

Tanaka, A., Diagne, M., and Saito, K. 2015. Causes of yield stagnation in irrigated lowland rice systems in the Senegal River Valley: Application of dichotomous decision tree analysis. Field Crops Research 176: 99-107.

Tanaka, A., Saito, K., Azoma, K., and Kobayashi, K. 2013. Factors affecting variation in farm yields of irrigated lowland rice in southern-central Benin. European Journal of Agronomy 44: 46-53.

Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., and Soltani, E. 2012. Documenting the process of wheat production in Gorgan. Journal of Plant Production 19(4): 19-42. (In Persian with English Summary)

Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, E., and Kazemi Korgehei, M, 2013. Ranking factors causing the wheat yield gap in Gorgan. Electronic Journal of Crop Production 6(1): 171-189. (In Persian with English Summary)

Torabi, M.H., Soltani, A., Dastan, S. and Ajam Norouzi, H. 2019. Assessment of energy flow, carbon saving, and greenhouse gas emission in rice production scenarios. Environmental Sciences 16(4): 187-212. (In Persian with English Summary)

Van Ittersum, M.K., Cassman, K.G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., and Hochman, Z. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance-A review. Field Crops Research 143: 4-17.

Van Wart, J., Kersebaum, K.C., Peng, S., Milner, M., and Cassman, K.G. 2013. Estimating crop yield potential at regional to national scales. Field Crops Research 143: 34-43.

Xu, X., He, P., Zhaoa, S., Qiua, S., Johnstond, A.M., and Zhou, W. 2016. Quantification of yield gap and nutrient use efficiency of irrigated rice in China. Field Crops Research 186: 58-65.

Yousefian, M., Dastan, S., Soltani, A., and Ajam Norouzi, H. 2018. Estimation of yield gap in local rice cultivars by using CPA and BLF Methods (case study: Mazandaran province, Sari region). Journal of Crop Management 10(3): 265-288. (In Persian with English Summary)

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 277-294

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۲۹۴-۲۷۷

Evaluation of Potential Yield and Yield Gap Associated with Crop Management in Improved Rice Cultivars in Neka Region

A. Gorjizad[1], A. Soltani[2], S. Dastan[3*] and H. Ajamnoroozi[4]

Submitted: 16-09-2017
Accepted: 31-12-2017

Gorgizad, A., Soltani, A., Dastan, S., and Ajamnoroozi, H. 2019. Evaluation of potential yield and yield gap associated with crop management in improved rice cultivars in Neka region. Journal of Agroecology 11(1):277-294.

Introduction

Rice (*Oryza sativa* L.) is the staple food of more than half of the world's population and has an obvious effect in feeding, income and job creation of people in the world especially, Iran. The rice cultivation area in the world during the past years has been from 145 million hectares to over 160 million hectares. The last global statistics showed that paddy yield and white rice production were 742 and 492.2 million tons respectively in 2014. The same amount is predicted for 2016. Yield gap analysis is providing a little estimation of increased production capacity which is one important component in designing food providing strategy in regional, national scale and world-wide surface. Due to the existing anxiety about discussions of food security, studies are also increasing globally and in Iran is necessary to estimate the quantity of yield gap and the reasons behind it by appropriate statistical methods, or in other words, detecting the restricting parameters of potential yield. As it was mentioned several factors prevent farmers to reach attainable yield in many crops. It seemed that by defining the effectiveness of each management parameters on the amount of presented yield gap and consequently farmer's knowledge on that matter, the distance between actual yield and attainable yield can be reduced. In this research estimation of potential yield, yield gap and determining yield restricting factors and each of their portions in creating yield gap is investigated.

Material and Methods

The research was done in 100 paddy fields between the Alborz Mountains range and the Caspian Sea in 2016. In this research, all managerial operations from nursery preparation to harvest for modified rice cultivars were recorded through field studies in Neka, Mazandaran, Iran from 2015-2016. All farm cases are pertaining to improved cultivars. The improved rice cultivars were Shiroodi, Neda, Fajr, Ghaem, Khazar, and Nemat, respectively.

Field identifications were done in a way that includes all main production procedure in a specific region with variation in management viewpoint. For defining the yield model (production model), the relationship between all measured variables and the final model was designed by controlled trial and error method. The final model was obtained through the controlled trial and error method, which can quantify the effect of yield limitations. The average paddy yield was calculated by the model by placing the observed average variables (Xs) in the fields under study in the yield model. Thereafter, by putting the best-observed value of the variables in the yield model, the maximum obtainable yield was calculated. The difference between these two has been considered as yield gap. Different procedures of the software SAS version 9.1 were used for analysis.

Results and Discussion

Data analysis revealed that seed consumption was varied from 30 to 120 kg.ha^{-1}. The range of seedling age variable was from 20 to 60 days old. In 100 paddy fields planting density were 16 to 40 plants per m^2. Nitrogen usage by 26% of farmers was among 69 to 92 kg.ha^{-1} and 16% of the farmers consumed 92 to 115 kg N per hectare.

1and 3- PhD Student and Assistant professor Department of Agronomy, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan
2- Professor, Department of Plant Production, Gorgan Agricultural and Natural Science University, Gorgan
4- Postdoctoral Research Scholar, Department of Genetic Engineering, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Iran
(*- Corresponding Author Email: dastan@abrii.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v11i1.67430

Potassium application was varied from 0 to 100 kg K ha^{-1} which within 60% of the field's potassium usage was less than 35 kg K ha^{-1}. The range of paddy yield in 100 paddy fields was varied from 6100 to 8200 $kg.ha^{-1}$ that in 40% of the studied fields, the paddy yield was from 7000 to 7600 $kg.ha^{-1}$. In the CPA model, the paddy yield increasing related to the effect of N top dressing, K usage and N usage after flowering was 327, 674 and 324 $kg.ha^{-1}$.

Conclusion

Therefore, the actual yield and yield potential were estimated to be 7194 and 9241 $kg.ha^{-1}$, respectively and the yield gap was 2047 $kg.ha^{-1}$. Therefore, regarding the fact that calculated potential yield was reached through actual data in each paddy field, it has been stated that this yield potential is attainable.

Keywords: Attainable yield, CPA, Documentation, Management factors, Rice

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۳۰۷-۲۹۵

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 295-307

اثر مدیریت تغذیه‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت (*Zea mays* L.) تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی

عصمت محمدی[۱]، حمیدرضا اصغری[۲]*، احمد غلامی[۲] و سرور خرم دل[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۰

محمدی، ع.، اصغری، ح.ر.، غلامی، ا.، و خرم دل، س. ۱۳۹۸. اثر مدیریت تغذیه‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت (*Zea mays* L.) تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱(۱): ۳۰۷-۲۹۵.

چکیده

به منظور بررسی اثر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر گیاه ذرت سینگل کراس ۷۰۴ (*Zea mays* L.)، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود در سال ۹۵-۱۳۹۴ اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل سیستم‌های خاک‌ورزی در دو سطح (مرسوم و کم‌خاک‌ورزی) به عنوان عامل اصلی و مدیریت تغذیه‌ای در هفت سطح شامل (شاهد، کود شیمیایی، کود دامی، بیوچار، کود شیمیایی + دامی، کود شیمیایی + بیوچار و کود دامی + بیوچار) به عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد که مدیریت تغذیه‌ای اثر معنی‌داری بر عناصر غذایی، پروتئین دانه، ویژگی‌های بلال، وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت داشت.کمترین و بیشترین نیتروژن دانه، وزن بلال، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه به ترتیب مربوط به شاهد و کود شیمیایی بود. کود شیمیایی + دامی نیتروژن دانه، وزن بلال، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را به ترتیب ۱۳/۸۹، ۴۷/۵۶،۰۴/۱۹ و ۶۰/۴۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. همچنین کود شیمیایی + بیوچاربه ترتیب باعث افزایش ۱۴/۸۱، ۵۲/۷۸، ۴۲/۶۹ و ۵۶/۳۲ درصدی نیتروژن دانه، وزن بلال، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه نسبت به شاهد شد. کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار با کود شیمیایی تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند. همچنین بین دو سطح خاک‌ورزی مرسوم و کم‌خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری در عناصر غذایی، پروتئین دانه، ویژگی‌های بلال، وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت مشاهده نشد. بنابراین می‌توان به منظور جلوگیری از اثرات مخرب خاک‌ورزی مرسوم و آلایندگی خاک‌های اراضی زراعی به کود شیمیایی نیتروژن و حفظ کیفیت و سلامت خاک، استفاده از کم‌خاک‌ورزی به همراه کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار را توصیه نمود.

واژه‌های کلیدی: بیوچار، پروتئین دانه، خاک‌ورزی مرسوم، عملکرد دانه، کم‌خاک‌ورزی، کود دامی

مقدمه

استفاده از سیستم‌های خاک‌ورزی رایج به شدت لایه سطحی خاک را تخریب می‌کنند (Six et al., 1999). در کوتاه‌مدت این نوع سیستم‌های خاک‌ورزی، محیط فیزیکی مناسبی را برای جوانه‌زنی، رشد اولیه سریع گیاه، جذب عناصر غذایی و عملکرد بالای محصول فراهم می‌کنند، ولی به هر حال در طولانی مدت باعث تخریب ساختمان خاک، افزایش معدنی شدن ماده آلی، کاهش محتوای عناصر غذایی خاک، فشردگی و فرسایش خاک می‌شوند همه این فرآیندها ساختار خاک را تخریب می‌کند و مانع از پایداری اراضی زراعی می‌شود (Fernandez et al., 2009). از این‌رو، اتخاذ شیوه‌های خاک‌ورزی حفاظتی[۱]، به عنوان مثال سیستم‌های بدون‌خاک‌ورزی[۲] و کم‌خاک‌ورزی[۳] به میزان زیادی در دو دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است (Triplett & Dick, 2008). خاک‌ورزی حفاظتی به دلیل فواید آن شامل کاهش فرسایش خاک، صرفه‌جویی در زمان، نیروی کار، آب، سوخت و بهبود کیفیت خاک یکی از تکنولوژی‌های مهم در کشاورزی پایدار می‌باشد.

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکترای اکولوژی گیاهان زراعی و دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود
۳- دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: hamidasghari@gmail.com)

DOI:10.22067/jag.v11i1.65869
1- Conservation tillage
2- No tillage
3- Reduced tillage

در بررسی سه سیستم خاک‌ورزی مرسوم (گاوآهن برگرداندار + دوبار دیسک + ماله)، کم‌خاک‌ورزی (دوبار دیسک) و بی‌خاک‌ورزی (کاشت مستقیم بذر) افضلی‌گروه و همکاران (Afzaligrouh et al., 2012) گزارش کردند که خاک‌ورزی مرسوم و کم‌خاک‌ورزی به ترتیب با میانگین ۹۶۳۸/۷۵۰ و ۹۸۳۵/۲۵۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه ذرت را به خود اختصاص دادند و از نظر آماری در یک گروه و بی‌خاک‌ورزی با کمترین عملکرد ۷۲۵۷/۵ کیلوگرم در هکتار در گروه دیگر قرار گرفت. همچنین نتایج تحقیقات چن و همکاران (Chen etal., 2011) نشان داد که در دو منطقه مورد مطالعه در سیستم بی‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم، عملکرد سویا (*Glycine max* Merril.) ۸/۹–۱۳/۸ درصد افزایش و عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) ۱۵/۷–۲۸/۴ درصد کاهش پیدا کرد.

ذرت به دلیل نقش آن در تأمین مواد غذایی بشر و سطح بالای تولید، یکی از مهمترین گیاهان زراعی در جهان می‌باشد. از میان عناصر ماکرو (NPK)، کود نیتروژن در بسیاری از خاک‌ها بیشترین تأثیر را در افزایش عملکرد گیاه ذرت دارد. این عنصر در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه، نقش اصلی را ایفا می‌کند. در سیستم‌های کشاورزی فشرده، استفاده از کودهای نیتروژن افزایش یافته است، این افزایش استفاده از کودهای شیمیایی همراه با هدررفت بالای نیتروژن از خاک‌های کشاورزی به محیط زیست همراه شده است (Bouwman et al., 2002) و از میان انواع مختلف کودهای نیتروژن موجود، کود اوره به میزان زیادی در سراسر جهان استفاده می‌شود. استفاده از این نوع کود همراه با آزادسازی مقدار زیادی آمونیاک (NH_3) می‌باشد، این شرایط باعث به خطر افتادن سلامت انسان و محیط، کاهش کارایی استفاده از کود، اسیدی شدن، غنی شدن اکوسیستم‌های طبیعی از نیتروژن و شکل‌گیری ذرات خیلی کوچک در هوا (Turner et al., 2010) و همچنین باعث افزایش انتشار اکسید نیتریک (NO) و اکسید نیتروژن (N_2O) به اتمسفر و ورود نیترات به آب‌های زیرزمینی می‌شود.

امروزه با در نظر گرفتن مسائل و مشکلات ناشی از استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی، استفاده از کودهای آلی در کشاورزی اهمیت زیادی یافته است. بیوچار از سوزاندن ناقص بیوماس در غیاب اکسیژن بدست می‌آید. این ماده غنی از کربن می‌باشد و به دلیل توانایی بیوچار در ذخیره‌سازی کربن برای صدها و هزاران سال و کاهش گازهای گلخانه‌ای توجه زیادی به آن شده است (Lehmann, 2007). به هر حال گزارش شده است که حضور آن در خاک باعث بهبود خصوصیات شیمیایی (pH و ظرفیت تبادل کاتیونی)، خصوصیات فیزیکی خاک (ظرفیت نگهداری آب و هدایت هیدرولیکی) و عملکرد محصول (Liu et al., 2014; Zheng et al., 2013; Major et al., 2010) می‌شود. بنابراین، ممکن است بیوچار به عنوان یک تکنولوژی برد–برد برای کاهش گرمایش جهانی و امنیت غذایی پیشنهاد شود (Lehmann, 2007). در یک بررسی بر روی گیاه ذرت حاصلخیزی خاک مخصوصاً کربن آلی خاک، فسفر قابل دسترس، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در اثر استفاده از بیوچار بهبود یافت و با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، جذب عناصر غذایی و عملکرد آن افزایش یافت (Sukartono et al., 2011). همچنین استفاده از ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به همراه ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار بیوچار به ترتیب باعث افزایش ۸/۸ و ۱۲/۱ درصدی عملکرد ذرت شدند در حالی‌که در شرایط استفاده از ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار بیوچار به تنهایی، عملکرد ذرت به ترتیب ۱۵/۸ و ۷/۳ درصد افزایش یافت (Zhang et al., 2012). در گندم دوروم هم استفاده از ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار بیوچار منجر به بهبود عملکرد آن شد و اثر بیوچار بر گندم دوروم برای دو سال متوالی حفظ شد، زمانی که استفاده از بیوچار در سال دوم تکرار نشد (Vaccari et al., 2011).

کود دامی نیز می‌تواند خاک را غنی کرده و باعث افزایش محصول شود. در یک پژوهش استفاده از کود دامی به همرا کود شیمیایی به طور معنی‌داری عملکرد ذرت را در مقایسه با کود شیمیایی افزایش داد و باعث افزایش ماده آلی و بهبود کیفیت خاک شد (Vogeler et al., 2009). در پژوهش دیگری عملکرد دانه و جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاهان ذرت و گندم در تیمارهای کود دامی و کود شیمیایی (NPK) نسبت به شاهد افزایش یافت (Rasool et al., 2008).

اثرگذاری سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی بر روی رشد گیاه پیچیده بوده و عکس‌العمل گیاه به خاک‌ورزی در مناطق مختلف جغرافیایی متفاوت است و از طرفی استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی می‌تواند حاصلخیزی خاک و تولید محصول را در درازمدت کاهش و موجب تخریب خاک، تهدید امنیت غذایی و خروج دی اکسیدکربن شود. بنابراین در سال‌های اخیر به حفظ کیفیت خاک و اهمیت آن برای توسعه کشاورزی پایدار توجه زیادی شده است. به همین منظور آزمایش مورد نظر با هدف بررسی تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر عملکرد گیاه ذرت سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط آب و هوایی شاهرود به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت سینگل کراس ۷۰۴ آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود در سال ۹۵–۱۳۹۴ به اجرا درآمد. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. قبل از شروع آزمایش از عمق ۳۰–۰ سانتی‌متری خاک و همچنین از کود دامی و بیوچار برای تعیین برخی از خصوصیات آنها نمونه‌برداری به عمل آمد که نتایج آن در جداول ۱و ۲ ارائه شده است. عامل اصلی در دو سطح شامل خاک‌ورزی مرسوم (گاوآهن برگرداندار+ یک بار

دیسک) و کم‌خاک‌ورزی (چیزل) و عامل فرعی نیز در هفت سطح شامل شاهد، کود شیمیایی (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل)، کود دامی (۲۰ تن در هکتار)، بیوچار (۲۰ تن در هکتار)، کود شیمیایی + کود دامی (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل و ۱۰ تن در هکتار کود دامی)، کود شیمیایی+ بیوچار (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل و ۲۰ تن در هکتار بیوچار) و کود دامی+ بیوچار (۲۰ تن در هکتار بیوچار و ۱۰ تن در هکتار کود دامی) در نظر گرفته شد. بیوچار مورد استفاده، در یک کوره از چوب گردو و از کود گاوی به عنوان کود دامی استفاده شد.

جدول ۱- ویژگی‌های خاک قبل از آزمایش
Table 1- Soil properties before the start of experiment

بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی OC (%)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل دسترس Available P (ppm)	پتاسیم قابل دسترس Available K (ppm)
لوم سیلتی Silty loam	8.36	0.71	0.6	0.066	5.54	240

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی مواد آلی (کود دامی و بیوچار) مورد استفاده در آزمایش
Table 2- Chemical properties of organic matters (manure and biochar) used in the experiment

ماده آلی Organic matter	اسیدیته pH	کربن آلی OC (%)	نیتروژن کل Total N (%)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	فسفر (درصد) P (%)	پتاسیم (درصد) K (%)
کود دامی Manure	8.10	16.62	0.65	8.4	1.2	4
بیوچار Biochar	8.52	41.15	0.16	0.33	0.01	0.84

در فصل بهار، بعد از اعمال سیستم‌های خاک‌ورزی و اضافه کردن کود دامی، بیوچار و کود سوپرفسفات تریپل اقدام به کاشت گردید. هر کرت فرعی شامل ۵ ردیف کاشت به طول ۶ متر و به فاصله ۷۰ سانتی‌متر بود. در نیمه اول خردادماه سال ۱۳۹۴ بذور ذرت سینگل کراس ۷۰۴ بر روی ردیف‌ها با فاصله ۲۰ سانتی‌متر کاشته شدند. بلافاصله بعد ازکاشت، آبیاری با نوار تیپ انجام و آبیاری‌های بعدی هر سه روز در میان انجام شد. کود نیتروژن از منبع اوره بود که در سه مرحله (۱/۳ در موقع کاشت، ۱/۳ در مرحله ۸ برگی و ۱/۳ قبل از گلدهی) استفاده شد. علف‌های هرز نیز در دو مرحله به صورت دستی وجین شدند.

دو ردیف کناری به همراه نیم متر از ابتدا و انتهای ردیف‌ها به عنوان حاشیه محسوب گردید. در مرحله رسیدگی کامل تعداد ۱۰ بوته به طور تصادفی انتخاب شدند و صفاتی مانند ارتفاع بوته، قطر ساقه، قطر بلال، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، طول بلال و وزن صد دانه روی آن‌ها اندازه‌گیری شد. همچنین عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و میزان پروتئین دانه (درصد نیتروژن دانه × ۶/۲۵) هم تعیین شدند. نمونه‌های گیاهی پس از انتقال به آزمایشگاه در پاکت‌های جداگانه قرار داده شدند و در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند.

درصد نیتروژن دانه با استفاده از کجلدال و فسفر دانه به روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات وانادات) با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Emami, 1996). برای تجزیه‌های آماری از نرم‌افزار SAS 9.2 استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید و محاسبه همبستگی بین صفات با نرم‌افزار SPSS 22 و اشکال در اکسل ترسیم شدند.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته و قطر ساقه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سیستم‌های خاک‌ورزی بر ارتفاع بوته و قطر ساقه ذرت تأثیر معنی‌دار ندارد، ولی مدیریت تغذیه‌ای بر ارتفاع بوته و قطر ساقه دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۳).

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر وزن صد دانه، عملکرد و شاخص برداشت ذرت

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) for the effects of tillage and nutrient management on 100 grain weight, yield and harvest index of maize

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	وزن صد دانه 100 grain weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	0.3	13653130.7	4184164.1	0.8
خاک‌ورزی (A) Tillage (A)	1	0.1 ns	7785601.2ns	1355408.9 ns	3.5 ns
خطای اصلی Main error	2	1.7	1568247.6	346353.5	2.3
مدیریت تغذیه‌ای Nutrient management (B)	6	16.5**	38170521.1**	19341758.0**	62.7**
A×B	6	1.8 ns	2749595.0 ns	809180.7 ns	3.5 ns
خطای فرعی Sub error	24	1.1	1639244.7	717911.9	5.6
CV (%)		4.4	8.9	11.1	4.5

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر خاکورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر ارتفاع، قطر ساقه، عناصر غذایی دانه، پروتئین دانه و ویژگی‌های بلال ذرت

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) for the effects of tillage and nutrient maagement on height, stem diameter, grain nutrients and grain protein and ear characteristics of maize

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع Height	قطر ساقه Stem diameter	نیتروژن دانه Grain N	فسفر دانه Grain P	پروتئین دانه Grain protein	طول بلال Ear length	قطر بلال Ear diameter	وزن بلال Ear weight	تعداد ردیف در بلال Number of row in ear	تعداد دانه در ردیف Number of grain per row
تکرار Replication	2	77.5	4.4	0.067	0.00007	2.6	2.0	0.9	1425.2	0.2	50.3
خاک‌ورزی (A) Tillage (A)	1	140.2 ns	8.3 ns	0.005 ns	0.00044 ns	0.2 ns	0.1 ns	0.0 ns	408.6 ns	6.1 ns	89.1 ns
خطای اصلی Main error	2	70.1	0.8	0.007	0.00005	0.3	0.7	1.6	125.1	1.2	13.7
مدیریت تغذیه‌ای Nutrient management (B)	6	101.1**	8.2**	0.035**	0.00022**	1.4**	14.9**	37.3**	5403.4**	2.2*	108.9**
A×B	6	44.5 ns	1.9 ns	0.005 ns	0.00002 ns	0.2 ns	1.4 ns	1.5 ns	236.2 ns	0.2 ns	5.3 ns
خطای فرعی Sub error	24	21.1	0.8	0.005	0.00003	0.2	0.6	0.6	203.2	0.6	8.4
CV (%)		2.7	4.8	5.8	6.2	5.8	5.1	1.9	10.7	5.6	8.0

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج ویک درصد

ns, * and **: are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

بر اساس مقایسه میانگین‌ها، کود شیمیایی+ دامی بیشترین ارتفاع بوته و کود شیمیایی بیشترین قطر ساقه را به ترتیب با متوسط ۱۷۳/۶۲ سانتی‌متر و ۱۹/۹۹ میلی‌متر دارا بودند و کمترین ارتفاع بوته و قطر ساقه نیز مربوط به شاهد با متوسط ۱۶۲/۸۷ سانتی‌متر و ۱۶/۵۵ میلی‌متر بود (جدول ۵).

به نظر می‌رسد که در تیمارهای کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی قابلیت دسترسی به عناصر غذایی افزایش یافته و شرایط بهتری برای رشد گیاه فراهم شده و افزایش ارتفاع بوته و قطر ساقه در آن‌ها مشاهده شد.

ارتفاع بوته از بالاترین همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد بیولوژیک برخوردار بود (۰/۶۷) و قطر ساقه نیز بالاترین همبستگی را با وزن صد دانه داشت (۰/۶۵) (جدول ۶). هر چه ارتفاع گیاه افزایش یابد، برگ‌های جوان در مقایسه با برگ‌های قدیمی نور خورشید را با کارایی بیشتری جذب نموده که باعث افزایش فتوسنتز و عملکرد گیاه خواهد شد (Tabatabaei et al., 2014). محققین دیگر نیز نتایج مشابه را گزارش کرده‌اند (Tabatabaei et al., 2014; Khavari Khorasani et al., 2010). اثر متقابل سیستم‌های خاک‌ورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر ارتفاع بوته و قطر ساقه معنی‌دار نبود (جدول ۳).

عناصر غذایی و پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سیستم‌های خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر میزان عناصر غذایی و پروتئین دانه ندارد، اما مدیریت تغذیه‌ای در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری بر میزان عناصر غذایی و پروتئین دانه داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان نیتروژن دانه به کود شیمیایی و کمترین آن به شاهد تعلق داشت (به‌ترتیب ۱/۲۹ و ۱/۰۸ درصد) و بین کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار با کود شیمیایی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۵). احتمالاً کود شیمیایی باعث شده نیتروژن بیشتری در مقایسه با سایر سطوح تغذیه‌ای در اختیار گیاه قرار گیرد و به همین علت میزان نیتروژن دانه در این تیمار بالاتر می‌باشد. این نتایج با یافته‌های مجاب قصرالدشتی و همکاران (Mojab Ghasrodashti et al., 2014) و امیرآبادی و همکاران (Amirabadi et al., 2012) همخوانی دارد.

همانطور که در جدول ۵ ملاحظه می‌شود، بیشترین و کمترین فسفر دانه به ترتیب به کود دامی و شاهد تعلق داشت (به ترتیب ۰/۰۹۷ و ۰/۰۸۰ درصد). همچنین کود شیمیایی+ دامی و کود شیمیایی + بیوچار به ترتیب باعث افزایش ۷/۵ و ۸/۷۵ درصدی فسفر دانه نسبت به شاهد شدند که از نظر آماری با کود شیمیایی تفاوت معنی‌داری نداشتند. به نظر می‌رسد کود دامی دارای فسفر قابل جذب بیشتری بوده، به همین علت فسفر دانه افزایش یافته است. افزایش جذب نیتروژن و فسفر در ذرت در تیمارهای کود دامی+ NK و کود دامی+ NPK و افزایش جذب نیتروژن در گندم در اثر استفاده از کود نیتروژن + بیوچار در سایر پژوهش‌ها هم (Vanzwieten et al., 2010; Vogeler et al., 2009) گزارش شده است.

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر مدیریت تغذیه‌ای بر ارتفاع، قطر ساقه، عناصر غذایی دانه، ویژگی‌های بلال، وزن صد دانه و شاخص برداشت ذرت

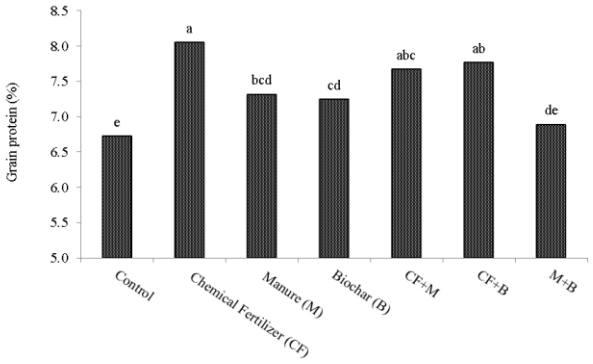
Table 5- Mean comparison for the effects of nutrient management on height, stem diameter, grain nutrient, ear characteristics, 100 grain weight and harvest index of maize

تیمارها Treatments	ارتفاع Height (cm)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	نیتروژن دانه Seed N (%)	فسفر دانه Seed P (%)	طول بلال Ear length (cm)	قطر بلال Ear diameter (mm)	تعداد ردیف در بلال Number of row in ear	تعداد دانه در ردیف Number of grain per row	وزن صد دانه 100 grain weight (g)	شاخص برداشت Harvest index (%)
شاهد Control	162.87^{c*}	16.55^{c}	1.08^{c}	0.080^{c}	12.98^{c}	40.28^{c}	13.50^{c}	32.62^{b}	21.97^{c}	48.68^{b}
کود شیمیایی Chemical Fertilizer (CF)	167.83^{bc}	19.99^{a}	1.29^{a}	0.091^{ab}	16.65^{a}	45.67^{a}	14.83^{a}	41.05^{a}	25.79^{a}	56.62^{a}
کود دامی Manure (M)	166.29^{c}	18.59^{b}	1.17^{bcd}	0.097^{a}	14.04^{b}	41.32^{b}	14.33^{abc}	32.96^{b}	23.34^{b}	50.28^{b}
بیوچار Biochar (B)	163.56^{c}	18.04^{b}	1.16^{cd}	0.083^{cde}	14.17^{b}	40.78^{bc}	13.67^{bc}	32.79^{b}	21.97^{c}	50.66^{b}
دامی + کود شیمیایی CF+M	173.62^{a}	19.83^{a}	1.23^{abc}	0.086^{bcd}	16.52^{a}	45.28^{a}	15.00^{a}	41.08^{a}	25.58^{a}	55.29^{a}
بیوچار + کود شیمیایی CF+B	172.10^{ab}	18.97^{ab}	1.24^{ab}	0.087^{bc}	16.54^{a}	45.58^{a}	14.50^{ab}	40.58^{a}	25.32^{a}	55.51^{a}
بیوچار + کود دامی M+B	165.50^{c}	18.36^{b}	1.10^{de}	0.080^{de}	13.62^{bc}	41.20^{bc}	13.67^{bc}	33.46^{b}	23.33^{b}	50.06^{b}

* میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD ندارند.

* Means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level according to LSD test.

بیشترین و کمترین پروتئین دانه به ترتیب در کود شیمیایی و شاهد بدست آمد و تیمارهای کود شیمیایی+ دامی و کود شیمیایی + بیوچار به ترتیب باعث افزایش ۱۴/۲۸ و ۱۵/۶۲ درصدی پروتئین دانه نسبت به شاهد شدند (شکل ۱).



شکل ۱- اثر مدیریت تغذیه‌ای بر پروتئین دانه گیاه ذرت

میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD ندارند.

Fig. 1- Effect of nutrient management on the grain protein of maize

Means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level according to LSD test

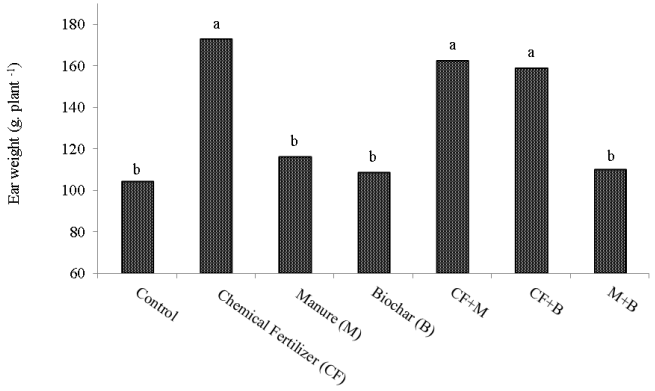
در واقع، با افزایش میزان قابلیت دسترسی به نیتروژن، پروتئین دانه نیز افزایش یافته است که با نتایج امیرآبادی و همکاران (Amirabadi et al., 2012) و تاممورگ و همکاران (Tammeorg et al., 2014) مطابقت دارد. اثر متقابل سیستم‌های خاک‌ورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر میزان عناصر غذایی و پروتئین دانه معنی‌دار نشد (جدول ۳).

بیشترین و کمترین همبستگی نیتروژن دانه به ترتیب به عملکرد بیولوژیک و فسفر دانه و در مورد فسفر دانه به ترتیب به وزن صد دانه و ارتفاع تعلق داشت. وقتی جذب عناصر غذایی در طول دوره رشد گیاه افزایش می‌یابد، این عناصر در برگ‌ها و ساقه‌ها تجمع یافته و در طول دوره رشد زایشی گیاه به دانه انتقال یافته و سبب افزایش عملکرد گیاه می‌شوند. پروتئین دانه نیز از همبستگی مثبت و معنی‌داری با ارتفاع بوته، قطر ساقه، نیتروژن دانه، ویژگی‌های بلال، وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت برخوردار بود (جدول ۶). نتایج مشابه توسط محققین دیگر در گیاهان جو و ذرت گزارش شده است (Sadeghi & Bahrani, 2002; Agegnehu et al., 2016).

ویژگی‌های بلال

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده عدم معنی‌داری اثر سیستم‌های خاک‌ورزی و معنی‌داری اثر مدیریت تغذیه‌ای بر ویژگی‌های بلال می‌باشد (جدول ۳). بیشترین و کمترین طول بلال، قطر بلال و وزن بلال به ترتیب مربوط به کود شیمیایی و شاهد بود. کود شیمیایی+ دامی و کود شیمیایی+ بیوچار به ترتیب وزن بلال را ۵۶/۱۹ و ۵۲/۷۸ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند (شکل ۲).

همچنین استفاده از نیتروژن باعث افزایش تعداد ردیف و تعداد دانه در ردیف بلال گردید. همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، بیشترین تعداد ردیف در بلال و تعداد دانه در ردیف در کود شیمیایی+ دامی بدست آمد و بین کود شیمیایی، کود شیمیایی+ دامی وکود شیمیایی+ بیوچار از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. افزایش ویژگی‌های بلال در شرایط استفاده از کود شیمیایی+ دامی و کود شیمیایی+ بیوچار می‌تواند به دلیل فراهمی میزان مناسبی از عناصر غذایی و بهبود ویژگی‌های خاک باشد. در اوایل رشد در تیمار کود شیمیایی+ دامی و کود شیمیایی+ بیوچار کاهش موقتی نیتروژن توسط کود شیمیایی جبران خواهد شد و با فراهمی مواد آلی باعث ایجاد شرایط بهتری برای انجام فتوسنتز و رشد گیاه می‌شود که در نهایت، منجر به افزایش ویژگی‌های بلال خواهد شد. محققین دیگر گزارش کرده‌اند کود دامی از طریق بهبود کیفیت و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (Mijangos et al., 2006; Zamani Babgohari et al., 2011; Sainju et al., 2008) و افزایش عناصر غذایی قابل دسترس (Khadem et al., 2014) و بیوچار هم با افزایش کارایی استفاده از عناصر غذایی (Peng et al., 2011) و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (Liu et al., 2014) شرایط را برای افزایش کیفیت و عملکرد بالای محصول فراهم می‌کند. مجیدیان و همکاران (Majidian et al., 2008) در یافته‌های خود گزارش کردند استفاده از نیتروژن باعث افزایش طول بلال، وزن بلال، تعداد دانه در ردیف بلال و قطر بلال گردید. بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر متقابل سیستم‌های خاک‌ورزی و مدیریت تغذیه‌ای بر ویژگی‌های بلال معنی‌دار نبود (جدول ۳).



شکل ۲- اثر مدیریت تغذیه‌ای بر وزن بلال گیاه ذرت

میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD ندارند.

Fig. 2- Effect of nutrient management on the ear weight of maize

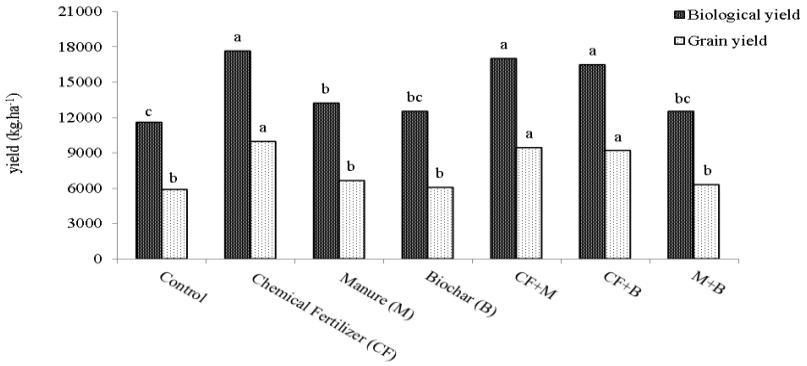
Means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level according to LSD test

ویژگی‌های بلال شامل طول بلال، قطر بلال، وزن بلال، تعداد ردیف در بلال و تعداد دانه در ردیف همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد با عملکرد بیولوژیک و دانه داشتند (جدول ۶). این نتایج با نتایج طباطبایی و همکاران (Tabatabaei et al., 2014) مطابقت دارد.

وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سیستم‌های خاک‌ورزی بر وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۴). عدم معنی‌داری سیستم‌های خاک‌ورزی بر عملکرد گیاه می‌تواند ناشی از عدم تأثیر آن بر کربن آلی، محتوی آب و نیترات خاک باشد. در تحقیق حاضر تغییرات کربن آلی خاک در کم‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم اندک بوده (Mohammadi et al., 2017)، بنابراین با تغییرات اندک در کربن آلی خاک اثر مثبتی بر عملکرد ذرت مشاهده نشد. همچنین سیستم‌های خاک‌ورزی با تغییر محتوی آب و نیترات خاک بر عملکرد گیاهان اثر می‌گذارند (Alvarez & Steinbach, 2009) که در تحقیق حاضر در محتوی آب و نیترات خاک، تفاوت معنی‌داری بین سیستم‌های خاک‌ورزی وجود نداشت (داده‌ها نشان داده نشده است). از طرف دیگر سیستم‌های خاک‌ورزی مختص هر منطقه بوده و میزان اثرگذاری آن‌ها به خاک، اقلیم و دیگر عملیات مدیریتی بستگی دارد، بنابراین در بلندمدت، احتمال اثرگذاری سیستم‌های خاک‌ورزی بر عملکرد گیاه وجود دارد. در این زمینه مالتاس و همکاران (Maltas et al., 2013) مشاهده کردند که سیستم کم‌خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر عملکرد ذرت نداشت و در پژوهش‌های لال (Lal, 2006) نشان داده شد با افزایش محتوی کربن آلی خاک، عملکرد گندم و ذرت افزایش یافت.

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت به طور معنی‌دار (سطح احتمال یک درصد) تحت تأثیر مدیریت تغذیه‌ای قرار گرفتند. براساس مقایسه میانگین‌ها بیشترین وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت از کود شیمیایی بدست آمد که با کود شیمیایی + دامی و کود شیمیایی + بیوچار تفاوت معنی‌داری نداشت اما با شاهد تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول ۵، شکل ۳). کود شیمیایی + دامی عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را ۴۷/۰۴ و ۶۰/۴۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. همچنین کود شیمیایی + بیوچار باعث افزایش ۴۲/۶۹ و ۵۶/۳۲ درصدی عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه نسبت به شاهد شد (شکل ۳). در نتیجه افزایش کود نیتروژن، فعالیت فتوسنتزی، شاخص سطح برگ و دوام سطح برگ افزایش یافته و باعث افزایش عملکرد می‌شود. این نتایج با مطالعه جاگاداما و همکاران (Jagadamma et al., 2008) مطابقت داشت. کود دامی علاوه بر اینکه خود حاوی عناصر غذایی می‌باشد، در صورت کاربرد همراه کود شیمیایی، عناصر غذایی را به طور یکنواخت در طول دوره رشد در اختیار گیاه قرار داده و مانع از کمبود عناصر غذایی در گیاه خواهد شد. بنابراین در تیمارهای کود شیمیایی+ دامی و کود شیمیایی+ بیوچار دسترسی بهتر به عناصر غذایی و وجود ماده آلی باعث ایجاد شرایط بهتر برای فتوسنتز و رشد گیاه می‌شود و این امر می‌تواند توجیه‌کننده افزایش رشد گیاه در این تیمارها باشد



شکل ۳- اثر مدیریت تغذیه‌ای بر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه گیاه ذرت

میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ براساس آزمون LSD ندارند.

Fig. 3- Effect of nutrient management on biological yield and grain yield of maize

Means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level according to LSD test.

جدول ٦- ضرایب همبستگی صفات اندازه گیری شده ذرت

Table 6- Correlation coefficients among the measured traits maize

ردیف Row	شاخص Index	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	ارتفاع Height	1													
2	قطر ساقه Stem diameter	0.24^{ns}	1												
3	نیتروژن دانه Grain nitrogen	0.43**	0.56**	1											
4	فسفر دانه Grain phosphorus	-0.02^{ns}	0.25^{ns}	0.07^{ns}	1										
5	پروتئین دانه Grain protein	0.43**	0.56**	1.00**	0.07^{ns}	1									
6	طول بلال Ear length	0.44**	0.62**	0.64**	0.15^{ns}	0.64**	1								
7	قطر بلال Ear diameter	0.58**	0.57**	0.65**	0.23^{ns}	0.66**	0.83**	1							
8	وزن بلال Ear weight	0.62**	0.59**	0.71**	0.13^{ns}	0.72**	0.82**	0.87**	1						
9	تعداد ردیف در بلال Number of row in ear	0.50**	0.21^{ns}	0.52**	0.15^{ns}	0.52**	0.35*	0.57**	0.57**	1					
10	تعداد دانه در ردیف Number of grain per row	0.63**	0.36*	0.55**	0.02^{ns}	0.56**	0.73**	0.76**	0.79**	0.54**	1				
11	وزن صد دانه 100 - grain weight	0.56**	0.65**	0.54**	0.37*	0.54**	0.68**	0.82**	0.79**	0.47**	0.62**	1			
12	عملکرد بیولوژیک Biological yield	0.67**	0.62**	0.72**	0.10^{ns}	0.72**	0.81**	0.85**	0.98**	0.57**	0.76**	0.77**	1		
13	عملکرد دانه Grain yield	0.62**	0.60**	0.69**	0.15^{ns}	0.70**	0.82**	0.88**	0.99**	0.59**	0.79**	0.80**	0.98**	1	
14	شاخص برداشت Harvest index	0.39*	0.40**	0.47**	0.27^{ns}	0.48**	0.66**	0.78**	0.80**	0.51**	0.70**	0.70**	0.70**	0.83**	1

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

این نتایج با یافته‌های سایر محققین (Major et al., 2010; Peng et al., 2011; Zhang et al., 2012; Majidian et al., 2008).مطابقت داشت. در این زمینه بیان شده است که بیوچار با افزایش pH و قابلیت دسترسی پتاسیم، کلسیم و منیزیم (Major et al., 2010) و بهبود خصوصیات فیزیکی خاک مانند کاهش وزن مخصوص ظاهری، افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی و کارایی استفاده از نیتروژن (Peng et al., 2011; Zhang et al., 2012) عملکرد گیاه ذرت را افزایش می‌دهد و کودهای دامی هم از طریق دارا بودن عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان، افزایش کارایی جذب مواد غذایی و بهبود ساختمان خاک از طریق اتصال ذرات خاک به یکدیگر و تشکیل خاکدانه‌ها باعث افزایش حاصلخیزی خاک و تولید محصول می‌شوند (Tabatabaei et al., 2014).

همان‌گونه که در جدول ۶ نشان داده شده است، وزن بلال، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، قطر بلال و طول بلال با عملکرد دانه ضریب همبستگی مثبت و معنی‌داری (به ترتیب با ۰/۹۹، ۰/۵۹، ۰/۷۹، ۰/۸۸، ۰/۸۲) داشتند. همچنین ارتفاع، قطر ساقه و وزن صد دانه نیز با عملکرد دانه رابطه مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد داشتند (۰/۶۲، ۰/۶۰ و ۰/۸۰). با توجه به شرایط، تیماری که تعداد ردیف در بلال و طول بلال بیشتری داشت، وزن صد دانه و عملکرد دانه نیز بیشتر بود. عملکرد بیولوژیک نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری با ارتفاع بوته، قطر ساقه، نیتروژن دانه، ویژگی‌های بلال، وزن صد دانه، عملکرد دانه و شاخص برداشت داشت. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین وزن صد دانه با تعداد دانه در ردیف (۰/۶۲) و ارتفاع (۰/۵۶) نشان‌دهنده آن است که گیاهان بزرگتر دارای بلال‌های بزرگتر بوده که دانه‌های درشت‌تری را تولید نموده‌اند. همچنین از آنجایی که تعداد دانه‌های درشت‌تر در بلال‌های بزرگتر نسبت به بلال‌های کوچکتر بیشتر است، بنابراین در بلال‌های بزرگتر وزن صد دانه بیشتر بوده است. در سایر پژوهش‌ها هم بالاترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه با بیوماس (Zamani Babgohari et al., 2011; Agegnehu et al., 2016)، وزن هزار دانه و تعداد دانه در بلال (Tabatabaei et al., 2014) گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج بدست آمده بیشترین و کمترین قطر ساقه، نیتروژن دانه، پروتئین دانه، ویژگی‌های بلال، وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت به‌ترتیب مربوط به کود شیمیایی و شاهد بود. هر چند کاربرد کود شیمیایی بیشترین مقدار صفات را دارا بود، اما اختلاف معنی‌داری با کود شیمیایی+ دامی و کود شیمیایی + بیوچار نداشته و از نظر آماری در یک گروه قرار گرفته است. همچنین قرارگیری دو سیستم خاک‌ورزی مرسوم و کم‌خاک‌ورزی در یک گروه آماری نشان‌دهنده این است که می‌توان به جای خاک‌ورزی مرسوم از سیستم کم‌خاک‌ورزی استفاده کرد. بنابراین با توجه به مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی نیتروژن و نیز با توجه به اثرات منفی خاک‌ورزی مرسوم بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، می‌توان توصیه نمود که برای شرایطی مشابه منطقه مورد پژوهش استفاده از کم‌خاک‌ورزی به همراه کود شیمیایی+ دامی و کود شیمیایی+ بیوچار مدنظر قرار گیرد تا علاوه بر افزایش عملکرد گیاه ذرت و صرفه‌جویی در مصرف کود نیتروژن، باعث حفظ کیفیت خاک و محیط‌زیست نیز شد.

منابع

Afzali Gorouh, H., Asoodar M.A., and Khodarahmpoor, Z. 2012. Effect of irrigation method and tillage level on water use efficiency and corn grain yield (*Zea mays* L.) in Kerman. Water and Soil Science 22: 47-58. (In Persian with English Summary)

Agegnehu, G., Nelson, P.N., and Bird, M.I. 2016. Crop yield, plant nutrient uptake and soil physicochemical properties under organic soil amendments and nitrogen fertilization on Nitisols. Soil and Tillage Research 160: 1-13.

Alvarez, R., and Steinbach, H.S. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. Soil and Tillage Research 104: 1-15.

Amirabadi, M., Seifi, M., Rejali, F., and Ardakani, M.R. 2012. Study the concentration of macroelements in forage mays (*Zea mays* L.) (SC 704) as effected by inoculation with mycorrhizal fungi and *Azotobacter chroococcum* under different levels of nitrogen. Journal of Agroecology 4: 33-40. (In Persian with English Summary)

Bouwman, A.F., Boumans, L.J.M., and Batjes, N.H. 2002. Emissions of N_2O and NO from fertilized fields: Summary of available measurement data. Global Biogeochemical Cycles 16: 1-13.

Chen, Y., Liu, S., Li, H., Li, X.F., Song, C.Y., Cruse, R.M., and Zhang, X.Y. 2011. Effects of conservation tillage on corn and soybean yield in the humid continental climate region of Northeast China. Soil and Tillage Research 115: 56-61.

Emami, A. 1996. Methods of plant analysis. Publication No. 982, Soil and Water Research Institute. (In Persian)

Fernández-Ugalde, O., Virto, I., Bescansa, P., Imaz, M.J., Enrique, A., and Karlen, D.L. 2009. No-tillage improvement of soil physical quality in calcareous, degradation-prone, semiarid soils. Soil and Tillage Research 106: 29-35.

Jagadamma, S., Lal, R., Hoeft, R.G., Nafziger, E.D., and Adee, E.A. 2008. Nitrogen fertilization and cropping system impacts on soil properties and their relationship to crop yield in the central Corn Belt, USA. Soil and Tillage Research 98: 120-129.

Khadem, A., Golchin, A., Shafiei, S., and Zaree, E. 2014. Effects of manure and sulfur on nutrients uptake by corn (*Zea mays* L.). Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi) 103: 2-11. (In Persian with English Summary)

Khavari Khorasani,S., Golbashy, M., Azizi, F., Ashofteh Beiragi M., and Fatemi, R. 2010.Evaluation of growth traits and yield of new forage corn (*Zea mays* L.) single cross combinations. Journal of Agroecology 2: 335-342. (In Persian with English Summary)

Lal, R. 2006. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. Land Degradation and Development 17: 197-209.

Lehmann, J. 2007. A handful of carbon. Nature 447: 143-144.

Liu, X., Ye, Y., Liu, Y., Zhang, A., Zhang, X., Li, L., Pan, G., Kibue, G.W., Zheng, J., and Zheng, J. 2014. Sustainable biochar effects for low carbon crop production: A 5-crop season field experiment on a low fertility soil from Central China. Agricultural Systems 129: 22-29.

Majidian, M., Ghalavand, A., Karimian, N.A., and Kamgar Haghighi, A.A. 2008. Effects of moisture stress, nitrogen fertilizer, manure and integrated nitrogen and manure fertilizer on yield, yield components and water use efficiency of SC 704 corn. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 12: 417-432. (In Persian with English Summary)

Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S.J., and Lehmann, J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. Plant and Soil 333: 117-128.

Maltas, A., Charles, R., Jeangros, B., and Sinaj, S. 2013. Effect of organic fertilizers and reduced-tillage on soil properties, crop nitrogen response and crop yield: Results of a 12-year experiment in Changins, Switzerland. Soil and Tillage Research 126: 11-18.

Mijangos, I., Pérez, R., Albizu, I., and Garbisu, C. 2006. Effects of fertilization and tillage on soil biological parameters. Enzyme and Microbial Technology 40: 100-106.

Mohammadi, E., Asghari, H.R., Gholami, A., and Khorramdel, S. 2017. Evaluation of soil carbon management index and belowground net primary productivity of maize in different tillage and nutrient management systems. In 15th Iranian Soil Science Congress, Isfahan, Iran, 28-30 August 2017, p. 1-7. (In Persian with English Summary)

Mojab Ghasrodashti, A., Balouchi, H.R., Yadavi, A., and Ghobadi, M. 2014. Effect of different levels of municipal solid waste compost and nitrogen on some grain elements concentration of sweet corn (*Zea mays* L. Saccharata) and some soil properties under Marvdasht conditions. Journal of Agroecology 6: 118-129. (In Persian with English Summary)

Peng, X., Ye, L.L., Wang, C.H., Zhou, H., and Sun, B. 2011. Temperature-and duration-dependent rice straw-derived biochar: Characteristics and its effects on soil properties of an Ultisol in southern China. Soil and Tillage Research 112: 159-166.

Rasool, R., Kukal, S.S., and Hira, G.S. 2008. Soil organic carbon and physical properties as affected by long-term application of FYM and inorganic fertilizers in maize–wheat system. Soil and Tillage Research 101: 31-36.

Sadeghi, H., and Bahrani, M.J. 2002. Effects of plant density and nitrogen rates on morphological characteristics and kernel protein contents of corn (*Zea mays* L.). Iranian Agriculture Science 33: 403-412. (In Persian with English Summary)

Sainju, U.M., Senwo, Z.N., Nyakatawa, E.Z., Tazisong, I.A., and Reddy, K.C. 2008. Soil carbon and nitrogen sequestration as affected by long-term tillage, cropping systems, and nitrogen fertilizer sources. Agriculture, Ecosystems and Environment 127: 234-240.

Six, J., Elliott, E.T., and Paustian, K. 1999. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. Soil Science Society of America Journal 63: 1350-1358.

Sukartono, W.H.U., Kusuma, Z., and Nugroho, W.H. 2011. Soil fertility status, nutrient uptake, and maize (*Zea mays* L.) yield following biochar and cattle manure application on sandy soils of Lombok, Indonesia. Journal of Tropical Agriculture 49: 47-52.

Tabatabaei, S.A., Shakeri, E., and Nasiri, H. 2014. Effect of different method irrigation and manure on reduce water use in the planting grain maize cv. KSC704. Iranian Journal of Field Crops Research 12: 766-775. (In Persian with English Summary)

Tammeorg, P., Simojoki, A., Mäkelä, P., Stoddard, F.L., Alakukku, L., and Helenius, J. 2014. Short-term effects of biochar on soil properties and wheat yield formation with meat bone meal and inorganic fertilizer on a boreal loamy sand. Agriculture, Ecosystems and Environment 191: 108-116.

Triplett, G., and Dick, W.A. 2008. No-tillage crop production: a revolution in agriculture! Agronomy Journal 100: 153-165.

Turner, D.A., Edis, R.B., Chen, D., Freney, J.R., Denmead, O.T., and Christie, R. 2010. Determination and mitigation of ammonia loss from urea applied to winter wheat with N-(n-butyl) thiophosphorictriamide. Agriculture, Ecosystems and Environment 137: 261-266.

Vaccari, F.P., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasier, F., and Miglietta, F. 2011. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. European Journal of Agronomy 34: 231-238.

Van Zwieten, L., Kimber, S., Downie, A., Morris, S., Petty, S., Rust, J., and Chan, K.Y. 2010. A glasshouse study on the interaction of low mineral ash biochar with nitrogen in a sandy soil. Australian Journal of Soil Research 48: 569-576.

Vogeler, I., Rogasik, J., Funder, U., Panten, K., and Schnug, E. 2009. Effect of tillage systems and P-fertilization on soil physical and chemical properties, crop yield and nutrient uptake. Soil and Tillage Research 103: 137-143.

Zamani Babgohari, J., Afyuni, M., Khoshgoftarmanesh, A.H., and Eshghizadeh, H.R. 2011. Effect of Polyacryl sewage sludge, municipal compost and cow manure on soil properties and maize yield. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources (Journal of Water and Soil Science) 14: 153-166 (In Persian with English Summary).

Zhang, A., Liu, Y., Pan, G., Hussain, Q., Li, L., Zheng, J., and Zhang, X. 2012. Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain. Plant and Soil 351: 263-275.

Zheng, H., Wang, Z., Deng, X., Herbert, S., and Xing, B. 2013. Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. Geoderma 206: 32-39.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 295-307

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۳۰۷-۲۹۵

Effect of Nutrient Management on Yield and Yield Components of Maize (*Zea mays* L.) influenced by Different Tillage Systems

E. Mohammadi[1*], H.R. Asghari[2], A. Gholami[2] and S. Khorramdel[3]

Submitted: 08-07-2017
Accepted: 03-10-2017

Mohammadi, E., Asghari, H.R., Gholami, A., and Khorramdel, S. 2019. Effect of nutrient management on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) influenced by different tillage systems. Journal of Agroecology. 11(1):295-307.

Introduction

Conventional tillage systems disturb the soil in the long term and obstruct farmland sustainability. Hence, adoption of conservation tillage systems, for example no tillage and reduced tillage has been widely accepted in the last two decades.

The use of chemical fertilizers has increased in intensive farming systems, but this brings with environmental problems. Nowadays, due to the problems of chemical fertilizers, the use of organic fertilizers such as manure and biochar has been more prevalent in agriculture. Biochar is the product of incomplete combustion of biomass in the absence of oxygen. Its presence in the soil is reported to improve physical and chemical properties and crop yield.

Materials and Methods

In order to evaluate the effect of nutrition management on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.) under different tillage systems, a field experiment was carried out at research farm of Shahrood University of Technology in 2015. The experiment was conducted as a split plot arranged in a randomized complete block design with three replications. The main plots were tillage systems (conventional tillage and reduced tillage) and subplots were control, chemical fertilizer (300 $kg.ha^{-1}$ urea and 100 $kg.ha^{-1}$ triple superphosphate), manure (20 $t.ha^{-1}$), biochar (20 $t.ha^{-1}$), chemical fertilizer + manure (150 $kg.ha^{-1}$ urea and 50 $kg.ha^{-1}$ triple superphosphate and 10 $t.ha^{-1}$ of manure), chemical fertilizer + biochar (150 $kg.ha^{-1}$ urea and 50 $kg.ha^{-1}$ triple superphosphate and 20 $t.ha^{-1}$ biochar) and manure + biochar (20 $t.ha^{-1}$ biochar and 10 $t.ha^{-1}$ of manure). After adding manure, biochar and triple superphosphate, corn was planted on 10 days and urea was used in stages three. At full maturity 10 plants were randomly selected and the biological yield, grain yield, 100-grain weight, ear weight, number of row per ear, number of grains per row, ear length, ear diameter, height and stem diameter were measured.

Results and Discussion

The results showed that the effect of tillage systems and the interaction of tillage systems and nutrient management were not significant on any of the measured traits. Tillage systems affect yield mainly by altering water and nitrate content in soil. The water content and nitrate concentration in the soil had no significant difference between tillage systems (data not shown). As well as tillage systems are site-specific, so the degree of their success depends on soil, climate and management practices. The nutrition management had significant effect on grain nutrients, grain protein, ear characteristics, 100-grain weight, biological yield, grain yield and harvest index. The highest and lowest grain nitrogen, ear weight, biological yield and grain yield were obtained in chemical fertilizer and control, respectively. The chemical fertilizer + manure increased grain nitrogen, ear weight, biological yield and grain yield 13.89, 56.19, 47.04 and 60.41 percent compared to the control, respectively. As well as chemical fertilizer + biochar increased grain nitrogen, ear weight, biological yield and grain yield compared to control 14.81, 52.78, 42.69 and 56.32 percent, respectively. Crops respond to nitrogen fertilization mainly by increasing

1 and 2- PhD Student of Crop Ecology and Associate Professor at Department of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran, respectively.
3- Associate Professor at Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: hamidasghari@gmail.com)

aboveground and root biomass production. As a result of increasing nitrogen doses, the photosynthetic activity, leaf area index (LAI) and leaf area density (LAD) increase. Providing organic matter and nutrients create better conditions for photosynthesis and plant growth. The increased maize yield in biochar amended soil could be attributed to increased nutrient availability and to improved soil physical properties indicated by decreased soil bulk density.

Conclusion

Based on results, the effect of nutrition management was significant on height, stem diameter, grain nutrients, grain protein, ear characteristics, 100-grain weight, biological yield, grain yield and harvest index. Maximum and minimum of stem diameter, grain nitrogen, grain protein, ear characteristics, 100-grain weight, biological yield, grain yield and harvest index were obtained in chemical and control, respectively. Although using of chemical fertilizer had the highest amount of traits, it had no significant difference with chemical fertilizer + manure and chemical fertilizer + biochar. Also, there were no significant effect between conventional tillage and reduced tillage. Therefore, due to the excessive use of nitrogen fertilizer and also due to the negative effects of conventional tillage on the physical, chemical and biological properties of soil, it can be concluded that use of reduced tillage and chemical fertilizer + manure and chemical fertilizer + biochar for corn production is recommended for similar conditions with the study area to reduce both chemical fertilizer and environmental pollution.

Keywords: Biochar, Conventional Tillage, Grain protein, Grain yield, Manure, Reduced tillage

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۳۲۰-۳۰۹

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 309-320

اثر تنظیم‌کننده‌های زیستی بر صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و ترکیبات اسانس *Ammi visnaga* (L.)

دیاکو رسولی[1*]، رقیه محمدپور وشوایی[2] و براتعلی فاخری[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۱۴

رسولی، د.، محمدپور وشوایی، ر.، و فاخری، ب. ۱۳۹۸. اثر تنظیم‌کننده‌های زیستی بر صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و ترکیبات اسانس *Ammi visnaga* (L.) Lam. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱(۱):۳۲۰-۳۰۹.

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر تنظیم‌کننده‌های زیستی بر صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و ترکیبات اسانس گیاه دارویی *Ammi visnaga* (L.) آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دانشگاه زابل در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ انجام گرفت. تیمارهای استفاده شده در این پژوهش شامل اسید سالیسیلیک، اسید سینامیک و اسید بنزوئیک با سه سطح ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و اسید آمینه‌های فنیل آلانین و تیروزین با سه سطح ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بودند. نتایج نشان داد که تنظیم‌کننده‌های زیستی باعث افزایش میزان صفات مورد بررسی شدند. همچنین تیمار اسید بنزوئیک ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر بیشترین تأثیر را به نسبت سایر تیمارها داشت؛ به طوری‌که باعث افزایش معنی‌داری در رشد رویشی (۴۶/۱۶ درصد)، محتوای آب نسبی (۶۰/۱۷ درصد)، رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئید، کلروفیل a + کلروفیل b و (کلروفیل a + کلروفیل b)/ کارتنوئید به‌ترتیب ۷۷/۶۳، ۶۰/۶، ۶۶/۶۷، ۷۳/۳۲ و ۱۹/۱۲ درصد)، هیدرات‌های کربن (۵۳/۴۳ درصد)، عملکرد میوه (۶۰/۱ درصد) و درصد و عملکرد اسانس (۷۲/۷۸ و ۳۲/۲۸ درصد) به نسبت شاهد شد. نتایج حاصل از این تحقیق بیان داشت که کاربرد تنظیم‌کننده‌های زیستی با هدف کاهش مصرف کودهای شیمیایی، در افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی *Ammi visnaga* و همچنین پایداری تولید و حفظ محیط‌زیست تأثیر مثبتی داشته است.

واژه‌های کلیدی: اسانس، اسید آمینه، تنظیم‌کننده‌های زیستی، ترکیبات فنلی، *Ammi visnaga*

مقدمه

در طی چند دهه گذشته، رویکرد جهانی به سمت کشاورزی مدرن همچون سایر فعالیت‌های بشر باعث صدمه به منابع طبیعی و آلوده‌سازی و تخریب محیط زیست شده و سبب بر هم خوردن تعادل اکولوژیک شده است (Rezvani Moghaddam et al., 2009). افزایش بی‌رویه در مصرف کودهای شیمیایی منجر به افزایش هزینه و همچنین مصرف زیاد منابع فسیلی شده است، از طرفی دیگر باعث ورود مقدار زیادی از نیتروژن به خاک، اتمسفر و آب‌ها می‌شود. این موضوع سلامت انسان و ثبات اکوسیستم‌ها را در معرض تهدید قرار می‌دهد (Nosengo, 2003)، به‌طوری‌که کودهای شیمیایی یکی از منابع مهم انتشار اکسید نیتروژن اتمسفری (N_2O) و در نتیجه گرمایش زمین می‌باشند (Erisman, 2004). گرایش جدید جامعه جهانی به سمت کشاورزی پایدار در راستای پایین آوردن استفاده از نهاده‌های مختلف شیمیایی و همچنین کاربرد تنظیم‌کننده‌های زیستی از اهمیت ویژه‌ای در افزایش تولید محصول و حفظ حاصلخیزی پایدار خاک برخوردار می‌باشند (Hamidi et al., 2005). تنظیم کننده‌های زیستی به عنوان ترکیبات شبه‌هورمونی عمل کرده که باعث تنظیم رشد سلولی و تمایز در گیاهان می‌شوند. این ترکیبات به دلیل طبیعی بودن ایمن بوده و خواص سمیت بسیار پایینی را دارا می‌باشند (Adisakwattana et al., 2012).

گرچه استفاده از کودهای زیستی در کشاورزی قدمت زیادی دارد، ولی بهره‌برداری علمی از این گونه منابع سابقه چندانی ندارد. هر چند

۱- دکتری بیوتکنولوژی کشاورزی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
۲- کارشناسی ارشد آگرواکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
۳- دانشیار اصلاح نباتات، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
(*-نویسنده مسئول: Email: diakorasouli@znu.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v11i1.61527

کاربرد این کودها در چند دهه اخیر کاهش یافته ولی امروزه استفاده از آن‌ها مجددا مطرح شده است (Astarai & Kocheki, 1997).

Ammi visnaga (L.) Lam گیاه دارویی علفی متعلق به خانواده چتریان[1] و بومی نواحی مدیترانه می‌باشد. این گیاه بازکننده عروق و ادارآور می‌باشد. علاوه بر این شل‌کننده عضلات بوده و قرن-ها برای تسکین دردهای سخت سنگ کلیه استفاده می‌شده است (Chevalier, 1996). دانه‌های این گیاه به عنوان یک داروی محلی ادارآور استفاده می‌شوند (Uphof, 1959). دانه این گیاه دارای اسانسی است که حاوی ویزنامین[2] یا خلین[3] می‌باشد که برای درمان آسم استفاده می‌شود. دانه‌ها دارای خاصیت ضد اسپاسم بر روی عضلات برونش کوچک، بازکننده برونش، ادرار و عروق خونی بدون تأثیر بر فشار خون می‌باشند (Bown, 1995). اسانس این گیاه به واسطه تأثیر بر بیماری‌های عروق کرونر و آسم معروف است (Rose & Hulburd, 1992; Satrani et al., 2004). اجزای اصلی تشکیل دهنده اسانس این گیاه لینالول[4]، ایزوآمیل ۲- متیل بوتیرات[5] و ایزوپنتیل ایزووالرات[6] می‌باشد (Khadhri et al., 2011).

فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها، تانن‌ها، هیدروکسی سینامیک استرها و لیگنین‌ها از ترکیبات فنلی و جزو متابولیت‌های ثانویه هستند که در بافت‌های گیاهی به وفور یافت می‌شوند. ترکیبات فنلی به عنوان یک نوع از تنظیم‌کننده‌های زیستی محسوب شده که در شرایط مطلوب محیطی در سلول‌های گیاهی سنتز می‌شوند و در فرایندهای مختلف گیاه مانند رشد و تولید مثل درگیر بوده و نیز به عنوان یک مکانیسم دفاعی در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده عمل می‌کنند (Cohen & Kennedy, 2010). این ترکیبات انتشار وسیعی در گیاهان داشته و فعالیت بیولوژیک متنوع آن‌ها از جمله آنتی‌اکسیدانی، آنتی‌میکروبی و ضد التهاب آن‌ها در بسیاری از بررسی‌ها گزارش شده است (Jamshidi et al., 2010). خاصیت آنتی‌اکسیدانی و آنتی‌رادیکالی ترکیبات فنلی می‌توانند نقش مهمی در نگهداری محصولات غذایی و حفظ سلامتی انسان ایفاء نمایند. ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی ترکیبات فنلی می‌توانند با جمع‌آوری و احیای گونه‌های فعال اکسیژن از اکسیداسیون متابولیت‌های حیاتی سلول جلوگیری کرده، مانع بروز تنش اکسیداتیو در سلول‌های گیاهی شوند (Rice-Evans et al., 1997; Myung-Min et al., 2009).

اسیدهای آمینه امروزه به عنوان تنظیم‌کننده‌های زیستی در تولید بیشتر محصولات کشاورزی به منظور رسیدن به کشاورزی پایدار در تغییر خصوصیات کمی و کیفی گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرند (Wu et al., 2005). پژوهش‌های صورت گرفته بر روی اسیدهای آمینه نشان داده‌اند که این ترکیبات می‌توانند به طور مستقیم یا غیرمستقیم فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه را تحت تأثیر قرار دهند (Garde-Cerdán et al., 2014).

امروزه تنظیم کننده‌های رشد در حکم ابزارهای اگروشیمیایی مفیدی می‌باشند که گیاهان را در راستای مصرف کارآمدتر عناصر غذایی و تظاهر پتانسیل‌های ژنتیکی و فیزیولوژیکی یاری می‌دهند (Wu et al., 2005). کودهای زیستی به عنوان جایگزین مناسب برای کودهای شیمیایی، به منظور افزایش حاصلخیزی خاک در تولید محصولات کشاورزی ارگانیک مطرح می‌باشند (Wu et al., 2005). استفاده از تنظیم کننده‌های زیستی نه تنها مقدار کاربرد کودهای شیمیایی را کاهش می‌دهد، بلکه به ذخیره انرژی و کاهش آلودگی محیط کمک خواهد نمود (Belde et al., 2000).

با توجه به اهمیت و نقش گیاهان دارویی، نکته حائز اهمیت در تولید و پرورش این گونه‌های ارزشمند، افزایش تولید زیست توده آن‌ها بدون کاربرد نهاده‌های مضر شیمیایی اعم از کود یا سموم دفع آفات و علف‌های هرز می‌باشد. در این تحقیق با توجه به فواید تنظیم‌کننده-های زیستی در افزایش تولید و راندمان محصول و همچنین حفظ محیط زیست از بقایای کودهای شیمیایی، آزمایشی به منظور تأثیر تنظیم‌کننده‌های زیستی بر صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و ترکیبات اسانس گیاه دارویی *A. visnaga* انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر تنظیم‌کننده‌های زیستی بر صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و ترکیبات اسانس گیاه *A. visnaga* آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه زابل در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ اجرا شد. آزمایش در گلدان‌هایی به ابعاد ۲۰×۲۵ سانتی‌متر انجام گرفت. بذور از بانک ژن سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه شد. ۱۰ عدد بذر در هر گلدان کشت شد و در نهایت سه بوته در هر گلدان نگهداری شد. هر واحد آزمایشی شامل دو گلدان بود. هر گلدان با حدود ۱/۵ کیلوگرم خاک پر شد.

کشت در اول آبان آغاز شد. گلدان‌ها به تعداد ۹۶ عدد بودند که به سه قسمت تقسیم شدند (۴۸ واحد آزمایشی). هر تکرار شامل ۳۲ گلدان (۳۲=۱۶×۲) بود و تعداد تیمارها نیز به همراه شاهد ۱۶ عدد بودند. تیمارهای استفاده شده در این پژوهش شامل ترکیبات فنلی (اسید سالیسیلیک، اسید سینامیک و اسید بنزوئیک هر کدام در ۱۸ گلدن با سه سطح ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر) و اسید آمینه (فنیل آلانین و تیروزین هر کدام در ۱۸ گلدان با سه سطح ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰

1- Umbelliferae
2- Visnammin
3- Khellin
4- Linalool
5- Isoamyl 2-methyl butyrate
6- Isopentyl isovalerate

میلی‌گرم بر لیتر) بودند. آب مقطر نیز به عنوان شاهد در شش گلدان بوده و همه تیمارهای استفاده شده به صورت محلول‌پاشی اعمال گردیدند. محلول‌پاشی ۳۰ روز پس از کاشت انجام شد. همچنین دو گرم سوپر فسفات کلسیم ۱۵/۵ درصد (P_2O_5)، ۲ گرم سولفات آلومینیوم پنج درصد ($(NH_4)_2SO_4$) و ۱۵ گرم سولفات پتاسیم ۴۸ درصد (K_2SO_4) به هر گلدان اضافه شد. اندازه‌گیری‌ها در مرحله رسیدگی (۲۱۰ روز پس از کاشت) و میوه‌دهی (۱۸۰ روز پس از کاشت) انجام شد (آخر اردیبهشت و آخر خرداد ماه). صفات رویشی شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه، تعداد چتر، وزن تر سرشاخه‌های گلدار و وزن خشک سرشاخه‌های گلدار برای هر گلدان اندازه‌گیری گردید. محتوای آب نسبی با روش پسرکلی (Pessarakli, 1999) بدست آمد. میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، b و کارتنوئید نیز از روش لیچنتالر (Lichtenthaler, 1987) محاسبه شد. هیدرات‌های کربن کل، هیدرات‌های کربن محلول و هیدرات‌های کربن غیرمحلول، بر اساس روش اسید سولفوریک و با استفاده از اتانول ۹۵ درصد اندازه‌گیری شدند (Lrigoyen & Emerich, 1992). میوه‌های رسیده جمع‌آوری و در هوا خشک شدند. ۵۰ گرم از میوه‌های خشک شده با آسیاب پودر شدند. اسانس نمونه‌های پودر شده با اتر نفت (PE −۴۰ −۶۰^{0}c) برای ۴۸ ساعت و در دمای اتاق استخراج شد. اسانس استخراج‌شده با یک روتاری با کاهش فشار تبخیر شده خشک شد. برای خارج کردن رطوبت از اسانس از سولفات سدیم بی‌آب استفاده شد سپس اسانس خالص در یخچال در دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شد (Ozturk et al., 2004).

جدول ۱- خصوصیات خاک گلدان‌ها
Table 1- Soil characteristics of pots

بافت خاک Soil texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	مواد آلی (درصد) Organic materials (%)	نیتروژن (درصد) N (%)	فسفر (درصد) P (%)	پتاسیم (درصد) K (%)
شنی لومی Sandy loam	7.2	0.6	0.9	1.9	0.3	0.1	0.1

ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس

ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل ۳۴۰۰ ساخت کارخانه واریان[1] مجهز به طیف سنج جرمی[2] (GC/MS)، ستون DB-5 و نیمه قطبی به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۲۵ میکرون و ضخامت لایه فاز ساکن برابر ۰/۲۵ میکرون، دتکتور ایون ترپ[3]، گاز حامل هلیوم، سرعت جریان گاز حامل ۳۱/۵ سانتی‌متر بر ثانیه و انرژی یونیزاسیون در طیف‌سنج جرمی معادل ۷۰ الکترون وات، برنامه حرارتی ۲۴۰–۶۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۴ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه و دمای محفظه تزریق ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و زمان اسکن یک ثانیه بود. شناسایی طیف‌ها به کمک شاخص بازداری آن‌ها و مقایسه آن با شاخص موجود در کتب مرجع و مقالات و با استفاده از طیف‌های جرمی ترکیبات استاندارد و استفاده از اطلاعات موجود در کتابخانه کامپیوتری صورت گرفت (Adams, 2001). درصد و عملکرد این ترکیب‌ها نیز با محاسبه سطوح زیر منحنی در کروماتوگراف‌ها محاسبه شد (Ozturk et al., 2004). برای تجزیه تحلیل داده‌ها از نسخه ۹/۲ نرم‌افزار آماری SAS و مقایسه میانگین داده‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

رشد رویشی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که رشد رویشی گیاه *A. visnaga* بر تمامی صفات رویشی شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه، تعداد چتر، وزن تر سرشاخه‌های گلدار و وزن خشک سرشاخه‌های گلدار در سطح احتمال یک درصد ($P\leq$۰/۰۱) معنی‌دار بود (جدول ۲). در نتایج مقایسه میانگین صفات رویشی مشاهده گردید که حداکثر رشد رویشی گیاه مربوط به تیمار اسید بنزوئیک ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به شاهد (۴۶/۱۹ درصد) بود. همچنین تأثیر اسید آمینه (فنیل آلانین و تیروزین) باعث افزایش معنی‌دار صفات رویشی نسبت به شاهد (۲۸/۸ و ۲۳/۳۸ درصد) گردید ولی این افزایش به نسبت ترکیبات فنلی کمتر بود. کمترین رشد رویشی برای کلیه صفات رویشی مربوط به شاهد بود که به نسبت سایر تیمارها افزایش نشان نداد (جدول ۳).

1- Varian
2- Saturn II
3- Ion trap

جدول ۲- تجزیه واریانس ویژگی‌های رشد رویشی، عملکرد میوه و اسانس (*Ammi visnaga* (L.) تحت اثرات تنظیم‌کننده‌های زیستی مختلف

Table 2- Analysis of variance of vegetative growth characteristics, fruit and essential oil yield of *Ammi visnaga* (L.) under effects of different bio-regulators

منابع تغییر SOV	درجات آزادی df	Mean sum of squares / میانگین مربعات								
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه Branch No.	تعداد چتر Umbel No.	وزن تر سرشاخه‌های گلدار Fresh weight of herb	وزن خشک سرشاخه‌های گلدار Dry weight of herb	محتوای آب نسبی RWC	کلروفیل a Chl a	کلروفیل b Chl b	کارتنوئید Carotinoids
بلوک Block	2	29.14**	2.64**	31.23**	86.37**	0.83**	81.87**	0.44**	0.93**	0.173**
تیمار Treatment	15	360.54**	6.11**	74.76**	417.68**	171.28**	74.67**	18.64**	1.35**	2.250**
خطا Error	30	0.22	0.04	0.54	1.31	0.02	1.39	0.04	0.02	0.003
ضریب تغییرات (٪) C.V (%)		0.47	2.93	2.69	2.24	0.37	6.38	3.51	6.61	1.91

ns، * و**: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: Non-significant and significant at the 5 and 1% levels of probability, respectively.

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس ویژگی‌های رشد رویشی، عملکرد میوه و اسانس (*Ammi visnaga* (L.) تحت اثرات تنظیم‌کننده‌های زیستی مختلف

Table 2- Analysis of variance of vegetative growth characteristics, fruit and essential oil yield of *Ammi visnaga* (L.) under effects of different bio-regulators

منابع تغییر SOV	درجات آزادی df	Mean sum of squares / میانگین مربعات							
		کلروفیل a+ کلروفیل b Chl a+Chl b	(کلروفیل a+ کلروفیل b)/ کارتنوئید (Chla+Chlb)/Carotinoids	هیدرات‌های کربن کل Total carbohydrates	هیدرات‌های کربن محلول Soluble carbohydrate	هیدرات‌های کربن غیر محلول Insoluble carbohydrate	عملکرد میوه Fruit yield	درصد اسانس Essential oil content	عملکرد اسانس Essential oil yield
بلوک Block	2	1.10**	0.13**	24751.16**	909.77**	16170.30**	0.0729**	0.0121**	0.00016**
تیمار Treatment	15	29.94**	0.32**	140884.28**	4036.11**	97347.51**	8.4041**	0.0761**	0.002704**
خطا Error	30	0.07	0.01	700.78	13.51	557.86	0.0007	0.0001	0.00001
ضریب تغییرات (٪) C.V (%)		3.55	3.89	2.16	1.79	2.32	0.43	0.78	4.13

ns، * و**: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین ویژگی‌های رشد رویشی، عملکرد میوه و اسانس (*Ammi visnaga* (L.) تحت اثرات تنظیم‌کننده‌های زیستی مختلف

Table 3- Mean comparison of vegetative growth characteristics, fruit and essential oil yield of *Ammi visnaga* (L.) under effects of different bio-regulators

تیمار Treatment	سطوح Levels	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه Branch No.	تعداد چتر Umbel No.	وزن تر سرشاخه‌های گلدار Fresh weight of herb (g)	وزن خشک سرشاخه‌های گلدار Dry weight of herb (g)	محتوای آب نسبی RWC (%)		کلروفیل a Chl a (µg.gFw)	کلروفیل b Chl b (µg.gFw)	کارتنوئید Carotinoids (µg.gFw)
شاهد Control	-	80.23^{l}	4.07^{h}	17.50^{h}	28.23^{l}	25.33^{p}	11.10^{h}	1	2.40^{k}	1.43^{i}	1.50^{k}
تیروزین Tyrosine	50	82.17^{k}	4.80^{g}	21.73^{g}	32.23^{k}	28.83^{o}	12.57^{gh}	2	2.70^{k}	1.53^{hi}	1.80^{j}
	100	90.50^{i}	5.40^{f}	24.67^{ef}	45.57^{h}	40.06^{k}	14.07^{fg}	3	4.07^{i}	1.90^{ef}	2.07^{i}
	200	98.83^{f}	6.00^{e}	25.53^{e}	54.33^{ef}	47.63^{e}	14.93^{ef}	4	4.97^{g}	2.00^{e}	2.57^{h}
فنیل آلانین Phenylalanine	50	88.87^{j}	5.60^{f}	25.50^{e}	39.30^{j}	35.07^{n}	14.57^{efg}	5	3.03^{j}	1.60^{ghi}	1.77^{j}
	100	92.73^{h}	5.97^{e}	25.77^{e}	48.40^{g}	41.93^{j}	16.60^{de}	6	4.40^{h}	1.83^{efg}	2.60^{g}
	200	98.87^{f}	6.97^{c}	28.77^{d}	56.10^{e}	45.57^{g}	20.43^{c}	7	5.67^{f}	2.37^{d}	2.90^{f}
اسید بنزوئیک Benzoic acid	5	103.47^{d}	7.80^{b}	29.50^{cd}	59.90^{d}	47.10^{f}	21.83^{c}	8	6.20^{e}	2.37^{d}	3.67^{d}
	10	113.00^{b}	7.80^{b}	30.80^{b}	63.10^{bc}	48.47^{c}	25.40^{b}	9	10.07^{b}	3.33^{b}	3.90^{b}
	20	117.70^{a}	9.90^{a}	39.23^{a}	69.67^{a}	52.26^{a}	27.87^{a}	10	10.73^{a}	3.63^{a}	4.50^{a}
اسید سینامیک Tarns-cinnamic acid	5	99.73^{e}	6.07^{e}	24.43^{ef}	45.53^{h}	39.80^{i}	15.77^{ef}	11	3.73^{i}	1.67^{efgh}	2.10^{i}
	10	108.10^{c}	7.07^{c}	31.13^{b}	52.83^{f}	43.60^{i}	18.30^{d}	12	6.20^{e}	2.50^{cd}	3.07^{e}
	20	113.70^{b}	7.80^{b}	31.67^{b}	64.70^{b}	50.10^{b}	24.27^{b}	13	8.57^{c}	3.10^{b}	3.77^{c}
اسید سالیسیلیک Salisylic acid	5	90.00^{i}	5.97^{e}	23.90^{f}	42.07^{i}	37.30^{m}	15.47^{ef}	14	3.93^{i}	1.73^{efgh}	2.10^{i}
	10	95.03^{g}	6.50^{d}	25.20^{ef}	52.47^{f}	44.50^{h}	18.27^{d}	15	4.90^{g}	1.97^{e}	2.50^{h}
	20	99.13^{ef}	7.80^{b}	30.70^{bc}	62.43^{c}	47.93^{d}	24.13^{b}	16	6.77^{d}	2.70^{c}	2.87^{f}

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

* Means, in each column followed by at least on letter in common are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's multiple range test.

ادامه جدول ۳- مقایسه میانگین ویژگی‌های رشد رویشی، عملکرد میوه و اسانس (*Ammi visnaga* (L.) تحت اثرات تنظیم‌کننده‌های زیستی مختلف

Table 3- Mean comparison of vegetative growth characteristics, fruit and essential oil yield of *Ammi visnaga* (L.) under effects of different bio-regulators

تیمار Treatment	سطوح Levels	کلروفیل a+ کلروفیلb Chl a+Chl b (µg.gFw)	(کلروفیل a+ کلروفیل b)/ کارتنوئید (Chla+Chlb)/Carotinoids	هیدرات‌های کربن کل Total carbohydrates (µgGlu.gFw)	هیدرات‌های کربن محلول Soluble carbohydrate (µgGlu.gFw)	هیدرات‌های کربن غیر محلول Insoluble carbohydrate (µgGlu.gFw)	عملکرد میوه Fruit yield (g/plant)	درصد اسانس Essential oil content (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield (ml)
شاهد Control	-	3.83^{l}	2.58^{ef}	772.85^{j}	123.80^{k}	649.05^{j}	3.95^{o}	1.007^{k}	0.040^{j}
تیروزین Tyrosine	50	4.23^{kl}	2.37^{g}	912.20^{i}	152.10^{j}	760.10i	4.15^{n}	1.057^{j}	0.043^{j}
	100	5.97^{hi}	2.90^{d}	1061.55^{h}	176.95^{i}	884.60^{h}	4.65^{l}	1.127^{i}	0.050^{i}
	200	6.97^{g}	2.72^{de}	1101.35^{h}	188.50^{gh}	912.85^{h}	5.90^{h}	1.467^{b}	0.086^{f}
فنیل آلانین Phenylalanine	50	4.63^{k}	2.63^{e}	1075.90^{h}	184.35^{h}	891.55^{h}	4.50^{m}	1.267^{g}	0.057^{h}
	100	6.23^{h}	2.40f^{g}	1156.65^{g}	192.70^{g}	963.95^{g}	5.95^{g}	1.390^{d}	0.083^{f}
	200	8.03^{f}	2.77^{de}	1259.60^{f}	209.90^{e}	1049.70^{f}	6.95^{e}	1.487^{a}	0.103^{d}
اسید بنزوئیک Benzoic acid	5	8.57^{e}	2.34^{g}	1356.45^{d}	231.10^{c}	1125.35^{d}	6.95^{e}	1.370^{e}	0.097^{e}
	10	13.40^{b}	3.43^{a}	1494.95^{b}	249.10^{b}	1245.85^{b}	8.75^{b}	1.390^{d}	0.120^{b}
	20	14.36^{a}	3.19^{bc}	1649.85^{a}	274.95^{a}	1374.90^{a}	9.90^{a}	1.487^{a}	0.147^{a}
اسید سینامیک Tarns-cinnamic acid	5	5.40^{j}	2.57^{ef}	1180.60^{g}	200.75^{f}	979.85^{g}	5.85^{i}	1.220^{h}	0.070^{g}
	10	8.70^{e}	2.83^{d}	1329.70^{de}	221.55^{d}	1108.15^{de}	6.80^{f}	1.350^{f}	0.093^{e}
	20	11.67^{c}	3.10^{c}	1406.70^{c}	234.45^{c}	1172.25^{c}	7.55^{c}	1.437^{c}	0.110^{c}
اسید سالیسیلیک Salisylic acid	5	5.67^{ij}	2.70^{de}	1199.95^{g}	200.05^{f}	999.90^{g}	4.90^{k}	1.140^{i}	0.057^{h}
	10	6.87^{g}	2.75^{de}	1298.40^{ef}	216.45^{d}	1081.95^{ef}	5.03^{j}	1.367^{ef}	0.070^{g}
	20	9.47^{d}	3.30^{ab}	1322.20^{de}	222.15^{d}	1100.05^{de}	7.00^{d}	1.477^{ab}	0.103^{d}

گزارش شده است کـه اسـید بنزوئیـک بـه عنـوان یـک نـوع از ترکیبات فنلی باعث افزایش صفات رویشی نظیر ارتفـاع بوتـه، طـول ساقه، تعداد شاخه و قطر ساقه گل دهنده در گیاه مریم‌گلـی (*Salvia officinalis* Linn.) شده است (Nagarja et al., 1999; Preeti & Gogoi, 1997). پـرز و همکـاران (Perez et al., 2014) گـزارش کردند که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک به عنوان یک ترکیـب فنلـی باعث افزیش رشـد بـرگ و سـاقه در گیـاه نعنـاع فلفلـی (*Mentha piperita* L.) شده است؛ به‌طوری‌که اسید سالیسیلیک به عنوان یک فعال‌کننده ترکیبات زیستی[1] تـأثیر مسـتقیمی در رشـد رویشـی گیـاه داشته است. بنـابراین، مـی‌تـوان بیـان داشـت کـه ترکیبـات فنلـی و اسیدهای آمینه به عنوان تنظیم‌کننده‌های زیستی در شـرایط مطلـوب محیطی در سلول‌های گیاهی باعث افزایش سنتز این ترکیبات شده در نتیجه در فرایندهای مختلف گیاه نظیر افزایش رشد و تولید مثل ایفای نقش می‌کنند. در این تحقیق نیز مشاهده گردید که اسید بنزوئیـک و اسید سالیسیلیک به عنوان ترکیبات فنلی به نسـبت اسـیدهای آمینـه فنیل آلانین و تیروزین تأثیر بیشتری بر افـزایش رشـد رویشـی گیـاه داشتند که احتمالا سنتز بیشتر ایـن ترکیبـات در سـلول‌هـای گیـاهی باعث این افزایش رشد شده است.

محتوای آب نسبی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محتوای آب نسبی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میـانگین محتـوای آب نسبی مشخص کرد که بیشترین میزان آن مربوط به تیمـار اسـید بنزوئیک ۲۰ میلی‌گرم بـر لیتـر نسـبت بـه شـاهد (۶۰/۱۷ درصـد) و کمترین مربوط به شاهد بود. همچنین تیمارهـای اسـید بنزوئیـک ۱۰ میلی‌گرم بـر لیتـر، اسـید سـینامیک ۲۰ میلـی‌گـرم بـر لیتـر و اسـید سالیسیلیک ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر بعد از اسید بنزوئیک ۲۰ میلی‌گرم بـر لیتر بیشترین تأثیر را بر محتوای آب نسبی نسبت بـه شـاهد (۵۶/۲۹، ۵۴/۲۶ و ۵۳/۹۹ درصد به ترتیب) داشتند که اختلاف معنی‌داری بـین آن‌ها مشاهده نشد. از طرفی اسید آمینه‌های تیروزین و فنیـل آلانـین باعث افزایش معنی‌دار محتوای آب نسبی به نسـبت شـاهد (۳۵/۴۶ و ۱۹/۸۵ درصد) گردیدند که ایـن افـزایش بـه نسـبت ترکیبـات فنلـی معنی‌داری کمتری داشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد تنظیم کننده‌های زیستی باعث افزایش محتوای آب نسبی در گیاه *A. visnag* شده‌انـد؛ به‌طوری که با افزایش غلظت تیمارهای استفاده شده نسبت محتـوای آب نسبی نیز افزایش یافت. در این تحقیق محتوای آب نسبی گیاه به شدت توسط تنظیم‌کننده‌های اسید سالیسیلیک، اسید سینامیک و اسید بنزوئیک افزایش نشان داد که این امر ممکن است به دلیـل افـزایش رشد رویشی و در نتیجه افزایش عملکرد گیاه باشد.

رنگیزه‌های فتوسنتزی

همه رنگیزه‌هـای فتوسـنتزی شـامل کلروفیـل a، کلروفیـل b، کارتنوئیـد، کلروفیـل a + کلروفیـل b و (کلروفیـل a + کلروفیـل b)/ کارتنوئیـد در سـطح احتمـال یـک درصـد معنـی‌دار بـود (جـدول ۲). بیشترین کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئید، کلروفیل a + کلروفیـل b مربوط به تیمار اسید بنزوئیک ۲۰ میلی‌گرم بر لیتـر نسـبت بـه شـاهد (۷۷/۶۳، ۶۰/۶، ۶۶/۶۷ و ۷۳/۳۲ درصد به ترتیـب) مشـاهده گردیـد. بیشترین (کلروفیل a + کلروفیل b)/ کارتنوئید مربوط به تیمـار اسـید بنزوئیک ۱۰ میلی‌گرم بـر لیتـر نسـبت بـه شـاهد (۲۴/۷۸ درصـد) و کمترین میزان آن نیز مربوط به اسید بنزوئیک ۵ میلی‌گرم بـر لیتـر و تیروزین ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر به نسبت شاهد (۱۰/۲۵ و ۸/۸۶ درصـد) بود. در کلیه رنگیزه‌های مورد بررسی به غیر از (کلروفیل a + کلروفیل b)/ کارتنوئید سایر تیمارها افزایش معنـی‌داری بـه نسـبت شـاهد بـر رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه *A. visnaga* داشـتند (جـدول ۳). میـزان کلروفیل در گیاهـان زنـده یکـی از فاکتورهـای مهـم حفـظ ظرفیـت فتوسنتزی است (Jiang & Huang, 2001).کانگ و وانـگ (Kang & Wang, 2003) بیان داشتند که ترکیبات فنلی نظیر اسید بنزوئیک و اسید سینامیک به عنوان ماده شبه‌هورمونی نقش مهمـی در تنظـیم رشد و نمو گیاه دارند و در تنظیم فرایندهای مختلفی مانند جوانـه‌زنـی بذر، افزایش میزان فتوسنتز و محتوای کلروفیل، بسته شـدن روزنـه و مهار بیوسنتز اتیلن گیاه ایفای نقش می‌کنند. تنظیم کننده‌های زیستی از طریق اثرات مثبت فیزیولوژیکی از جمله اثر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی و افزایش غلظت کلروفیـل بـرگ باعـث افـزایش عملکـرد در گیاهان می‌شوند (Nardi et al., 2002). با افزایش غلظـت ترکیبـات استفاده شده میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید افزایش معنی‌دار داشـت کـه ایـن امـر بیـانگر افـزایش متابولیسم فتوسنتزی گیاه با استفاده از غلظت‌های بالای این ترکیبات بوده است.

هیدرات‌های کربن

هیدرات‌های کربن کل، هیدرات‌های کربن محلول و هیـدرات-های کربن غیرمحلول در سـطح احتمـال یـک درصـد معنـی‌دار بـود (جدول ۲). مقایسه میانگین نیز نشان داد که در هر سه نـوع هیـدرات کربن بیشترین میزان مربوط به تیمار اسید بنزوئیک ۲۰ میلی‌گـرم بـر لیتر نسبت به شاهد (۵۳/۴۳ درصد) بود کـه باعـث افـزایش معنـی‌دار هیدرات‌های کربن به نسـبت سـایر تیمارهـا گردیـد. کمتـرین میـزان هیدرات‌های کربن کل، محلول و غیرمحلول مربوط به شاهد بود. بعـد از اسید بنزوئیک ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر، اسید بنزوئیک ۱۰ میلی‌گرم بـر لیتر باعث بیشترین میزان هیدارت‌های کربن نسبت به شـاهد (۴۸/۶۰ درصد) گردید که در هر سه نوع هیدارت کربن اختلاف معنی‌داری بین

1- Bioactive compounds

آن‌ها مشاهده نشد. همچنین سایر تیمارها باعث افزایش معنی‌دار هیدرات کربن به نسبت شاهد شد. گزارشات متعددی نشان داده‌اند که ترکیبات فنلی باعث افزایش میزان کربوهیدرات کل در گیاه می‌شوند؛ به‌طوری‌که این ترکیبات با تأثیر در مسیر متابولیسمی کربوهیدرات باعث افزایش آن از طریق ساخت پیش‌سازهای مربوط به قند مورد نیاز گیاه می‌باشند (Ghasemzadeh & Jaafar, 2012; Ibrahim & Jaafar, 2011). در این تحقیق مشخص شد که با افزایش غلظت اسید بنزوئیک به عنوان یک ترکیب فنلی بیشترین میزان هیدرات کربن بدست آمد. همچنین غلظت‌های بالای اسید سینامیک و اسید سالیسیلیک نیز بیشترین میزان هیدرات کربن را بعد از اسید بنزوئیک باعث شدند که مشخص کرد اگرچه تیروزین و فنیل آلانین به عنوان اسیدهای آمینه باعث افزایش هیدرات کربن گردیدند اما این افزایش به نسبت ترکیبات فنلی بسیار پایین‌تر مشاهده شد که با یافته‌های قاسم‌زاده و جافر (Ghasemzadeh & Jaafar, 2012) مطابقت دارد.

عملکرد میوه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد میوه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین میزان عملکرد میوه مربوط به تیمار اسید بنزوئیک ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر بود (۶۰/۱ درصد) که اختلاف معنی‌داری با شاهد داشت. همچنین کمترین عملکرد میوه مربوط به شاهد بود که به نسبت محلول‌پاشی تیمارهای مورد نظر افزایش معنی‌داری نداشت. یانگ و همکاران (Yang et al., 2015) بیان داشتند که اسید بنزوئیک، اسید سینامیک و اسید فرولیک با تأثیر بر رشد گیاه باعث افزایش عملکرد میوه خربزه شدند که در این بین، اسید بنزوئیک بیشترین تأثیر را در افزایش عملکرد داشت. با توجه به اینکه اسید بنزوئیک بیشترین تأثیر را در افزایش عملکرد میوه *A. visnaga* داشته است می‌توان آن را جهت افزایش عملکرد میوه توصیه نمود. همچنین سایر تیمارهای اعمال شده در این تحقیق نشان دادند که باعث افزایش عملکرد میوه در گیاه *A. visnaga* می‌شوند (جدول ۳) که استفاده از هر کدام از این تیمارها را می‌توان به عنوان تنظیم‌کننده‌های زیستی مد نظر جهت افزایش عملکرد میوه قرار داد.

درصد و عملکرد اسانس

درصد و عملکرد اسانس در گیاه *A. visnaga* در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در مقایسه میانگین داده‌ها مشاهده شد که بیشترین عملکرد اسانس مربوط به تیمار اسید بنزوئیک ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر (۷۲/۷۸ درصد) و بیشترین درصد اسانس مربوط به تیمارهای اسید بنزوئیک ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و فنیل آلانین ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (۳۲/۲۷ درصد) نسبت به شاهد بود که اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند، در حالی‌که کمترین درصد و عملکرد اسانس مربوط به شاهد بود که افزایش معنی‌داری نشان نداد. سایر تیمارهای اعمال شده نیز باعث افزایش درصد و عملکرد اسانس شدند به‌طوری‌که به نسبت شاهد اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۳). بنابراین، مشخص شد که ترکیبات فنلی و اسیدهای آمینه استفاده شده باعث افزایش معنی‌دار درصد و عملکرد اسانس شد که با توجه به افزایش پارامترهای اندازه‌گیری شده تحت تیمارها افزایش درصد و عملکرد اسانس قابل پیش‌بینی بود.

ترکیبات اسانس

نوع و میزان ترکیب‌های سازنده اسانس در بخش هوایی گیاه *A. visnaga* پس از استخراج، با دستگاه GC/MS تعیین شدند (جدول ۴). ترکیب غالب اسانس بخش هوایی این گیاه در تحقیق حاضر در گروه شاهد و گروه تحت تیمار شامل دی‌متیل بوتانوئیک اسید، ایزوبوتیل ایزوبوتیرات، تیمول و کرواسین بودند. در این تحقیق همه تیمارهای اعمال شده بر بافت سبز گیاه *Ammi visnaga* (L.) Lam باعث افزایش درصد اسانس شدند. بیشترین میزان دی متیل بوتانوئیک اسید تحت تیمارهای اسید سالیسیلیک ۵ میلی‌گرم بر لیتر و تیروزین ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود که به نسبت شاهد به ترتیب ۶۸ و ۶۶/۵ درصد افزایش نشان داد. بیشترین درصد ترکیب ایزوبوتیل ایزوبوتیرات مربوط به تیمارهای تیروزین ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود که افزایش ۶۳/۴ و ۶۴ درصدی را باعث شد، همچنین کمترین درصد آن مربوط به تیمار اسید سالیسیلیک ۵ میلی‌گرم بر لیتر (۵۰/۳ درصد) بود که باعث کاهش شدید ایزوبوتیل ایزوبوتیرات شد در حالی‌که افزایش غلظت اسید سالیسیلیک بر میزان این ترکیب افزود. بیشترین و کمترین میزان تیمول مربوط به تیمارهای تیروزین ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و اسید سینامیک ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر (به ترتیب ۷۵/۵ و ۴۶/۸ درصد) بود. با افزایش غلظت تیمارهای فنیل آلانین، اسید سینامیک و اسید سالیسیلیک از میزان ترکیب تیمول کاسته شد. بیشترین ترکیب کرواسین مربوط به تیمارهای اسید بنزوئیک ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و اسید سالیسیلیک ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر (به ترتیب ۹۰ و ۸۹/۵ درصد) بود. همچنین کمترین میزان ترکیب کرواسین مربوط به شاهد بود که در مقایسه با محلول‌پاشی تیمارهای مورد نظر افزایشی مشاهده نشد.

جدول ٤- اثر تنظیم‌کننده‌های زیستی بر ترکیبات اسانس (L.) *Ammi visnaga*

Table 4- effect of bio-regulators on essential oil composition of *Ammi visnaga* (L.)

ترکیبات Components	شاخص بازداری KI	تیمارها Treatments																	
		شاهد Control	تیروزین Tyrosine (%)			فنیل آلانین Phenylalanine (%)			اسید بنزوئیک Benzoic acid (%)			اسید سینامیک Tarns-cinnamic acid (%)			اسید سالیسیلیک Salicylic acid (%)		
			50 mg/l	100 mg/l	200 mg/l	50 mg/l	100 mg/l	200 mg/l	5 mg/l	10 mg/l	20 mg/l	5 mg/l	10 mg/l	20 mg/l	5 mg/l	10 mg/l	20 mg/l
α-Thujene	931	0.9	2.5	1.3	1.0	1.2	1.9	2.1	1.1	2.4	3.9	2.2	1.4	0.9	1.5	2.2	3.9
Myrcene	991	0.8	2.0	3.4	8.0	3.6	3.6	3.7	1.2	2.8	3.7	1.9	1.4	1.2	2.1	3.4	4.9
Isobutyl isobutyrate	1004	12.9	20.6	35.3	35.9	18.9	19.6	24.1	14.8	24.3	29.9	11.4	24.4	32.6	6.4	16.5	25.6
Linalool	1029	0.9	2.9	1.6	1.3	3.3	1.3	0.9	0.8	2.4	4.5	2.1	1.4	1.1	1.1	2.5	2.6
2,2-Dimethylbutanoic acid	1108	18.9	35.4	55.4	56.4	20.6	38.8	39.5	55.0	25.9	21.1	27.4	36.5	38.6	59.0	34.4	31.2
α-Isophorone	1121	0.4	0.9	1.9	3.0	2.7	6.2	6.2	11.9	16.7	19.6	13.8	19.3	21.1	6.4	11.3	13.8
Fenchyl acetate	1220	1.3	3.8	2.9	2.5	7.8	5.0	4.2	1.0	3.2	4.8	7.0	6.2	3.2	3.7	4.7	6.5
Bornyl acetate	1289	0.4	1.7	4.4	7.8	2.6	2.9	3.5	0.8	1.2	4.3	5.3	3.5	2.3	0.9	1.8	2.0
Thymol	1290	3.2	8.5	10.8	13.1	9.3	2.8	2.4	2.1	5.2	7.0	8.0	4.8	1.7	6.7	6.3	5.7
Geranyl acetate	1381	0.1	0.2	0.3	1.4	4.9	7.6	9.1	11.5	8.4	5.2	3.8	11.2	12.7	0.9	6.9	7.5
Lavandulyl acetate	1439	0.1	0.1	0.2	0.7	7.6	3.0	1.4	1.4	4.0	3.7	2.7	1.7	1.1	2.2	0.9	-
Citronellyl propionate	1446	0.2	0.3	0.6	5.6	7.9	3.3	0.9	1.0	3.7	5.3	1.6	1.3	1.2	3.1	2.4	1.6
Croweacin	1460	1.6	4.7	5.5	6.7	8.1	11.0	12.1	10.4	15.0	15.9	2.2	2.8	3.3	6.0	8.7	15.3
α-Damascone	1689	-	-	0.4	1.5	2.1	1.0	-	3.2	4.9	5.7	2.7	1.4	-	1.2	2.2	3.1
(Z,E)-farnesal	1701	-	-	0.6	1.1	1.4	0.8	-	3.8	4.1	5.4	2.9	2.1	1.7	1.7	2.4	2.9

تاگوچی و همکاران (Taguchi et al., 2001) بیان داشتند که اسید سالیسیلیک به عنوان یکی از تنظیم‌کننده‌های زیستی سبب افزایش بیان ژن‌های مربوط به بیوسنتز و تولید گروهی از متابولیت-های ثانویه در گیاهان می‌شود. در دو گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) و نعناع (*Mentha piperita* L.) گزارش شده که بالا بودن تراکم غده‌های مترشحه اسانس در اثر کاهش سطح برگ ناشی از اعمال تیمار، باعث تجمع بیش‌تر اسانس می‌شود (Charles et al., 1990; Sajjadi et al., 2016). در این آزمایش نیز شاید بتوان درصد بالای اسانس برای برخی ترکیبات غالب در گیاه *A. visnaga* را در تیمارهای ترکیبات فنلی و اسید آمینه با افزایش تراکم غده‌های ترشح کننده اسانس توجیه کرد. علاوه بر ترکیب‌های غالب سازنده اسانس، در بخش هوایی گیاه *A. visnaga* حدود ۱۰ ترکیب دیگر نیز شناسایی شدند که تأثیر تیمارها بر این ترکیبات در مقایسه با نمونه‌های شاهد تفاوت قابل ملاحظه نداشتند.

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده نشان داد که تیمارهای استفاده شده در این تحقیق به عنوان تنظیم‌کننده‌های زیستی اگرچه باعث افزایش صفات مورد بررسی شده اما ترکیبات فنلی نظیر اسید بنزوئیک ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر تأثیر بیشتری در افزایش مقادیر این صفات داشته است. با توجه به ضرورت تولید گیاهان دارویی در نظام‌های زراعی و لزوم توجه به کشت این گیاهان در نظام‌های کم نهاده، به نظر می‌رسد تنظیم‌کننده‌های زیستی جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی در تولید این گیاهان باشند. بنابراین استفاده از تنظیم کننده‌های رشد به عنوان محرک‌های شبه هورمونی، گیاه را در راستای مصرف کارآمد عناصر غذایی و همچنین تنظیم رشد سلولی و تمایز یاری می‌دهند. بطور کلی، نتایج این تحقیق حاکی از آن است که کاربرد تنظیم کننده‌های زیستی، در بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی *A. visnaga* و همچنین پایداری تولید و حفظ محیط‌زیست تأثیر مثبتی داشته است. از این رو استفاده از اسید بنزوئیک به عنوان یک تنظیم‌کننده زیستی را می‌توان برای افزایش تولید و راندمان گیاه *Ammi visnaga* (L.) پیشنهاد نمود.

منابع

Adams, R.P. 2001. Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/ uadrupole Mass Spectroscopy. Allured: Carol Stream. USA.

Adisakwattana, S., Sompong, W., Meeprom, A., Ngamukote, S., and Yibchok-Anun, S. 2012. Cinnamic acid and its derivatives inhibit fructose-mediated protein glycation. International Journal of Molecular Sciences 13: 1778-1789.

Astarai, A., and Koocheki, A. 1997. The Use of Biological Fertilizers in Sustainable Agriculture. Mashhad ID Press, Mashhad, Iran. (In Persian)

Belde, M., Matteis, A., Sprengle, B., Albrecht, B., and Hurle, H. 2000. Long- term development of yield affecting weeds after the change from conventional to integrated and organic farming. In: proceeding 20 German Conference on weed Biology and Weed Control 17: 291-301.

Bown, D. 1995. Encyclopaedia of Herbs and their Uses. Dorling Kindersley, London, ISBN 0-7513-020-31.

Charles, D.J., Joly, R.J., and Simon, J.E. 1990. Effect of osmotic stress on the essential oil content and composition of peppermint. Photochemistry 29(9): 2837–2840.

Ghasemzadeh, A., and Jaafar, H. 2012. Effect of salicylic acid application on biochemical changes in ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). Journal of Medicinal Plants Research 6: 790–795.

Chevalier, A. 1996. The Encycclopedia of Medicinal Plants. Dorling Kindersley, London. ISBN 9-780751-303148.

Cohen, S., and Kennedy, J. 2010. Plant metabolism and the environment: Implications for managing phenolics. Food Science and Nutrition 50: 620–643.

Erisman, J.W. 2004. The Nanjing declaration on management of reactive nitrogen. Bioscience 54: 4286-4287.

Garde-Cerdán, T., López, R., Portu, J., González-Arenzana, L., López-Alfaro, I., and Santamaría, P. 2014. Study of the effects of proline, phenylalanine, and urea foliar application to Tempranillo vineyards on grape amino acid content. Comparison with commercial nitrogen fertilizers. Food Chemistry 163: 136-141.

Hamidi, A., Ghalavand, A., Dehghan, M., Malakuti, M.J., Asgharzade, A., and Chokan, R. 2005. The effect of application of plant growth promoting rhizobacteria on the yield of fodder maize (*Zea mays* L.). Pajouhesh and Sazandegi 70: 16-22. (In Persian with English Summary)

Ibrahim, M., and Jaafar, H. 2011. Involvement of carbohydrate, protein and phenylanine ammonialyase in up-regulation of secondary metabolites in *Labisia pumila* under various CO_2 and N_2 levels. Molecules 16: 4172–4190.

Jamshidi, M., Ahmadi, H.R., Rezazadeh, S.h., Fathi, F., and Mazanderani, M. 2010. Study on phenolicd and anioxidant activity of some selected plant of Mazandaran province. Journal of Medical Planats 9(34): 177-183. (In Persian with English Summary)

Jiang, Y., and Huang, N. 2001. Drought and heat stress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. Crop Science 41: 436-442.

Kang, C., and Wang, C.H. 2003. Salicylic acid changes activities of H_2O_2 metabolizing enzymes and increases the chilling tolerance of banana seedlings. Environment and Experimental Botany 9-15.

Khadhri, A., El Mokni, R., Mguis, K., Ouerfelli, I., and Eduarda, M.M.A. 2011. Variability of two essential oils of *Ammi visnaga* (L) Lam. a traditional Tunisian medicinal plant. Journal of Medicinal Plants Research 5(20): 5079–5082.

Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. Methods in Enzymology 148: 350-382.

Lrigoyen, J.J., and Emerich, D.W. 1992. Water stress induced changes in concentration of praline and total soluble sugars in modulates alfalfa (*Medicago satire*) plants. Physiologic Planetarium 84: 55-60.

Myung-Min, H., Trick, H.N., and Rajasheka, E.B. 2009. Secondary metabolism and antioxidant are involved in environmental adaptation and stress tolerance in lettuce. Journal of Plant Physiology 166: 180-191.

Nagarja, G., Gowda J., and Farooqi, A. 1999. Effect of growth regulators on growth and flowering of *Tuberose* cv. Single. Karantaka Journal of Agriculture Science 12: 234-238.

Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., and Vianello, A. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. Soil Biology and Biochemistry 34: 1527-1536.

Nosengo, N. 2003. Fertilized to death. Nature 425: 894.895.

Ozturk, A., Unlukara, A., Ipek, A., and Gurbuz, B. 2004. Effects of Salt Stress and Water Deficit on Plant Growth and Essential oil Content of Lemon Balm (*Melissa officialis* L.). Pakistan Journal of Botany 36(4): 787-792.

Pérez, M.G.F., Rocha-Guzmán, N.E., Mercado-Silva, E., Loarca-Piña, G., and Reynoso-Camacho, R. 2014. Effect of chemical elicitors on peppermint (*Mentha piperita*) plants and their impact on the metabolite profile and antioxidant capacity of resulting infusions. Food Chemistry 156: 273-278.

Pessarakli, M. 1999. Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker Inc.

Preeti, H., and Gogoi, S. 1997. Effects of preplant chemical treatment of bulbs on growth and flowering of *Polianthes tuberosa* cv. Single. Annuals Biology 13: 145-149.

Rezvani Moghaddam, P., Raoofi, M.R., Rashed Mohassel, M.H., and Moradi, R. 2009. Evaluation of sowing patterns and weed control on mung bean (*Vigna radiate* L. Wilczek)- black cumin (*Nigella sativa* L.) intercropping system. Journal of Agroecology 1(1): 65-79. (In Persian with English Summary)

Rice-Evans, C.A., Miller, N.J., and Paganga, G. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. Trends Plant Science 2: 152-159.

Rose, J., and Hulburd, J. 1992. The Aromatherapy Book Applications and Inhalations. North Atlantic Books, Health & Fitness 375 pp.

Sajjadi Niaki, H., Darzi, M.T., and Haj Seyed Hadi, M.R. 2016. Effects of vermicompst and nitroxin biofertilizer on quantity and quality of essential oil of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). Journal of Agroecology 8(2): 241-250. (In Persian with English Summary)

Satrani, B., Farah, A., Fechtal, M., Talbi, M., and Bouamri, M.L. 2004. Chemical composition and antimicrobial and antifungal activities of the essential oil of *Ammi visnaga* (L.) Lam from Marocco. Acta Botanica Gallica 151 (1): 65–71.

Taguchi, G., Yazawa, T., Hayashida, N., and Okazaki, M. 2001. Molecular cloning and heterologous expression of novel glucosyltransferases from tobacco cultured cells that have broad substrate specificity and are induced by salicylic acid and auxin. European Journal of Biochemistry 268(14): 4086-4094.

Uphof, J.C.T. 1959. Dictionary of Economic Plants. Science 890 pp.

Wu, S.C., Caob, Z.H., Lib, Z.G., Cheunga, K.C., and Wong, M.H. 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: A greenhouse trial. Geoderma 125: 155–166.

Yang, R.X., Gao, Z.G., Liu, X., Yao, Y., Cheng, Y., Huang, J., and McDermott, M.I. 2015. Effects of phenolic compounds of muskmelon root exudates on growth and pathogenic gene expression of *Fusarium oxysporum* f. sp. melonis. Allelopathy Journal 35(2): 175-186.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 309-320

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۳۲۰-۳۰۹

Effects of Bio-Regulators on Morphological and Physiological Traits and Essential Oil of *Ammi visnaga* (L.) Lam

D. Rasouli[1*], R. Mohammadpour Vashvaei[2] and B.A. Fakheri[3]

Submitted: 03-01-2017
Accepted: 06-08-2017

Rasouli, D., Mohammadpour Vashvaei, R., and Fakheri, B.A. 2019. Effects of bio-regulators on morphological and physiological traits and essential oil of *Ammi visnaga* (L.) Lam. Journal of Agroecology. 11(1):309-320.

Introduction

Ammi visnaga (L.) Lam is a herbaceous medicinal plant and belongs to Umbelliferae family. It is native to the Mediterranean region. *A. visnaga*is well known as a source of essential oil and is especially cultivated for it therapeutic properties (diaphoretic, carminative, antispasmodic, antiseptic, tonic,) being used in traditional medicine systems in many countries. Essential oil of *A. visnaga* is known for its proprieties against coronary diseases and bronchial asthma. Phenolic compounds considered as a kind of bio-regulators which are synthesized in the environmental conditions in plant cells. These compounds are involved in various processes of plant growth and reproduction as well as a defense mechanism against biotic and abiotic stresses. Amino acids as bio-regulators have been identified as an alternative to chemical fertilizer to increase soil fertility and crop production in sustainable farming. Therefore, the main objective of the present field experiment was to investigate the effects of bio-regulators on morphological and physiological traits and essential oil of *A. visnaga*.

Materials and Methods

A factorial experiment was performed based on a randomized complete block design (RCBD) at Agricultural Research Institute of Zabol University in 2014-15. The experiment was conducted in pots with a height of 20 cm and a diameter of 33 cm. The treatments used in this study consisted phenolic compounds (salicylic acid, trans-cinnamic acid and benzoic acid with three levels of 5, 10 and 20 mg l^{-1}) and amino acids (phenylalanine and tyrosine with three levels of 50, 100 and 200 mg l^{-1}). Distilled water was used as control. All treatments were applied by foliar application and spraying was done 30 days after planting. Measurement was performed at maturity stage (210 days after planting) and fruiting (180 days after planting). The measured traits include vegetative growth characteristics (plant height, branch number, umbel number, fresh weight of herb and dry weight of herb), relative water content (RWC), photosynthetic pigments (Chl a, Chl b, carotinoids, Chl a+Chl b and (Chl a+Chl b)/carotinoids), carbohydrate (total carbohydrates, soluble carbohydrate, insoluble carbohydrate), Fruit yield, essential oil content and yield. For identifying the essential oil components, essential oil fraction was collected and subjected to GC/MS (Gas Chromatography-Mass spectrometry) analysis. Analysis of variance by using SAS software and mean comparisons by Duncan's multiple range test (at the 5% probability level) was done.

Results and Discussion

The results indicated that bio-regulators significantly affected on all of the traits. In addition, benzoic acid 20 mg l^{-1} had the greatest impact compared to other treatments so that, vegetative growth characteristics 46.2 percent, RWC 60.2 percent, photosynthetic pigments include Chl a 77.6, Chl b 60.6, carotinoids 66. 7, Chla+Chl b 73.3 and Chl a+Chl b/carotinoids 19.1percent were increased compared to control treatment. After extraction type and amount of volatile compounds were determined in the aerial part of *A. visnaga* with GC-MS. Dominant compounds of essential oil in this plant were included 2, 2-dimethylbutanoic acid, isobutyl isobutyrate, thymol and croweacin. In this study, all treatments on the green tissues of *A. visnaga* were increased the essential oil

1- Ph.D. in Agricultural Biotechnology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Zanjan
2- M.Sc in Agroecology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol
3- Associate Professor of Plant Breeding, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol
(*- Corresponding Author Email: diakorasouli@znu.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v11i1.61527

content. The results of this study demonstrated that, the use of bio-regulators, with aimed at reducing the use of chemical fertilizers, had a positive effect to increase the quality and quantity of *A. visnaga* and also, sustainable production and environmental protection.

Conclusion

The results of this study demonstrated that, the use of bio-regulators, with aimed at reducing the use of chemical fertilizers, had a positive effect to increase the quality and quantity of *A. visnaga* and also, sustainable production and environmental protection. Considering the importance of the production of medicinal plants in farming systems, bio-regulators such as phenolic compounds seem to be a viable alternative to chemical fertilizers in the production of these plants.

Keywords: Amino acids, Bio-regulators, Essential oil, Phenolic compounds.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۳۳۴-۳۲۱

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 321-334

تعیین مدل مناسب در تجزیه و تحلیل خلأ عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) در استان گیلان با روش آنالیز خط مرزی

نیلوفرآقایی‌پور[۱]، همت اله پیردشتی[۲*]، محسن زواره[۳]، حسین اسدی[۴] و محمدعلی بهمنیار[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۴

آقایی‌پور، ن.، پیردشتی، ه.، زواره، م.، اسدی، ح.، بهمنیار، م.ع. ۱۳۹۸. تعیین مدل مناسب در تجزیه و تحلیل خلأ عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) در استان گیلان با روش آنالیز خط مرزی. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱(۱):۳۳۴-۳۲۱.

چکیده

یکی از روش‌های توانمند در جهت ارزیابی پتانسیل عملکرد و دلایل خلأ عملکرد، آنالیز خط مرزی می‌باشد. پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تعیین عملکرد بهینه و تأثیر احتمالی اجزای وابسته به عملکرد در شالیزارهای برنج (*Oryza sativa* L.) دشت فومنات استان گیلان (رقم طارم هاشمی) اجرا شد. جهت توصیف رابطه بین عملکرد و اجزای عملکرد از مدل‌های دوتکه‌ای، دندان‌مانند و درجه دوم استفاده گردید. برای انتخاب مدل برتر از چهار معیار میانگین قدر مطلق خطا، ضریب تبیین، ضرایب رگرسیون خطی ساده و ضریب تغییرات استفاده و پس از انتخاب مدل برتر، خلأ عملکرد، عملکرد بهینه و مقادیر بهینه اجزای عملکرد با استفاده از روش آنالیز خط مرزی محاسبه شدند. در بین مدل‌های برازش‌یافته، مدل دوتکه‌ای برای دو ویژگی تعداد خوشه در مترمربع و وزن صد دانه دارای کمترین RMSE و ضریب تغییرات بوده و به‌خوبی توانسته به توصیف روند تغییرات بپردازد. علاوه براین، تابع دندان‌مانند با کمترین RMSE و ضریب تغییرات برای توصیف روند تغییرات ویژگی تعداد دانه پر مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به مدل‌ها، خلأ عملکرد در دشت فومنات برابر با ۳/۶۳ تن در هکتار با میانگین عملکرد بهینه و عملکرد کشاورز به‌ترتیب برابر با ۸/۴۴ و ۴/۸۱ تن در هکتار برآورد شد. همچنین، مقادیر بهینه اجزای عملکرد شامل تعداد خوشه در متر مربع، تعداد دانه پر در خوشه و وزن صد دانه (گرم) به‌ترتیب برابر با ۵۶۰، ۸۳/۹-۴۷ و ۲/۱۸ به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: تعداد خوشه، رگرسیون غیرخطی، ضریب تبیین، مدل دندان‌مانند، مدل دو تکه‌ای

مقدمه

به‌منظور افزایش تولید برنج (*Oryza sativa* L.) می‌توان از شاخص‌های فیزیولوژیک مؤثر در عملکرد و مدیریت مناسب مزرعه بهره جست. هر چند این امر مستلزم شناسایی تکنیک‌های زراعی و شرایط محیطی مسئول تغییرات عملکرد در مزرعه در جهت افزایش تولید است. همچنین، عوامل محدودکننده در مزرعه به‌طور مستقیم و تنها به عملکرد مرتبط نبوده و مستلزم اندازه‌گیری اجزای مختلف عملکرد شامل تعداد خوشه در واحد سطح، تعداد دانه در خوشه و وزن دانه به عنوان اندازه مقصد یا ظرفیت عملکرد در تعداد زیادی از زمین-های کشاورزان واقع در منطقه مورد نظر می‌باشد (Makowski et al., 2007). تجزیه و تحلیل این اجزا نه تنها به شناخت اجزای محدود کننده عملکرد کمک می‌کند، بلکه راه‌های افزایش عملکرد را نیز نشان می‌دهد (Mustafavi Rad & Tahmasbi Sarvestani, 2003). برای نمونه، وزن دانه به مقدار انتقال مواد فتوسنتزی به دانه وابسته بوده و در منابع به ارتباط معنی‌دار بین سرعت پر شدن و وزن دانه اشاره شده است (Mohandass et al., 1988; Mojtabaie Zamani et al., 2007). با اندازه‌گیری این ویژگی‌ها می‌توان به آنالیز

۱ و ۲- دانشجوی دکتری و دانشیار، گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳- دانشیار فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه گیلان
۴- دانشیار فیزیک و فرسایش خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
۵- استاد خاکشناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*- نویسنده مسئول: Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v11i1.66914

خلأ عملکرد به‌دست آمده در ارتباط با اجزای اصلی عملکرد دست یافت.

خلأ عملکرد در واقع تفاوت بین عملکرد پتانسیل و واقعی می‌باشد و مفهوم خلأ عملکرد در مطالعات مختلف به عنوان شاخصی مهم برای افزایش عملکرد در گیاهان زراعی و مناطق مختلف می‌باشد (Amiri Deh Ahmadi et al., 2015; Hajarpoor et al., 2015; Inusah et al., 2015; Espe et al., 2016).

یکی از روش‌های توانمند در جهت ارزیابی پتانسیل عملکرد و دلایل خلأ عملکرد، آنالیز خط مرزی[1] با استفاده از تابع $Y_{Max}=f(X;\theta)$ (θ تحت عنوان لایه خط مرزی است (Hajarpoor et al., 2015). در این معادله، Y_{Max} حداکثر عملکرد به‌عنوان تابعی از مقادیر مختلف متغیر X و θ پارامترهای معادله می‌باشدکه ازطریق اندازه‌گیری‌های متعدد Y و X در مزارع مختلف تخمین زده می‌شوند (Hajarpoor et al., 2015; Soltani et al., 2016). برای مثال، $f(X;\theta)$ ممکن است به‌صورت تابعی از تعداد دانه در مترمربع به تعداد خوشه در متر مربع یا تابع مرتبط با وزن دانه بیشینه به تعداد دانه در متر مربع، نشان داده شود (Doré et al., 1998; Brancourt-Hulmel et al., 1999). این توابع می‌تواند برای شناسایی زمین‌هایی مورد استفاده قرار گیرد که در آن اجزای عملکرد نتوانسته به مقدار بهینه خود برسد و در نتیجه تعیین عوامل محدودکننده در منطقه و دوره‌های زمانی تأثیرگذاری این عوامل، مهم است (Makowski et al., 2007).

در پژوهش‌های قبلی تابع درجه دوم با معادله $Y=-10482.67+7515.772X-1171.242X^2$ بین داده‌های درصد نیتروژن برگ و عملکرد در کائوچو برازش داده شد (Banneheka et al., 2013). میلن و همکاران (Milne et al., 2006a) همچنین، با فرض توزیع نرمال دو متغیره (تعریف خط مرزی)، از حداکثر احتمال برای برآورد پارامترهای توزیع استفاده گردید. برخلاف بسیاری از روش‌های خط مرزی که تنها از یکسری از نقاط استفاده می‌شود در این روش تمام داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت و بر این اساس دو تابع درجه دوم و خطی برای تجزیه و تحلیل این روش، مناسب دانسته شده‌اند. در پژوهشی دیگر تحت عنوان مدل‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های مختلف برنج نسبت به دما، مدل دو تکه ای در مقایسه با مدل‌های بتا، درجه دوم و منحنی، دندان‌مانند برای رقم هاشمی مناسب‌تر بود (Sabouri et al., 2012).

اینوسا و همکاران (Inusah et al., 2015) در طی سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ خلأ عملکردی برنج را در غنا مورد بررسی قرار دادند و به خلأی ۵۵ درصدی عملکرد در سودان در مقایسه با گینه ساوانا دست یافتند. در مقایسه، افزایش عملکرد واقعی دانه برنج در آفریقای شرقی و جنوبی در حدود ۰/۵ تا ۲/۹ تن در هکتار گزارش شد که توسط عواملی از قبیل مدیریت علف‌های هرز، کود آلی، ایجاد پشته و مرز، کودهای شیمیایی و شیوه کاشت به‌ترتیب برابر با ۹۱/۶، ۹۰/۴، ۸۶/۷، ۵۱/۹ و ۴۲/۶ درصد کاهش می‌یابد (Nhamo et al., 2014). در آمریکا نیز عملکرد پتانسیل برنج در طی یک دوره ۱۳ تا ۱۵ سال در سیستم‌های تولید برنج با نسخه سه مدل ORYZA برآورد شد. محدوده پتانسیل عملکرد از ۱۱/۵ تا ۱۴/۵ تن در هکتار بوده در حالی‌که عملکرد واقعی از ۷/۴ تا ۹/۶ تن در هکتار یا ۵۸ تا ۷۶ درصد از پتانسیل عملکرد متغیر بود (Espe et al., 2016). در فراتحلیلی به‌منظور کمّی‌سازی خلأ عملکرد برنج در چین نیز در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳، تیمارهای مربوط به مدیریت بهینه عناصر غذایی و مقادیر کودی کشاورزان مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس نتایج، خلأ عملکردی برابر با ۰/۶ تن در هکتار مشاهده شد (Xu et al., 2016). در کشور ما نیز پژوهشی به‌منظور ارزیابی روند درازمدت ثبات عملکرد در غلات اصلی کشور با استفاده از برازش داده‌های روند عملکرد با کمک مدل‌های رگرسیون قطعه‌ای خطی، دو و سه قطعه‌ای صورت گرفت. علی‌رغم افزایش عملکرد در گندم و جو، کاهش ثبات عملکرد در این دو گیاه زراعی برعکس روند افزایشی برای ثبات عملکرد در دو گیاه زراعی برنج و ذرت (*Zea mays* L.) گزارش شد (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2014). در همین راستا و نظر به اهمیت برنج در سبد غذایی مردم و لزوم افزایش عملکرد این محصول راهبردی، این پژوهش با هدف، انتخاب یک تابع مناسب برای توصیف رابطه بین عملکرد و اجزای عملکرد برنج اجرا شد. در ادامه پس از انتخاب تابع برتر پارامترهای اجزای عملکرد و عملکرد شلتوک جهت محاسبه خلأ عملکرد در منطقه تخمین زده شد.

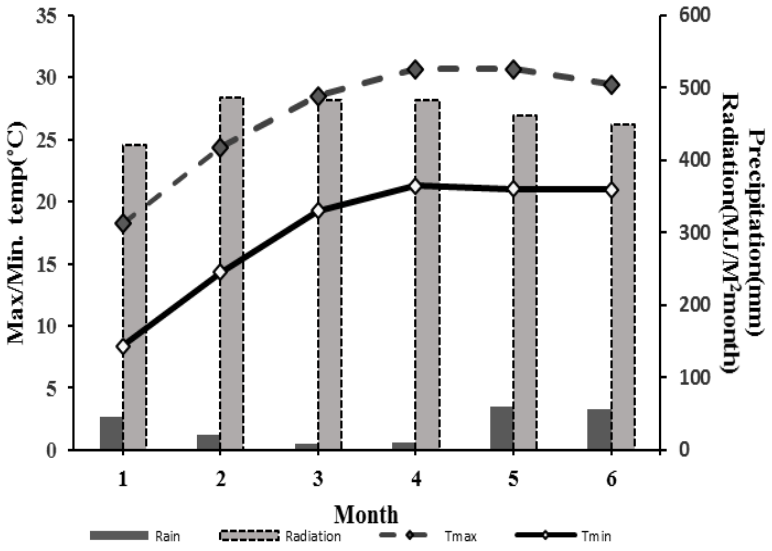
مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱و ۹۳-۱۳۹۲ در ۵۳ شالیزار (رقم طارم هاشمی) واقع در دشت فومنات (شهرستان‌های فومن و شفت) در غرب استان گیلان اجرا شد. پس از ثبت مختصات جغرافیایی این زمین‌ها توسط GPS نمونه خاک تهیه شد. برای تعیین عملکرد شلتوک در زمان رسیدگی فیزیولوژیک با سخت‌شدن دانه‌های نوک خوشه براساس کلید تشخیص ارایه شده توسط میر (Meier, 1997)، بوته‌های واقع در یک متر مربع از هر مزرعه برداشت و شلتوک‌ها با رطوبت ۱۰ درصد هوا خشک و سپس با ترازوی دقیق با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم توزین شدند. در مرحله رسیدگی دانه، تعداد خوشه‌های پنج بوته تصادفی از هر کرت شمارش و از میانگین آن در تجزیه‌های آماری استفاده شد. همچنین، از بین خوشه‌های مربوط به هر زمین، ۱۰ خوشه بطور تصادفی انتخاب و تعداد دانه‌های پر آنها شمارش شدند. برای تعیین وزن صد دانه، یک نمونه ۱۰۰ تایی از

1- Boundary-line analysis

دانه‌های پر مربوط به هر زمین به‌طور تصادفی انتخاب و سپس با ترازوی دقیق با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم توزین شد.

میانگین درجه حرارت بیشینه و کمینه در طی رشد به‌ترتیب برابر با ۲۵/۹ و ۱۶/۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی در طی فصل رشد برابر با ۲۳۱/۹ میلی‌متر بود (شکل ۱).



شکل ۱- میانگین ماهانه حداقل (دایره‌های روشن)، حداکثر (دایره‌های تاریک)، بارندگی (ستون‌های روشن) و تابش (ستون‌های تاریک) مربوط به دشت فومنات در شش ماه اول سال (۱۳۹۲ و ۱۳۹۳)

Fig. 1- Mean monthly maximum (dark circles) and minimum (bright circles) temperature, monthly total rainfall (bright columns) and radiation (dark columns) at plains Foumanat in the first six months of the year (2012, 2013)

در این بررسی برای محاسبه خط مرزی، در ابتدا به ترسیم نمودار پراکندگی[1] بین داده‌های عملکرد (به‌عنوان متغیر وابسته) و اجزای عملکرد (به‌عنوان متغیرهای مستقل) پرداخته شد. در ادامه با توجه به اطلاعات دقیق و کافی نسبت به داده‌های جمع‌آوری شده، به حذف داده‌های پرت و خارج از محدوده‌های مشخص شده، اقدام شد. در مرحله نهایی بالاترین عملکردها مشخص شده و توابع دوتکه‌ای[2] (معادله ۱)، دندان‌مانند[3] (معادله ۲) و درجه دوم (معادله ۳) برای داده‌های اجزای عملکرد (متغیر مستقل) و عملکرد (متغیر وابسته) برازش داده شدند (Hajarpoor et al., 2015; Khalili et al., 2015):

معادله اگر $F(x)=(x-L_m)/(L_o-L_m)\ \ L_m<X<L_o$ (۱)

اگر $F(x)=1-(x-L_o)/(L_c-L_o)\ \ L_o\le X<L_c$

معادله (۲) اگر $F(x)=(x-L_m)/(L_{o1}-L_m)\ L_m<X<L_{o1}$

اگر $F(x)=(L_c-x)/(L_c-L_{o2})\ \ L_{o2}\le X<L_c$

اگر $F(x)=1\ L_{o1}\le X<L_{o2}$

اگر $F(x)=0\ \ X\le L_M\ or\ X\ge L_c$

معادله (۳) $F(x)=ax^2+bx+c$

در این توابع، L_M: مقدار حداقل، L_O: مقدار مطلوب، L_{O1}: مقدار مطلوب تحتانی، L_{O2}: مقدار مطلوب فوقانی، L_C: مقدار حداکثر است. در تابع درجه دوم،Y: برابر با عملکرد دانه و X: هر یک از اجزای عملکرد مورد بررسی بود. تخمین پارامترهای توابع مذکور به کمک رویه PROC NLIN و PROC REG نسخه ۹/۴ نرم‌افزار SAS صورت پذیرفت. انتخاب بهترین برآورد پارامترهای توابع براساس آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) کمتر و خطای معیار (SE) کمتر تجزیه رگرسیون مشخص شد. همچنین؛ هرچقدر ضریب تبیین (R^2) مدل مورد استفاده بیشتر باشد نشان‌دهنده توجیه بهتر مدل برای صفات مورد نظر می‌باشد. ضرایب a و b به‌ترتیب نشان‌دهنده میزان انحراف خط رگرسیون از مبدا مختصات و میزان اریب

1- Scatter plot
2- Segmented model
3- Dent-like

خط رگرسیون از خط ۱:۱ است (Soltani et al., 2006a). مقدار عددی این ضرایب با نرم‌افزار SAS تعیین شد. معنی‌داری ضریب a به این معنی است که عرض از مبدأ خط رگرسیون دارای اریبی از عرض از مبدأ خط ۱:۱ بوده در حالی‌که معنی‌داری ضریب b به این معنا است که خط رگرسیون نسبت به خط ۱:۱ دارای اریبی است (فاصله داشتن شیب خط رگرسیون از شیب خط ۱:۱) (Ahmadi et al., 2010). در واقع، کمتر بودن پراکنش نقاط در اطراف خط یک به یک، نشانه کارایی بالاتر مدل است. سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2006a) بیان نمودند که در طی دو مرحله می‌توان به انتخاب مدل مناسب اقدام نمود: گام اول، انتخاب مدل‌هایی که پیش-بینی آنها دارای اریبی نباشد یعنی مقادیر a و b برای آنها معنی‌دار نباشد. در مرحله دوم از بین مدل‌های برگزیده مرحله اول، مدل یا مدل‌هایی گزینش می‌شوند که بخش بزرگتری از تغییرات توجیه کنند و دارای ضریب تبیین بالاتر، جذر میانگین مربعات خطای کوچک‌تر و همبستگی بالای بین مقادیر پیش‌بینی و مشاهده شده باشد (Soltani et al., 2006a). در ادامه، نمودارهای حاصله با نسخه ۲۰۱۳ صفحه گستر اکسل رسم شدند.

نتایج و بحث

نتایج همبستگی بین داده‌ها نشان داد که بین عملکرد دانه با تعداد خوشه در متر مربع ($r=۰/۲۴^{*}$)، تعداد دانه پر ($r=۰/۱۹^{**}$) و وزن صد دانه ($r=۰/۴۰^{***}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت؛ در حالی‌که بین وزن صد دانه با تعداد خوشه در متر مربع، همبستگی منفی و معنی‌داری مشاهده شد ($r=-۰/۲۱^{***}$) (جدول ۱). همبستگی مثبت و معنی‌دار بین تعداد دانه در خوشه و وزن دانه با عملکرد (Selvaraj et al., 2011)، همبستگی مثبت و معنی‌دار تعداد خوشه در بوته و تعداد دانه پر در خوشه با عملکرد دانه (Souroush et al., 2004)، همبستگی مثبت و معنی‌دار بین تعداد دانه در خوشه با وزن صد دانه و عملکرد دانه (در نسل چهارم) و تعداد دانه در خوشه با وزن دانه (در نسل پنجم) توسط راجسواری و ناداراجان (Rajeswari & Nadarajan, 2004) و اثر مستقیم مثبت صفات تعداد دانه در خوشه و تعداد پنجه بر عملکرد برنج توسط کوندو و کونداگرامی (Kundu & Kundagrami, 2015) قبلاً نیز گزارش شده بود. همچنین، در بررسی ارزیابی پارامترهای ژنتیکی صفات زراعی مؤثر در عملکرد، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و تعداد پنجه بارور، تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه مشاهده شد (Beikzadeh et al, 2015). همچنین بومان و همکاران (Bouman et al., 2005) صفات تعداد خوشه در بوته و تعداد دانه پر در خوشه را به‌عنوان مهم‌ترین اجزای عملکرد دانه در ارقام برنج دانسته‌اند، در حالی‌که در مطالعه صفائی چائی‌کار و همکاران (Safae chaykar et al., 2009) وزن هزار دانه با هیچ یک از صفات همبستگی معنی‌داری نشان نداد که با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت ندارد.

جدول ۱- ضرایب همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد دانه برای برنج (رقم طارم هاشمی)

Table 1- Correlation coefficients between grain yield and yield components of rice (cv. 'Tarom Hashemi')

صفات Traits	تعداد خوشه در مترمربع Panicle number ($No.m^{-2}$)	تعداد دانه پر Filled grain number ($No.panicle^{-1}$)	وزن صد دانه 100-grain weight(g)	عملکرد شلتوک Paddy yield ($t.ha^{-1}$)
تعداد خوشه در مترمربع Panicle number ($No.m^{-2}$)	1			
تعداد دانه پر Filled grain number ($No.panicle^{-1}$)	0.029^{ns}	1		
وزن صد دانه 100-grain weight (g)	-0.213^{**}	0.256^{ns}	1	
عملکرد شلتوک Paddy yield ($t.ha^{-1}$)	0.243^{*}	0.192^{**}	0.40^{***}	1

ns، *، ** و ***به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار با احتمال ۵، یک و ۰/۱ درصد

پارامترهای ارزیابی برازش توابع مختلف به داده‌های عملکرد در مقابل اجزای عملکرد در جدول ۲ آورده شده است. در بررسی معنی-داری ضرایب a و b، تابع درجه دوم در تمام صفات مورد بررسی، مدل دو تکه‌ای در صفات تعداد خوشه در متر مربع و تعداد دانه پر در خوشه در هر دو ضریب معنی‌دار بودند. ضریب b در مدل دندان‌مانند برای هر سه خصوصیت خوشه در متر مربع، تعداد دانه پر و وزن صد دانه و در مدل دوتکه‌ای برای صفت وزن صد دانه معنی‌داربود (جدول ۲). با توجه به‌اینکه ضرایب a و b از لحاظ معنی‌داری در دو مدل دو تکه‌ای و دندان مانند مشابه است به بررسی آماره‌های ضریب تغییرات، ضریب تبیین و RMSE در صفات مورد بررسی پرداخته شد. در صفت تعداد خوشه در متر مربع در هر دو مدل دو تکه‌ای و دندان مانند، بالاترین ضریب تبیین (برابر با ۰/۹۹) مشاهده شد، در حالی‌که

کمترین مقدار RMSE (برابر با ۰/۰۸۲۵) و کمترین مقدار ضریب تغییرات (برابر با ۱/۲۶) به مدل دو تکه‌ای اختصاص داشت.

جدول ۲- جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تغییرات (CV)، ضریب تبیین (R^2) و ضرایب ساده رگرسیون (a و b) برای مدل‌های مختلف رگرسیونی در اجزای عملکرد برنج

Table 2- Root mean square error (RMSE), coefficient of variation (CV), determination Coefficient (R^2) and regression simple coefficients (a & b) for regression different models in rice yield components

مدل Model	اجزای عملکرد Yield components	ضریب رگرسیون a±SE	ضریب رگرسیون b±SE	عرض از مبدا Intercept	ضریب تبیین R^2	جذر میانگین مربعات خطا RMSE	ضریب تغییرات CV
دوتکه‌ای Segmented	تعداد خوشه در متر مربع Panicle number (No.m^{-2})	0.403±0.119*	0.927±0.017*	-	0.99	0.0825	1.26
	تعداد دانه پر در خوشه Filled grain number (No.panicle^{-1})	1.88±0.740*	0.710±0.103*	-	0.85	0.445	6.48
	وزن صد دانه 100-grain weight(g)	0.7759±0.526	0.866±0.074*	-	0.95	0.472	6.39
دندان مانند Dent-like	تعداد خوشه در متر مربع Panicle number (No.m^{-2})	0.152±0.020	0.996±0.023*	-	0.99	0.100	1.55
	تعداد دانه پر در خوشه Filled grain number (No.panicle^{-1})	-0.051±0.906	1.039±0.124*	-	0.93	0.484	6.60
	وزن صد دانه 100-grain weight (g)	-0.455±0.720	0.934±0.106*	-	0.91	0.639	9.81
تابع درجه دوم	تعداد خوشه در مترمربع Panicle number (No.m^{-2})	-0.00003±0.000005*	0.031±0.004*	0.745±0.799*	0.89	0.581	8.75
	تعداد دانه پر در خوشه Filled grain number (No.panicle^{-1})	-0.004±0.0008*	0.564±0.105*	-9.85±2.95*	0.88	0.649	9.42
	وزن صد دانه 100-grain weight (g)	-8.11±1.07*	40.95±5.08*	-43.02±5.88*	0.93	0.561	7.99

*: برای ضریب a نشان‌دهنده اختلاف معنی–دار آن با صفر است و برای ضریب b اختلاف معنی‌دار را با یک نشان می‌دهد.

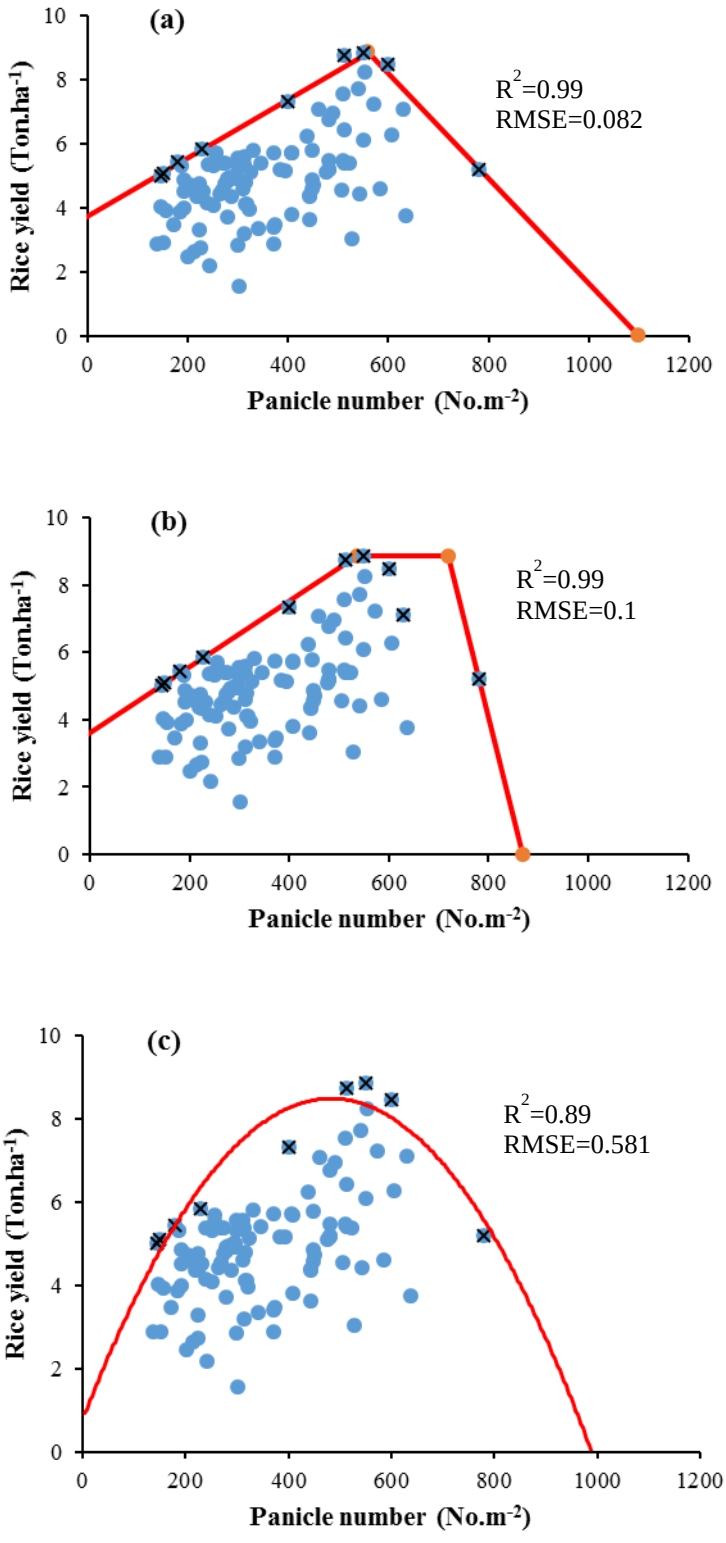
*** Significant difference (P < 0.05) from 0 for a and significant difference from 1 for b.**

SE± خطای استاندارد را نشان می‌دهد.

±SE indicate the standard error of mean.

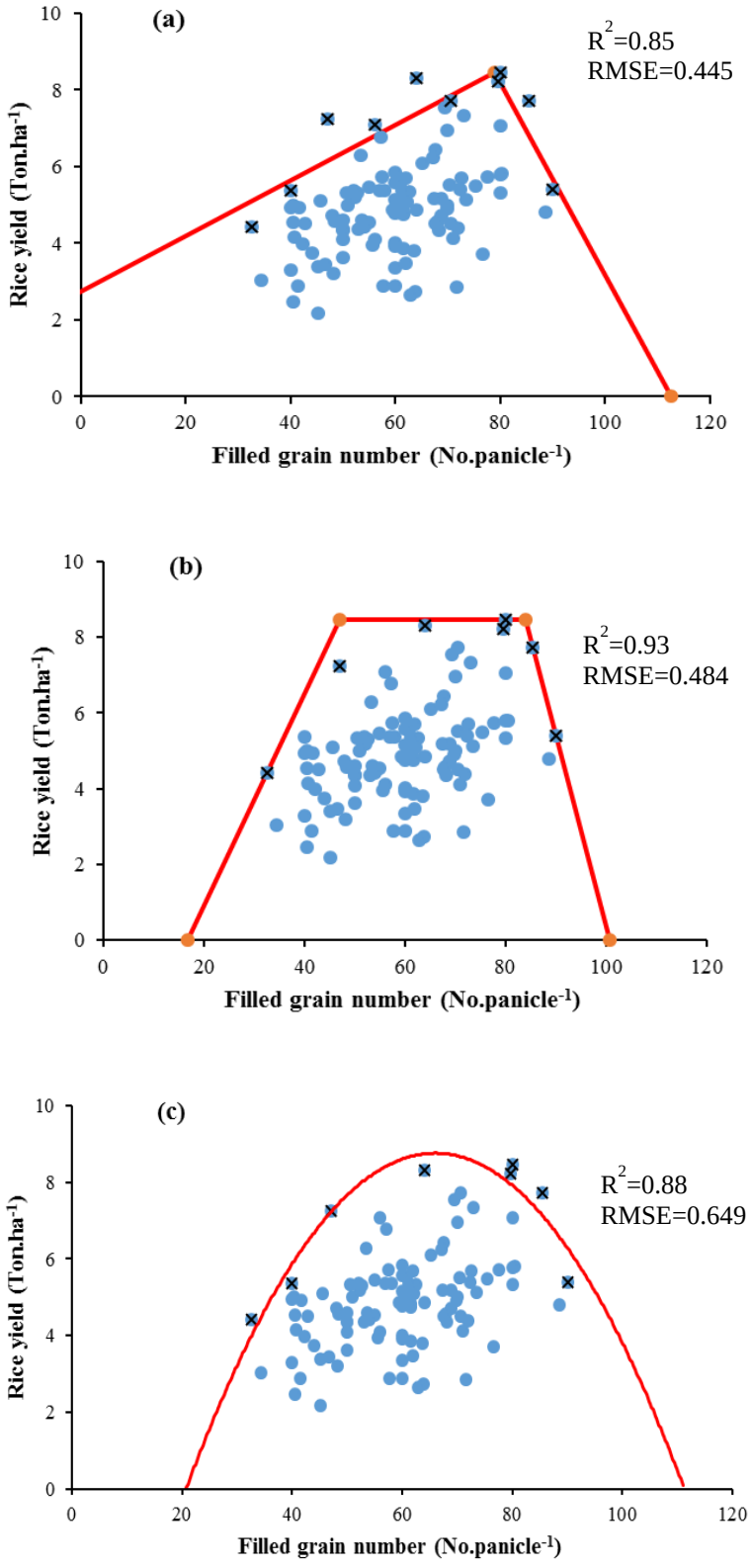
در بررسی صفت تعداد دانه پر بیشترین ضریب تبیین برابر با ۰/۹۳ در مدل دندان‌مانند بوده و کمترین RMSE و ضریب تغییرات به‌ترتیب برابر با ۰/۴۸۴ و ۶/۶۰ در برازش این مدل مشاهده شد (جدول ۲). مدل دو تکه‌ای در بررسی بین مدل‌های برازش یافته در صفت وزن صد دانه دارای ضریب تبیینی برابر با ۰/۹۵ و همچنین دارای کمترین RMSE و ضریب تغییرات به‌ترتیب برابر با ۰/۴۲۷۲ و ۳/۳۹۴ بود (جدول ۲). در واقع ضرایب تبیین بالای مدل‌های برازش یافته، نشان‌دهنده پراکندگی بیشتر نقاط در اطراف خط ۱:۱ می‌باشد. پارامترهای برآورد شده با تمام مدل‌ها و شکل‌های مربوطه برای مقایسه ارائه شده است (شکل‌های ۲، ۳ و ۴ و جدول ۳). نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2014)، مدل خطی را برای ارزیابی ثبات عملکرد در برنج مناسب دانسته‌اند. کاسانوا و همکاران (Casanova, 2002) برای توصیف رابطه عملکرد دانه با تعداد خوشه در متر مربع، تعداد خوشه‌چه در متر مربع و درصد دانه‌های پوک از رابطه خطی استفاده نمودند. احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2010) بهترین مدل را برای توصیف رابطه سرعت ساقه‌رفتن رقم تجن گندم را مدل دوتکه‌ای دانسته‌اند. عجم‌نوروزی و همکاران (Ajam Norouzi et al., 2007) در پژوهشی به‌منظور مدلسازی واکنش سبز شدن باقلا (*Vicia faba* L.) به دما در شرایط مزرعه، مدل دوتکه‌ای را مناسب بیان نموده‌اند. ادیب‌نیا و همکاران (Adibnia et al., 2015) در بررسی به‌منظور کمّی کردن واکنش سبز شدن گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) نسبت به دما، مدل دوتکه‌ای در مقایسه با مدل‌های دندان مانند و بتا دارای ضریب تغییرات پایین‌تر، ضریب تبیین بالاتر و جذر میانگین مربعات خطای کمتر و در نتیجه برازش بهتری بود. صبوری و همکاران (Sabouri

et al., 2012) در مدل‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی رقم هاشمی، مدل دوتکه‌ای را مدل برتر انتخاب کردند.



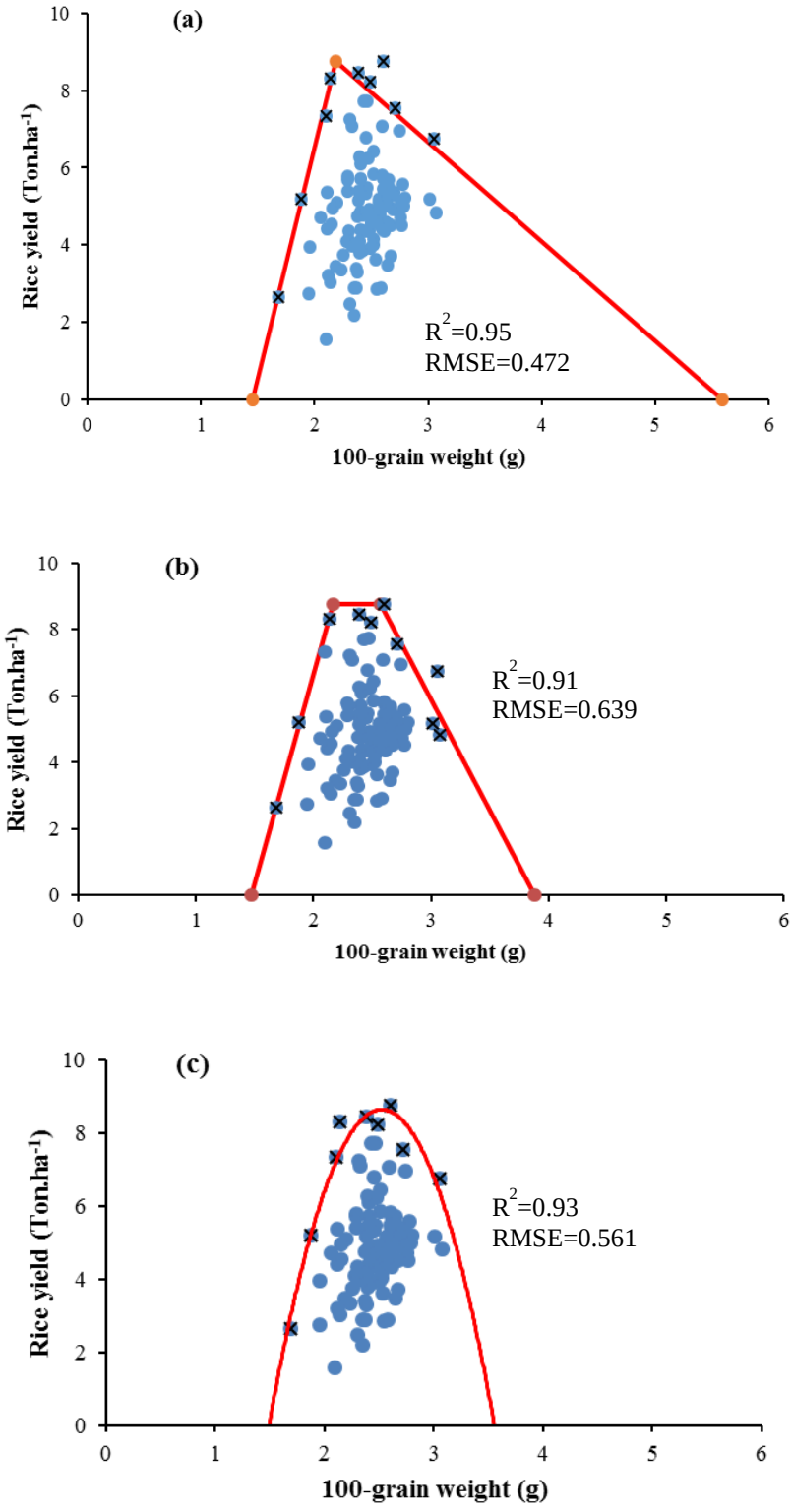
شکل ۲- رابطه عملکرد با تعداد خوشه در مترمربع در مدل‌های الف)دوتکه‌ای، ب) مدل دندان‌مانند و (ج) درجه دوم

Fig. 2- Scatter graph of yield vs. panicle number: segmented model (a), dent-like (b) and quadratic function (c)



شکل ۳- رابطه عملکرد با تعداد دانه پر در خوشه در مدل‌های الف)دوتکه‌ای، ب) مدل دندان‌مانند و ج) درجه دوم

Fig. 3- Scatter graph of yield vs. filled grain number: segmented model (a), dent-like (b) and quadratic function (c)



شکل ٤- رابطه عملکرد با وزن صد دانه در مدل‌های الف) دوتکه‌ای، ب) مدل دندان‌مانند و ج) درجه دوم

Fig. 4- Scatter graph of yield vs. 100- grain weight: segmented model (a), dent-like (b) and quadratic function (c)

در مدل دوتکه‌ای مقادیر حداقل، بهینه و حداکثر محاسبه می‌شود، اما مدل دندان‌مانند به برآورد دامنه مقادیر بهینه (بهینه تحتانی و فوقانی) می‌پردازد. مقدار بهینه برآورد شده توسط مدل دو تکه‌ای برای ویژگی‌های وزن صد دانه، تعداد خوشه در متر مربع و تعداد دانه پر به‌ترتیب برابر با ۲/۱۸ گرم، ۵۶۰ و ۸۳/۰۶ بود. مقدار بهینه مطلوب تحتانی برآورد شده توسط مدل دندان‌مانند در صفات تعداد خوشه، تعداد دانه پر و وزن صد دانه به‌ترتیب برابر با ۵۳۵، ۴۷ و ۲/۱۶ (گرم) و مقدار بهینه فوقانی به ترتیب برابر با ۷۱۸، ۸۳/۹۳ و ۲/۵۷ (گرم) بود (جدول ۳).

از طرفی، معادله $Y=ax^2+bx+c$ بین عملکرد و اجزای عملکرد محاسبه شد که در آن، Y: برابر با عملکرد دانه و X: هر یک از اجزای عملکرد مورد بررسی (ضرایب گزارش شده در جدول ۲) بود. عوامل مختلف مدیریتی از قبیل مصرف کودهای شیمیایی به‌خصوص نیتروژن و آبیاری در اجزای عملکرد به‌خصوص تعداد خوشه تاثیر دارد؛ بررسی‌های متعددی در رابطه با تأثیر کود نیتروژن بر افزایش تعداد خوشه در واحد سطح برنج گزارش شده است (Mustafavi Rad & Tahmasbi Sarvestani, 2003; Kazemi Poshtmassari et al., 2007; Shokri et al., 2012; Gharavi Baigi et al., 2014). بر اساس گزارش صفائی چائی‌کار و همکاران (Safae chaykar et al., 2009) و هوآنگ و همکاران (Huang et al., 2011) ، ویژگی تعداد خوشه در بوته دارای بیشترین اثر مستقیم بر عملکرد شلتوک بود. با توجه به اینکه ویژگی اندازه دانه بیشتر تحت تأثیر کنترل ژنتیکی بوده و همچنین رشد دانه با پوست دانه کنترل می‌شود؛ بنابراین، به‌نظر می‌رسد که تأثیرپذیری تغییرات وزن هزار دانه ارقام مختلف برنج در شرایط محیطی مختلف، زیاد نمی‌باشد (Mustafavi Rad & Tahmasbi Sarvestani, 2003). حاتمی و همکاران (Hatami et al., 2016) در پژوهشی به‌منظور اثر زمان نشاکاری بر عملکرد شلتوک ارقام طارم صمدی، طارم هاشمی، طارم محلی، شیرودی، کشوری و گوهر، تعداد پنجه مؤثر در متر مربع و تعداد دانه در خوشه را برای رقم طارم هاشمی به‌ترتیب برابر با ۲۷۳ و ۱۱۷ گزارش کردند. کاظمی پشت مساری و همکاران (Kazemi Poshtmassari et al., 2007)، تعداد پنجه بارور، تعداد دانه در خوشه رقم طارم در تیمارهای مختلف کودی را به ترتیب برابر با ۶۱ و ۱۰۳ گزارش کردند. وزن هزاردانه برای رقم طارم برابر با ۲۴/۱۶ گرم گزارش شد. در پژوهش دیگری تعداد خوشه در واحد سطح (متر مربع) در رقم هاشمی برابر با ۲۵۶/۳ و وزن هزار دانه برابر با ۲۴/۳ گرم گزارش شد (Mahdavi et al., 2006).

جدول ۳- برآورد مقادیر حداقل (L_M)، بهینه (L_O)، بهینه تحتانی (L_{O1})، بهینه فوقانی (L_{O2})، حداکثر (L_C) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی در برنج

Table 3- Estimated minimum level (L_M), optimum level (L_O), lower optimum level (L_{O1}), upper optimum level (L_{O2}), and ceiling level (L_C) using regression models for rice

مدل Model	اجزای عملکرد	ضرایب مدل‌های برازش شده Coefficients for estimated models				
		L_M	L_O	L_{O1}	L_{O2}	L_C
دوتکه‌ای Segmented	تعداد خوشه در مترمربع Panicle number (no.m-^{2})	-412±33.2	560±11.3	-	-	1099±36.02
	تعداد دانه پر در خوشه Filled grain number (no.panicle^{-1})	-53.9±19.48	83.06±2.39	-	-	102.8±7.22
	وزن صد دانه 100-grain weight (g)	1.456±0.0726	2.18±0.050	-	-	5.58±0.564
دندان مانند Dent-like	تعداد خوشه در مترمربع Panicle number (no.m-^{2})	-367.9±53.96	-	535±24.8	718±3.17	868±0
	تعداد دانه پر در خوشه Filled grain number (no.panicle^{-1})	16.84±4.6	-	47±0	83.93±1.68	100.7±5.03
	وزن صد دانه 100-grain weight (g)	1.47±0.09	-	2.16±0.063	2.57±0.1111	3.88±0.314

بر اساس یافته‌ها، عملکرد متوسط کشاورزان در منطقه مورد بررسی برابر با ۴/۸۱ تن در هکتار و عملکرد بهینه محاسبه شده برای صفات تعداد خوشه در متر مربع، تعداد دانه پر در خوشه و وزن صد دانه به‌ترتیب برابر با ۸/۷۵، ۸/۴۶ و ۸/۱۳ تن در هکتار بود (جدول ۴). بیشترین خلأ عملکردی محاسبه شده برابر با ۳/۹۴ تن در هکتار در صفت تعداد خوشه در مترمربع بود. خلأ عملکرد محاسبه شده در تعداد دانه پر در خوشه و وزن صد دانه به‌ترتیب برابر با ۳/۶۵ و ۳/۳۲ تن در هکتار بود (جدول ۴). مطابق با نتایج پژوهش حاضر، بومان و همکاران (Bouman et al., 2005) نیز دو صفت تعداد خوشه در بوته و تعداد دانه در خوشه را به عنوان مهم‌ترین اجزای عملکرد دانه در

ژنوتیپ‌های برنج معرفی که به‌ترتیب بیشترین خلأ عملکرد را ایجاد نمودند. سروش و همکاران (Souroush et al., 2004) نیز در مطالعه روابط بین عملکرد و اجزای عملکرد برنج، به همبستگی مثبت و معنی‌دار دو صفت تعداد خوشه در بوته و تعداد دانه سالم در خوشه با عملکرد دست یافتند. همچنین این محققین بر این باورند که صفات مذکور دارای اثرات مستقیم بالایی بر عملکرد دانه بوده و به‌علاوه موجب افزایش اثرات غیرمستقیم صفات دیگر شده که در نتیجه، می‌توانند به‌عنوان معیار گزینش جهت اصلاح عملکرد دانه مطرح باشند. در پژوهشی به‌منظور پیش‌بینی عملکرد برنج توسط اجزای عملکرد و فاکتورهای محدود کننده عملکرد، برای اندازه‌گیری عملکرد در واحد سطح علاوه بر ویژگی‌های تعداد خوشه و خوشه‌چه، تعداد دانه‌های پوک، شدت آلودگی علف‌های هرز و ناهمگنی مکانی در مزارع را ضروری دانسته‌اند. دقت پیش‌بینی در عملکرد در ویژگی‌های ذکر شده، بالا بوده و دارای ضریب همبستگی برابر با ۰/۹۴ بود. این محققین، فاکتورهای پتاسیم، روی، تعداد گیاهان استقراریافته در مزرعه و طول دوره رشدی را چهار فاکتور اصلی محدودکننده رشد برنج دانسته‌اند (Casanova et al., 2002). اسپی و همکاران (Espe et al., 2016) در طی یک دوره ۱۳ تا ۱۵ ساله در امریکا، اختلاف بین عملکرد پتانسیل با عملکرد واقعی را در حدود ۴/۹-۴/۱ تن در هکتار بیان نموده‌اند؛ محدوده خلأ عملکرد در پژوهش حاضر برابر با ۳/۹۴-۳/۳۲ تن در هکتار بود. محققین روش‌های مختلفی را برای توصیف نوسانات مکانی-زمانی عملکرد مورد استفاده قرار داده‌اند. مدل‌های شبیه‌سازی رشد از قبیل مدل‌های نقطه‌ای در شبکه‌هایی با وسعت کم در یک مزرعه جهت پیش‌بینی نوسانات عملکرد (Nassiri Mahallati et al., 2016)، استفاده از مدل‌های مختلف از قبیل رگرسیون قطعه‌ای خطی، دو و سه قطعه‌ای در بررسی ثبات عملکرد (Nassiri Mahailati & Koocheki, 2014) و استفاده از مدل‌های خطی در پیش‌بینی عملکرد برنج در ارتباط با اجزای عملکرد (Casanova et al., 2002) را می‌توان نام برد. نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahailati & Koocheki, 2014) در طی مطالعه‌ای به منظور ارزیابی ثبات عملکرد غلات در کشور، مدل خطی را برای داده‌های عملکرد برنج با شیب خط رگرسیونی کمتر از یک بدست آوردند که نشان‌دهنده ثبات بالای عملکرد این گیاه زراعی در مقایسه با سایر غلات بود. این پژوهشگران در واقع نوسان عملکرد برنج را در مواجهه با تغییرات سالانه محیطی در حدود ۱۴ درصد کمتر از میانگین تغییرات عملکرد همه غلات دانستند. در واقع، وجود نوسان در اختلاف عملکرد دانه ارقام در سال‌های مختلف می‌تواند به شرایط آب و هوایی در سال‌های مختلف به ویژه بارش و دمای هوا مربوط باشد (Tarang et al., 2013). بر اساس داده‌های شکل ۱، در طی دو سال مورد بررسی در این پژوهش مقدار بارش سال اول در مقایسه با سال دوم در حدود ۵۶ درصد و مقدار تابش در سال دوم در مقایسه با سال اول در حدود ۸۳ درصد بیشتر بود. همچنین تفاوت‌های ناشی از خاک مکان‌های مختلف هم موجب تفاوت و نوسان در عملکرد می‌شود (Tarang et al., 2013).

جدول ٤- نتایج تجزیه و تحلیل مرزی،عملکرد بهینه و خلأ عملکرد برنج در دشت فومنات استان گیلان

Table 4- The results of boundary line analysis, best yield and yield gap of rice in Foumanat plain of Guilan Province

	تعداد خوشه در مترمربع Panicle number (No.m^{-2})	تعداد دانه پر در خوشه Filled grain number (No.panicle^{-1})	وزن صد دانه 100-grain weight (g)	میانگین Average
مقادیر بهینه Optimal level	560	47-83.9	2.18	
عملکرد بهینه Best yield	8.75	8.46	8.13	8.44
متوسط عملکرد Average yield (t.ha^{-1})	4.81	4.81	4.81	4.81
خلأ عملکرد Yield gap (t.ha^{-1})	3.94	3.65	3.32	3.63
درصد خلأ عملکرد Yield gap (%)	45.02	43.14	40.83	43

نتیجه‌گیری

نتایج همبستگی بین داده‌های عملکرد و اجزای عملکرد، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با تعداد خوشه در متر

مربع، تعداد دانه پر و وزن صد دانه و همبستگی منفی و معنی‌داری بین وزن صد دانه با تعداد خوشه در متر مربع، نشان داد. همچنین، مدل دوتکه‌ای به عنوان مدل برتر در دو صفت تعداد خوشه در متر مربع و وزن صد دانه بود. در صفت تعداد دانه پر در خوشه، مدل دندان‌مانند دارای بهترین برازش بود. منطقه دشت فومنات واقع در غرب استان گیلان با عملکردهای واقعی پایین، دارای خلأ عملکرد بالا و قابل توجهی بوده؛ بنابراین، پتانسیل زیادی برای افزایش عملکرد فعلی دارد. محاسبه خلأ عملکرد با روش آنالیز خط مرزی، عملکرد بهینه در منطقه را برابر با ۸/۴۴ تن در هکتار نشان داد، در حالی‌که عملکرد متوسط کشاورزان برابر با ۴/۸۱ تن در هکتار با کاهشی معادل ۴۰ درصد بود. بیشترین سهم در خلأ عملکرد به صفت تعداد خوشه در متر مربع (۴۵/۰۲ درصد) و پس از آن به تعداد دانه پر در خوشه (۴۳/۱۴ درصد) تعلق داشت. مقادیر بهینه برای دو صفت تعداد خوشه در متر مربع و وزن صد دانه (گرم) در مدل دوتکه‌ای برابر با ۵۶۰ و ۲/۱۸ بود؛ در حالی‌که محدوده مقدار بهینه برای صفت تعداد دانه پر در خوشه در مدل دندان‌مانند برابر با ۸۳/۹–۴۷ بود. بنابراین؛ با شناسایی عوامل تأثیرگذار در عملکرد دانه می‌توان با مدیریت زراعی مناسب در جهت کاهش خلأ عملکرد و افزایش پتانسیل عملکرد در منطقه گام برداشت.

منابع

Adibnia, M., Torabi, B., Rahimi, A., and Azari, A. 2015. Quantifying response of safflower seedling emergence to temperature. Electronic Journal of Crop Production 8: 161-177. (In Persian with English Summary)

Ahmadi, M., Kamkar, B., Soltani, A., and Zeinali, E. 2010. Evaluation of non-linear regression models to predict stem elongation rate of wheat ((Tajan cultivar) in response to temperature and Photoperiod. Electronic Journal of Crop Production 2: 39-54. (In Persian with English Summary)

Ajam Norouzi, H., Soltani, A., Majidi, E., and Homaei, M. 2007. Modelling response of emergence to temperature in faba bean under field condition. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 14: 100-111. (In Persian with English Summary)

Amiri Deh Ahmadi, S.R., Parsa, M., Bannayan Aval, M., and Nassiri Mahallati, M. 2015. Yield gap analysis of chickpea under semi-arid conditions: A simulation study. Journal of Agroecology 7: 84-98. (In Persian with English Summary)

Banneheka, B.M.S.G., Dhanushika, M.P., Wijesuriya, W., and Herath, K. 2013. A linear programming approach to fitting an upper quadratic boundary line to natural rubber data. Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka 41.

Bouman, B.A.M., Peng, S., Castaneda, A.R., and Visperas, R.M. 2005. Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. Agricultural Water Management 74: 87-105.

Brancourt-Hulmel, M., Lecomte, C., and Meynard, J.M. 1999. A diagnosis of yield-limiting factors on Probe genotypes for characterizing environments in winter wheat trials. Crop Science 39: 1798-1808.

Casanova, D., Goudriaan, J., Forner, M.M.C., and Withagen, J.C.M. 2002. Rice yield prediction from yield components and limiting factors. European Journal of Agronomy 17: 41-61.

Doré, T., Meynard, J.M., and Sebillotte, M. 1998. The role of grain number, nitrogen nutrition and stem number in limiting pea crop (*Pisum sativum*) yields under agricultural conditions. European Journal of Agronomy 8: 29-37.

Espe, M.B., Cassman, K.G., Yang, H.W., Guilpart, N., Grassini, P., Van Wart, J., Anders, M., Beighley, D., Harrell, D., Linscombe, S., McKenzie, K., Mutters, R., Wilson, L.T., and Linquist, B.A. 2016. Yield gap analysis of US rice production systems shows opportunities for improvement. Field Crops Research 196: 276-283.

Gharavi Baigi, M., Pirdashti, H., Abbasian, A., and Aghajaniye Mazandarani, G. 2014. Response of yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L. cv. Tarom Hashemi) in rice, duck and Azolla (*Azolla* sp.) farming. Journal of Agroecology 6: 477-487. (In Persian with English Summary)

Hajarpoor, A., Soltani, A., and Torabi, B. 2015. Using boundary line analysis in yield gap studies: Case study of wheat in Gorgan. Scientific Journal Management System 8: 183-201. (In Persian with English Summary)

Hatami, H., Mohsenabadi, G., Esfahani, M., Amiri Garijani, B., and Aalami, A. 2016. Effect of transplanting time on grain yield and physiological traits in grain filling period in rice cultivars. Journal of Crops Improvement 18: 655-671. (In Persian with English Summary)

Huang, M., Zou, Y.b., Jiang, P., Xia, B., Md, I., and Ao, H.J. 2011. Relationship Between Grain Yield and Yield Components in Super Hybrid Rice. Agricultural Sciences in China 10: 1537-1544.

Inusah, B.I.Y., Dogbe, W., Abdulai, A.L., Yirzagla, J., Mawunya, M., and Issahak, A.S. 2015. Yield gap survey in sudanno-guinea savanna agro-ecological zones of ghana. Sustainable Agriculture Research 4: 127-137.

Kazemi Poshtmassari, H., Pirdashti, H., Bahmanyar, M.A., and Nassiri, M. 2007. Study the effects of nitrogen fertilizer rates and split application on yield and yield components of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. Pajouhesh and Sazandegi 75: 68-77. (In Persian with English Summary)

Khalili, N., Kamkar, B., and Khodabakhshi, A.H. 2015. Quantifying and analysis of germination responses of annual savory (*Satureja hortensis* L.) to temperature and salinity stress. Environmental Stresses in Crop Sciences 8: 83-92. (In Persian with English Summary)

Kundu, S., and Kundagrami, S. 2015. Estimation of path coefficient analysis to identify the yield contributing traits in rice (*Oryza sativa* L.) under saline and non-saline coastal regions of West Bengal. Journal of Advances in Biology 8: 1433-1438.

Mahdavi, F., Esmaeili, M.A., Fallah, A., and Pirdashti, H. 2006. Study of morphological characteristics, physiological indices, grain yield and its components in rice (*Oryza sativa* L.) Landraces and Improved Cultivars 27: 280-297. (In Persian with English Summary)

Makowski, D., Doré, T., and Monod, H. 2007. A new method to analyse relationships between yield components with boundary lines. Agronomy for Sustainable Development 27: 119-128.

Meier, U. 1997. Growth stages of mono-and dicotyledonous plants: BBCH-Monograph. Blackwell wissenschafts-verlag, Berlin and Braunschweig.

Milne, A.E., Ferguson, R.B., and Lark, R.M. 2006a. Estimating a boundary line model for a biological response by maximum likelihood. Annals of Applied Biology 149: 223-234.

Mohandass, S., Natarajaratnam, N., and Kailasam, C. 1988. A new hybrid model for panicle growth in rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Agronomy and Crop Science 161: 207-209.

Mojtabaie Zamani, M., Esfahany, M., Honarnejad, R., and Alahgholipour, M. 2007. Relationship between grain filling rate, grain filling duration, yield components and other physiological traits in rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Water and Soil Science 10: 213-225. (In Persian with English Summary)

Mustafavi Rad, M., and Tahmasbi Sarvestani, Z.A.A. 2003. Evaluation of nitrogen fertilizer effects on yield, yield components and dry matter remobilization of three rice genotype. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 2: 21-31. (In Persian with English Summary)

Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A.R. 2014. Long term evaluation of yield stability trend for cereal crops in Iran. Agroecology 6: 607-621. (In Persian with English Summary)

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Jahani, M. 2016. Estimating Within Field Variability of Wheat Yield Using Spatial Variables: An Approach to Precision Agriculture. Journal of Agroecology 8: 329-345. (In Persian with English Summary)

Nhamo, N., Rodenburg, J., Zenna, N., Makombe, G., and Luzi-Kihupi, A. 2014. Narrowing the rice yield gap in East and Southern Africa: Using and adapting existing technologies. Agricultural Systems 131: 45-55.

Rajeshwari, S., and Nadarajan, N. 2004. Correlation between yield and yield components in rice (*Oryza sativa* L.). Agricultural Science Digest 24: 280-282.

Sabouri, H., Sabouri, A., and Dadras, A.R. 2012. Modeling the response of germination rate of different rice genotypes to temperature. Cereal Research 2: 123-135. (In Persian with English Summary)

Safae Chaykar, S., Samie zade, H., Esfahani, M., and Rabiei, B. 2009. Correlation of agronomic traits under favorable irrigation and water stress conditions in rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Water and Soil Science 13: 91-105. (In Persian with English Summary)

Selvaraj, C.I., Nagarajan, P., Thiyagarajan, K., Bharathi, M., and Rabindran, R. 2011. Genetic parameters of variability, correlation and path coefficient studies for grain yield and other yield attributes among rice blast disease resistant genotypes of rice (*Oryza sativa* L.). African Journal of Biotechnology 10: 3322-3334.

Shokri, S., Siadat, S.A., Fathi, G., Abdali Mashhadi, A.R., Gilani, A.A., and Maadi, B. 2012. Evalution of nitrogen fertilizer effects on paddy yield, yield components and dry matter remobilization of three rice genotype. Electronic Journal of Crop Production 3: 73-87. (In Persian with English Summary)

Soltani, A., Hajjarpour, A., and Vadez, V. 2016. Analysis of chickpea yield gap and water-limited potential yield in Iran. Field Crops Research 185: 21-30.

Soltani, A., Hammer, G.L., Torabi, B., Robertson, M.J., and Zeinali, E. 2006a. Modeling chickpea growth and development: Phenological development. Field Crops Research 99: 1-13.

Souroush, H.R., Mesbah, M., and Hossian Zadeh, A.H. 2004. A study of relationship between grain yield and yield components in rice. Iranian Journal of Agricultural Sciences 35: 983-993.

Tarang, A., Hossieni Chaleshtary, M., Tolghilani, A., and Esfahani, M. 2013. Evaluation of grain yield stability of pure lines of rice in Guilan province. Iranian Journal of Crop Sciences 2: 24-34. (In Persian with English Summary)

Xu, X., He, P., Zhao, S., Qiu, S., Johnstond, A.M., and Zhou, W. 2016. Quantification of yield gap and nutrient use efficiency of irrigated rice in China. Field Crops Research 186: 58-65.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 321-334

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۳۳۴-۳۲۱

Determination of Appropriate Model for Yield Gap Analysis of Rice in Guilan Province using Boundary Line Analysis Method

N. Aghaeipour[1], H. Pirdashti[2*], M. Zavareh[3], H. Asadi[4] and M.A. Bahmanyar[5]

Submitted: 18-08-2017
Accepted: 04-02-2018
Aghaeipour, N., Pirdashti,H ., Zavareh, M., Asadi, H., and Bahmanyar, M.A. 2019 Determination of appropriate model for yield gap analysis of rice in Guilan Province using boundary line analysis method. Journal of Agroecology. 11(1): 321-334.

Introduction

Nowadays, identification of the yield limiting factors in the field particularly the various yield components including number of panicle per unit area, number of seeds per panicle and seed weight) is one of the most important methods to increase the production of rice. The yield gap (YG) analysis can be performed by measuring the yield related characteristics. Yield gap was estimated as the difference between actual and potential yield that has been used in various studies as an important indicator to increase the yield in crops and different areas. One of the most powerful methods to evaluate the reasons of yield potential and yield gap is boundary line analysis. The purpose of this research was to select an appropriate function for describing the relationship between yield and yield components in the Fumann plain of Guilan province. Furthermore, after selecting the superior function, the parameters of the yield and yield components were estimated to calculate the yield gap in the region.

Materials and Methods

The present study was carried out during two cropping seasons: 2012-13 and 2013-14 in Foumanat plain (cv. 'Tarom Hashemi'). We recorded the geographic coordinates of 53 fields. At the end of growing season (harvesting time), paddy yield and yield components (panicle number, filled grain number and 100- grain weight) were calculated in each field. The correlation coefficients between yield components and yield were studied. Segmented, quadratic and dent-like models were applied to describe the relationship between yield and yield components. Root mean square error (RMSE), determination coefficient (R^2), regression simple coefficients (a & b) and coefficient of variation (CV) were used to identify the appropriate model. After selecting a superior model, the boundary line method was used to calculate yield gap and its percentage, optimum yield and optimum amount of yield components for each field.

Results and Discussion

According to the results, a positive and significant correlation was existed between paddy yield with panicle number and filled grain number with 100- grain weight and a negative and significant correlation was existed between 100-grain weights with panicle number. Linear regression simple coefficients for all traits studied in the quadratic function and for two traits of panicles number per square meter and of filled grains number in the panicle in the segmented model were significant. Among the fitted models, segmented model has the lowest RMSE (respectively equal to 0.082 and 0.472) and coefficient of variation (equal to 1.26 and 6.39, respectively) in terms of two characteristics of panicle number and 100- grain weight and was able to describe the trend of the experimental data. In addition, dent-like model with the lowest RMSE (equal to 0.484) and coefficient of variation (equal to 6.60) used to describe the changes of filled grain number. In Foumanat plain, YG was recorded 3.63 $t.ha^{-1}$with the average optimum yield and actual yield of 8.44 and 4.81 $t.ha^{-1}$, respectively (40% reduction in yield). Also, the optimum amount of panicle number, filled grain number and 100- grain weight were 560, 47-83.9, and 2.18 g, respectively.

1 and 2- Ph.D. Student of Agronomy and Associate Professor, Department of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
3- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.
4- Associate Professor, Soil Science Department, Faculty of Agricultural Sciences, University of Tehran, Iran.
5- Professor, Department of Soil Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
(*- Corresponding Author Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v11i1.66914

Conclusion

Although, the area of Foumanat plain in the west of Guilan province has low actual yield, there is a good potential to increase the current yield. In this study, two segmented and dent-like models were identified as superior models. The highest YG in this study was related to the number of panicles per square meter followed by the number of filled grains and the 100- grain weight. Therefore, proper crop management for improving the yield components could be an important step towards reducing the YG and increasing the yield potential in the studied area.

Keywords: coefficient of variation, dent-like model, non linear regression, panicle number, segmented model.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۳۴۷-۳۳۵

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 335-347

بررسی خصوصیات بوم‌شناختی، ریختی و میزان اسانس پونه (*Mentha longifolia* L.) در برخی مناطق استان فارس و خراسان رضوی

سیده زهره حسینی[۱]، حسن فیضی[۲*]، صفیه وطن‌دوست جرتوده[۳] و مسعود علیپناه[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۱۱

حسینی، ز.، فیضی، ح.، وطن دوست جرتوده، ص و علیپناه، م. ۱۳۹۸.بررسی خصوصیات بوم‌شناختی، ریختی و میزان اسانس پونه (*Mentha longifolia* L.) در برخی مناطق استان فارس و خراسان رضوی. بوم شناسی کشاورزی، ۱۱(۱):۳۴۷-۳۳۵.

چکیده

پونه (*Mentha longifolia* L. *syn. Mentha sylvestris* L.) گیاه دارویی و معطر ارزشمند متعلق به خانواده نعناعیان می‌باشد. به‌منظور بررسی صفات مورفولوژیکی *Mentha longifolia* L. از ۱۰ رویشگاه در استان فارس و استان خراسان رضوی (سپیدان، بوانات، کوار، کازرون، فسا، تربت‌حیدریه، مشهد، نیشابور، کاشمر و چناران) در زمان گلدهی، نمونه‌گیری انجام شد. اطلاعات مربوط به رویشگاه‌ها یادداشت‌برداری و از هر رویشگاه ۱۰ نمونه گیاهی کامل انتخاب و ۱۹ صفت کمی و کیفی برای هر اکوتیپ بررسی شد. نتایج نشان داد که تنوع قابل ملاحظه‌ای از نظر خصوصیات مورفولوژیکی در بین اکوتیپ‌ها وجود داشت. بازده متوسط تولید اسانس پونه در رویشگاه‌های مشهد ۱/۸۳ درصد، کاشمر ۱/۸ درصد، چناران ۰/۸۷ درصد، تربت‌حیدریه ۱/۲۵ درصد، نیشابور ۱/۲۷ درصد، سپیدان ۱/۷۵ درصد، بوانات ۱/۵۵ درصد، کوار ۱/۷۵ درصد، کازرون ۱/۱۷ درصد، فسا ۱/۳۷ درصد تعیین شد. آنالیز همبستگی، وجود همبستگی مثبت و معنی‌داری بین برخی صفات مهم همچون ارتفاع گیاه با تعداد ساقه فرعی (r=0.5) و تعداد گل (r= 0.59) را نشان داد. تجزیه به عامل‌ها نشان داد که صفاتی همچون طول برگ، عرض برگ و نوک پهنک با قرار گرفتن در مؤلفه اول بیشترین سهم در توجیه تغییرات داده‌ها را به خود اختصاص داد. تجزیه خوشه‌ای، جمعیت‌های مورد مطالعه را در ۴ گروه مجزا تقسیم‌بندی کرد. با توجه به میزان بالای عملکرد اسانس در رویشگاه مشهد، این منطقه می‌تواند به‌عنوان رویشگاه مستعد جهت پرورش این گونه به منظور استخراج اسانس معرفی شود.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، تنوع، خصوصیات مورفولوژیک، گیاه‌دارویی

مقدمه

برخی از گیاهان دارویی را به علت دارا بودن اسانس مورد استفاده قرار می‌دهند و در بیشتر موارد اسانس‌های استخراج شده از گیاهان را نیز به‌عنوان دارو به کار می‌برند (Saber Amoli, 2008). خانواده نعناعیان یکی از بزرگ‌ترین خانواده گیاهیست که دارای پراکنش جهانی می‌باشد و حدود ۲۰۰ جنس و بیش از ۴۰۰۰ گونه از بوته‌های معطر و درختچه‌ای کوتاه دارد (Zargari; Mozaffarian,1997 Azadbakht, 1999, 2013). این گیاه به‌صورت خودرو در زیستگاه مرطوب، رودخانه، دریاچه، حوضچه، زمین‌های جنگلی و حتی مکان-های خشک در امتداد جاده‌ها و زمین‌های زراعی و نواحی کوهستانی رشد می‌کند (Stanisavljevic, 2010).

در ایران شش گونه از جنس نعناع (*M. mozaffarianii* Jamzad، *M. aquatic* Huds.، *M. arvensis* L.، *M. longifolia* L.، *M. spicata* L.، *M. suaveolens* Ehrh.) گزارش شده است. *منتا لانگیفولیا* یکی از شش گونه‌ای است که در ایران وجود دارد و مورد توجه قرار گرفته است. گونه *لانگیفولیا* با نام مترادف *M. sylvestris* با نام فارسی پونه یا پودنه، دارای برگ‌های باریک و به شدت معطر، گل‌های ارغوانی، ساقه گیاه ساده یا منشعب، گره‌ها طویل و کشیده است (Omidbeaigi, 2005; Davazdahemami & Majnoonhosini, 2008).

از نظر دارویی اسانس گونه‌های جنس نعناع مقوی معده و دارای خاصیت بادشکن، ضد تشنج، محرک، نیروبخش، کاهش دهنده تراوش‌های معده، تسکین‌دهنده درد زخم معده و سوزش آن است (Arnold, 1997). در اصلاح گیاهان دارویی ایجاد لاین‌هایی با

۱، ۲ و ۴- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار دانشکده کشاورزی، گروه تولیدات گیاهی، دانشگاه تربت‌حیدریه
۳- دکترای تخصصی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت‌حیدریه
(*- نویسنده مسئول: Email: h.feizi@torbath.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v11i1.64179

درصد بالای مواد مؤثره، عادت رشد و فنولوژی مطلوب، مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده و غیره از مهم‌ترین اهداف می‌باشد. آگاهی از تنوع موجود در بین توده‌های بومی زراعی و وحشی اولین مرحله هر روش اصلاحی طراحی شده برای رسیدن به اهداف فوق می‌باشد. در مورد گیاهان دارویی باید اذعان داشت که ۷۵-۶۰ درصد کولتیوارهایی که امروزه در کشت و صنعت‌ها کشت و تولید می‌شوند از طریق روش‌های ساده انتخاب در بین جمعیت‌های وحشی یا توده‌های محلی به‌دست آمده‌اند. بهبود ارقام اصلاح‌شده برای افزایش بهره‌وری آن‌ها نیازمند شناخت دقیق تنوع موجود در بین ژرم‌پلاسم گونه و کاربرد آن در پروژه‌های اصلاحی می‌باشد (Bernath, 1996; Franz,1986; Bernath, 2002; Mathe, 1986).

در این راستا پژوهش‌های متفاوتی صورت گرفته است. میرزایی-ندوشن و همکاران (Mirzaie-Nodoushan et al., 2001)، گونه-های مختلف نعناع را از لحاظ خصوصیات مورفولوژیک مورد ارزیابی قرار دادند. در این بررسی بین گونه‌های مختلف، اختلاف معنی‌داری از لحاظ خصوصیاتی هم‌چون ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد شاخه فرعی، طول و عرض برگ مشاهده کردند.

زینلی و همکاران (Zeinali et al., 2004) گونه‌های مختلف نعناع (*M. spicata* L. and *M. longifolia* L.) را از نظر خصوصیات مورفولوژیک و میزان اسانس را در شهرستان‌های کاشان، اصفهان و محلات مورد ارزیابی قرار دادند و تفاوت معنی‌داری بین خصوصیات وزن گیاه، تعداد گره در شاخه اصلی، تعداد گره در شاخه فرعی، تعداد و طول گل‌آذین در شاخه اصلی، طول و عرض برگ در مناطق مورد بررسی مشاهده کردند.

دی‌آندریا (D'Andrea, 2002) با بررسی چهار واریته اصلاحی بابونه اختلاف معنی‌داری بین صفات مورفولوژیکی شامل ارتفاع گیاه، تعداد گل در بوته، قطر و ارتفاع گل، وزن صد گل تازه و عملکرد اسانس گزارش نمود.

هدف از این پژوهش شناسایی مناطق پراکنش، تعیین نیازهای بوم‌شناختی و ارزیابی تأثیر اقلیم‌های مختلف بر صفات ریختی و عملکرد کمی اسانس این گونه دارویی بومی ارزشمند می‌باشد که زمینه‌ای برای بررسی تنوع ژنتیکی ژرم‌پلاسم آن را فراهم می‌نماید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تنوع مورفولوژیکی توده‌های پونه وحشی در دو استان فارس و خراسان رضوی ابتدا با مراجعه به منابع معتبر از جمله فلور ایرانیکا محدوده پراکنش و رویشگاه‌های این گیاه در دو استان مورد نظر مشخص شد.

مناطق مورد مطالعه شامل پنج منطقه سپیدان، بوانات، فسا، کوار، کازرون در استان فارس و پنج منطقه تربت‌حیدریه، مشهد، نیشابور، کاشمر و چناران در استان خراسان رضوی بود. مشخصات جغرافیایی هر منطقه با استفاده از GPS (طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا) و مشخصات آب و هوایی سالیانه مناطق جمع‌آوری (متوسط دمای سالیانه و متوسط بارندگی سالیانه) از سایت ایستگاه هواشناسی (http/irimo.irfarwd۲۷۰۳) تهیه شد (جدول ۱).

نمونه‌های گیاهی در مرحله گلدهی کامل در ده منطقه در استان فارس و خراسان رضوی برداشت شد. زمان گلدهی پونه با توجه به مناطق مختلف رویش آن از اوایل اردیبهشت تا اواخر شهریورماه گزارش شده است. بر این اساس، نمونه‌های گیاهی در این مرحله (تابستان ۱۳۹۴) برداشت و هم‌زمان ۱۹ صفت مورفولوژیکی (کمی و کیفی) در جمعیت‌های مختلف بررسی شد. لازم به ذکر است برای بررسی این صفات و تأمین نمونه‌های موردنیاز با مراجعه به هر رویشگاه، نمونه‌ها جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شدند.

برای شناسایی دقیق مورفولوژیک و تشخیص پونه نمونه‌های هرباریومی تهیه شد و شناسایی نمونه‌ها توسط افراد متخصص انجام شد. به‌منظور جمع‌آوری نمونه‌های گیاهی برای استخراج اسانس پیکر رویشی گیاه در زمان گلدهی کامل از ۱۰ منطقه جمع‌آوری و در سایه و دمای اتاق خشک شدند. برای تعیین درصد اسانس، با توجه به تنوع روش‌های اسانس‌گیری گزارش شده برای استخراج بالاترین میزان اسانس از روش تقطیر با آب استفاده شد.

ماده گیاهی خشک شده با آسیاب برقی خرد شد، ۲۰ گرم از پودر گیاه خشک شده جهت استخراج اسانس به روش تقطیر با آب توسط دستگاه کلونجر طبق فارماکوپه بریتانیا به مدت سه ساعت اسانس-گیری شد (British Pharmacopoeia, 1993).

نمونه‌ها بر اساس تمامی صفات با استفاده از نرم‌افزار SPSS و به روش Ward گروه‌بندی شدند. ضریب‌های همبستگی کلیه صفات مورد بررسی در جمعیت‌های جمع‌آوری شده به روش پیرسون توسط نرم‌افزار SPSS Ver 16 انجام گردید. تجزیه خوشه‌ای با استفاده از نرم‌افزار JMP انجام شد.

نتایج و بحث

ضریب تغییرات

دامنه تغییرات صفات مختلف اندازه‌گیری شده برای ژنوتیپ‌ها در جدول ۲ آمده است.

صفاتی که ضریب تغییرات بالایی دارند محدوده وسیع‌تری از کمیت صفت را دارند که دامنه انتخاب وسیع‌تری برای آن صفت محسوب می‌شود. در بین آن‌ها می‌توان به صفاتی چون تعداد ساقه فرعی، طول شاخه جانبی، تعداد ساقه بی‌گل، طول ساقه بی‌گل و تعداد گل‌آذین اشاره کرد که برخی از این صفات، صفاتی باارزش برای

انتخاب بهترین اکوتیپ می‌باشند. صفات کیفی به دلیل پایین بودن تنوع از بررسی در بین اکوتیپ‌ها حذف شدند.

جدول ۱- مشخصات محل جمع‌آوری نمونه‌های پونه

Table 1- The specification of geographic location of *Mentha longifolia* L. samples

محل جمع‌آوری Collection location	مختصات جغرافیایی Geographical coordinates				ارتفاع از سطح دریا Altitude	میانگین دما سالانه The mean annual temperature	میانگین بارش سالانه The mean annual rainfall
	عرض Latitude		طول Longitude				
	درجه Degree	دقیقه Minute	درجه Degree	دقیقه Minute	متر m	درجه سانتی‌گراد ˚c	میلی‌متر mm
تربت‌حیدریه Torbat Heydarieh	35	14	59	13	1312	15.12	207.90
کاشمر Kashmar	35	16	58	15	984	18.83	148.80
مشهد Mashhad	36	19	59	24	1197	16.42	197.40
چناران Chenaran	36	39	59	4	1558	16.62	185.80
نیشابور Neyshabour	36	18	58	49	2029	15.23	239.50
سپیدان Sepidan	30	14	51	59	2189	16.23	424.30
کوار Kavar	29	13	52	42	1529	19.05	205.80
بوانات Bavanat	30	29	53	34	2260	16.41	110.50
فسا Fasa	28	59	53	39	1461	20.43	159.90
کازرون Kazeroon	29	39	51	34	793	24.66	258.50

مقایسه صفات اندازه‌گیری شده

بررسی بازده متوسط تولید اسانس پونه نشان داد که بیشترین بازده اسانس در رویشگاه مشهد (۱/۸۳ درصد) و رویشگاه کاشمر (۱/۸ درصد) و کمترین مقدار اسانس مربوط به رویشگاه چناران (۰/۸۷ درصد) بود. مقدار بازده اسانس رویشگاه سپیدان ۱/۷۵ درصد، بوانات ۱/۵۵ درصد، کوار ۱/۷۵ درصد، کازرون ۱/۱۷ درصد، فسا ۱/۳۷ درصد، تربت‌حیدریه ۱/۲۵ درصد و نیشابور ۱/۲۷ درصد بود.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌های کمی در جمعیت‌های مختلف پونه در جدول ۳ آورده شده است.

نتایج نشان داد که در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد بین صفات کمی در جمعیت‌های مختلف اختلاف معنی‌داری وجود داشت، به‌طوری‌که جمعیت کوار دارای بیشترین ارتفاع، تعداد ساقه فرعی و تعداد گل بود. از آنجا که ارتفاع گیاه و تیپ رشد بوته از صفات مهم مورفولوژیکی است جهت اصلاح ارقام مناسب برای برداشت مکانیزه باید مدنظر قرار گیرد. جمعیت مشهد و کاشمر دارای بیشترین مقدار طول شاخه جانبی بودند. همچنین نمونه مشهد و سپیدان دارای بیشترین طول گل را دارا بود. بیشترین طول برگ نیز مربوط به نمونه مشهد بود. از آنجا که بیشترین میزان اسانس در قسمت‌های گل‌آذین و برگ وجود دارند،

بنابراین صفات مربوط به گل و برگ در به‌نژادی این گیاه حائز اهمیت هستند (Moghaddam et al., 2013).

تفاوت اکوتیپ‌های متعلق به یک استان با یکدیگر می‌تواند ناشی از تنوع تغییرات محیطی باشد که در طول سالیان متمادی پونه‌ها را تحت تأثیر قرار داده است. تأثیر ارتفاع و دما روی کمیت اسانس توسط محققان قبلی تائید شده است.

حبیبی و همکاران (Habibi et al., 2006) با بررسی اثر ارتفاع بر میزان روغن اسانس گونه *T. kotschyanus* همبستگی منفی بین ارتفاع از سطح دریا و میزان اسانس را گزارش نمودند که با یافته‌های این تحقیق در مورد منطقه کاشمر مطابقت دارد. همچنین کم‌ترین میزان اسانس مربوط به منطقه چناران می‌باشد که دارای ارتفاع بالا و دمای کمتر از میانگین می‌باشد.

جدول ۲- آمار توصیفی صفات کمی اکوتیپ‌های پونه (*Mentha longifolia* L.)

Table 2- Descriptive statistics of quantitative factors of horsemint *(Mentha longifolia* L.) ecotypes

صفات Traits	اندازه‌گیری واحد Measurement unit	ضریب تغییرات CV	دامنه Rang	واریانس Variance	انحراف معیار Deviation	میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min
ارتفاع بوته Plant height	cm	43	131	722.88	26.88	62.5	148	17
تعداد ساقه فرعی Number stem subsidiary	–	128	22	33.76	5.81	4.54	22	0
طول شاخه جانبی (بلندترین) Length side branches (long)	cm	98.79	89	444.68	21.08	21.34	89	0
طول شاخه جانبی (کوتاه‌ترین) Length of side branches (short)	cm	120.80	61	121.64	11.02	9.13	61	0
تعداد ساقه بی گل Number of stem	–	256.90	33	14.06	3.75	1.46	33	0
طول ساقه بی گل (بلندترین) Length of stem (the longest)	cm	199.39	68	81.187	13/75	6.94	68	0
طول ساقه بی گل (کوتاه‌ترین) Length Stem (the shortest)	cm	216.69	61	72.15	8.49	3.92	61	0
تعداد گل‌آذین Florescence number	–	145.58	66	106.54	10.32	7.09	67	1
طول گل‌آذین (بلندترین) Length of the largest florescence	cm	40.73	5	1.59	1.26	3.09	5.5	0.5
طول گل‌آذین (کوتاه‌ترین) Length of the lowest florescence	cm	86.37	2.5	0.49	0.7	۰.81	2.5	0
طول برگ(پایین‌ترین) Length of leaf (the lowest)	cm	40.10	8.5	2.88	1.69	4.23	9.5	1
طول برگ (بالاترین) Length of Upper leaf	cm	60.21	6	0.93	0.96	1.60	6.5	0.5
عرض برگ (پایین‌ترین) Width of lower leaf	cm	44.41	2.8	0.46	0.67	1.52	3	0.2
عرض برگ (بالاترین) Width of upper leaf	cm	84.76	2.3	0.19	0.43	۰.51	2.5	0.2
تعداد گره Node number	–	34.21	24	9.77	3.12	9.14	28	4
تعداد برگ Leaf number	–	21.34	48	39.11	6.25	18.28	56	8
بازده اسانس (درصد) Essential oil (%)	%	21.19	0.96	0.09	0.30	1.46	1.83	0.87

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک

Table 3-Mean comparison of morphological traits

صفات Traits	طول ساقه بی گل(کوتاه‌ترین) Length Stem (the shortest) (cm)	تعداد گل‌آذین Flower number	طول ساقه بی گل(بلندترین) Length stem (the longest) (cm)	تعداد ساقه بی گل Number of stem	طول شاخه جانبی کوتاه Length of side branches (short) (cm)	طول شاخه جانبی بلند Length of side branches (long) (cm)	تعداد ساقه فرعی Number of subsidiary stem	ارتفاع Plant height (cm)
مشهد Mashhad	1.10^{b*}	2.10^{c}	8.10^{abc}	1.50^{a}	13.50^{ab}	44 ^{a}	2.70^{c}	78.10^{b}
تربت‌حیدریه Torbat Heydarieh	4.30^{a}	2.40^{c}	17.20^{a}	1.50^{a}	5.30^{b}	18.50^{acd}	1.80^{c}	52.90^{c}
کاشمر Kashmar	11.50^{a}	3.40^{c}	11.90^{ab}	0.7^{a}	20.70^{a}	38.30^{ab}	2.60^{c}	75.10^{b}
نیشابور Neyshabour	4.50^{a}	5.30^{bc}	8.60^{abc}	2.60^{a}	5.30^{b}	11.50^{cd}	5.00^{bc}	54.50^{c}
چناران Chenaran	3^{b}	1.70^{c}	5.55^{abc}	1.30^{a}	4.80^{b}	6.85^{d}	1.80^{c}	53.50^{c}
سپیدان Sepidan	3.40^{ab}	11.90^{b}	7.40^{abc}	1.30^{a}	6.70^{b}	20.20^{cd}	8.^{50b}	42.80^{cd}
بوانات Bavanat	1.30^{b}	1.70^{c}	1.50^{bc}	0.2 ^{a}	5.40^{b}	7.00^{d}	1.40^{c}	35.50^{d}
کوار Kavar	5.80^{a}	27.60^{a}	8.48^{abc}	1.90^{a}	8 ^{b}	29.20^{abc}	16.30^{a}	109.20^{a}
کازرون Kazeroon	0^{b}	8.70 ^{b}	4.30^{bc}	0.30^{a}	12.30^{ab}	23.50^{bcd}	3.40^{c}	87.60^{b}
فسا Fasa	0^{b}	3.80^{c}	0 ^{c}	3.30^{a}	9.30^{b}	14.40^{cd}	1.90^{c}	35.95^{d}

ضریب همبستگی

ضرایب همبستگی بین صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری شده در جدول ۴ آورده شده است.

نتایج به‌دست آمده نشان داد که برخی از صفات اندازه‌گیری شده دارای همبستگی مثبت یا منفی معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد می‌باشند. به‌عنوان مثال، بین ارتفاع گیاه با تعداد ساقه فرعی (r=0.5)، طول بلندترین و کوتاه‌ترین شاخه جانبی (r= 0.53, 0.31)، طول کوتاه‌ترین ساقه بی‌گل (r=0.28)، تعداد گل (r= 0.59)، طول بزرگ‌ترین گل (r=0.38)، طول و عرض پایین‌ترین برگ بر روی ساقه اصلی (r= 0.59) و تعداد گره (r=0.36) و تعداد برگ (r=0.36) همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد.

همچنین بین صفت تعداد ساقه فرعی با صفات طول بلندترین شاخه جانبی (r=0.31)، تعداد گل (r=0.81)، طول بزرگ‌ترین گل (r=0.44) و طول پایین‌ترین برگ (r=0.43) نیز همبستگی مثبت وجود داشت. ضریب همبستگی بین صفات نشان داد که بین طول گل و طول و عرض برگ همبستگی مثبت وجود دارد یعنی افزایش طول گل و تعداد چرخه‌های گل همراه با افزایش صفات تولیدی و صفات مربوط به برگ بود که با نتایج مقدم و همکاران (Moghaddam et al., 2013) بر تنوع مورفولوژیک توده‌های جنس ریحان مطابقت دارد. طول بلندترین شاخه جانبی با طول و عرض برگ همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد. ساقه گل‌دار بلند به همراه برگ بیشتری که سطح بزرگ‌تری را دارا می‌باشد می‌تواند مخزن بزرگ‌تری جهت تولید و ذخیره اسانس ایجاد نماید (Yavari et al., 2010).

بررسی بازده متوسط تولید اسانس پونه نشان داد که بیشترین بازده اسانس در رویشگاه مشهد (۱/۸۳ درصد) و رویشگاه کاشمر (۱/۸ درصد) و کمترین مقدار اسانس مربوط به رویشگاه چناران (۰/۸۷ درصد) می‌باشد. همان‌طور که انتظار می‌رفت، طول و عرض برگ از عمده‌ترین محل‌های انباشت اسانس هستند با بازده اسانس همبستگی بالایی نشان می‌دهند. بخش‌های زایشی از محل‌های عمده اسانس محسوب می‌شوند که با بازده اسانس همبستگی بالایی دارند. در این تحقیق نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری بین بازده اسانس با تعداد گل و طول کوچک‌ترین گل‌آذین در سطح احتمال ۱ درصد نشان داده شد که با نتایج یاوری و همکاران (Yavari et al., 2010) بر روی آویشن آذربایجانی مطابقت دارد. از صفات مهم دیگر که همبستگی آن‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، می‌توان تعداد ساقه فرعی، طول شاخه جانبی (بلندترین شاخه و کوتاه‌ترین شاخه) اشاره کرد که همبستگی مثبتی با بازده اسانس نشان دادند

ادامه جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیک

Table 3-(continue) Mean comparison of morphological traits

صفات Traits	بازده اسانس Essential oil (%)	تعداد برگ Leaf number	تعداد گره Node number	عرض پایین‌ترین برگ Leaf width low (cm)	عرض بالاترین برگ Leaf width up (cm)	طول بالاترین برگ Length leaf Upper (cm)	طول پایین‌ترین برگ Length leaf low (cm)	طول کوچک‌ترین گل‌آذین Length of the smallest florescence (cm)	طول بزرگ‌ترین گل‌آذین Length of the largest florescence (cm)
مشهد Mashhad	1.83	20.40^{abc}	10.20^{abc}	1.47^{a}	2.65^{a}	3.85^{a}	6.35^{a}	1.35^{a}	4.15^{a}
تربت‌حیدریه Torbat Heydarieh	1.25	24^{a}	12^{a}	0.28 ^{d}	1.17^{def}	1.29 ^{c}	3.17 ^{cd}	0.65 ^{b}	2.70^{cd}
کاشمر Kashmar	1.8	23.20^{ab}	11.60^{ab}	0.71^{b}	2.20^{b}	2.11^{b}	5.55^{a}	0.78^{ab}	1.95^{d}
نیشابور Neyshabour	1.27	18.60^{bc}	9.30^{bc}	0.29^{d}	1.40^{cde}	1.21^{c}	4.25^{b}	0.87^{ab}	3 ^{bc}
چناران Chenaran	0.87	15.80^{cd}	7.90^{cd}	0.5^{bcd}	1.46^{cd}	1.50^{c}	3.88^{bc}	0.50^{b}	3.05^{bc}
سپیدان Sepidan	1.75	15.20^{cd}	7.60^{cd}	0.23^{d}	1.07^{ef}	1.06^{c}	4.60^{b}	1.30^{a}	4.15^{a}
بوانات Bavanat	1.55	13.40^{d}	6.70^{d}	0.39^{cd}	0.71^{g}	1.35^{c}	2.14^{e}	0.15^{c}	1.90^{d}
کوار Kavar	1.75	19^{abc}	9.50^{abc}	0.33^{cd}	2.03^{b}	1.20^{c}	5.75^{a}	1^{ab}	4.10^{a}
کازرون Kazeroon	1.17	20.40^{abc}	10.20^{abc}	0.36^{cd}	1.57^{c}	1.05^{c}	4.40^{b}	0.92^{ab}	3.70^{ab}
فسا Fasa	1.37	12.80^{d}	6.40^{d}	0.59^{bc}	1.02^{fg}	1.41^{c}	2.24^{de}	0.59^{b}	2.28^{cd}

جدول ٤- ضریب همبستگی بین صفات کمی اندازه‌گیری شده در اکوتیپ‌های پونه (*Mentha longifolia* L.)

Table 4- Coefficient correlation between measured quantitative factors in horsemint (*Mentha longifolia* L.) ecotypes

صفات Traits	ارتفاع گیاه Plant height	تعداد ساقه فرعی Number stem subsidiary	طول شاخه جانبی (بلندترین) Length side branches (long)	طول شاخه جانبی (کوتاه‌ترین) Length side branches (short)	تعداد ساقه بی‌گل Number of stem no flower	طول ساقه بی‌گل (بلندترین) Length Stem (long)	طول ساقه بی‌گل (کوتاه‌ترین) Length Stem (short)	تعداد گل‌آذین Flower number	طول گل‌آذین (بلندترین) Length of flower large	طول گل‌آذین (کوتاه‌ترین) Length flower small	طول برگ (پایین‌ترین) Length leaf Upper	طول برگ (بالاترین) Length of leaf low	عرض برگ (بالاترین) Leaf width up	عرض برگ (پایین‌ترین) Leaf width low	تعداد برگ Node number	بازده اسانس (درصد) Leaf number
ارتفاع بوته Plant height	1															
تعداد ساقه فرعی Number stem subsidiary	0.509**	1														
طول شاخه جانبی (بلندترین) Length side branches (long)	0.311*	0.314*	1													
طول شاخه جانبی (کوتاه‌ترین) Length of side branches (short)	0.311**	0.121	0.768**	1												
تعداد ساقه بی‌گل Number of stem	0.01	0.212*	0.195	0.229*	1											
طول ساقه بی‌گل (بلندترین) Length of stem (the longest)	0.203*	0.242*	0.516**	0.294**	0.267**	1										
طول ساقه بی‌گل (کوتاه‌ترین) Length Stem (the shortest)	0.283**	0.232*	0.523**	0.586**	0.185	0.515**	1									
تعداد گل‌آذین Florescence number	0.593**	0.816**	0.239*	0.049	0.021	0	0.064	1								
طول گل‌آذین (بلندترین) Length of the largest florescence	0.381**	0.449**	0.210*	0.058	0.006	0	0.006	0.428**	1							
طول گل‌آذین (کوتاه‌ترین) Length of the lowest florescence	0.14	0.190	0.336**	0.281**	0.010	0	0.087	0.200*	0.394**	1						
طول برگ (پایین‌ترین) Length of leaf (the lowest)	0.593**	0.436**	0.444**	0.264**	0.076	0.138	0.198*	0.308**	0.442**	0.302**	1					
طول برگ (بالاترین) Length of Upper leaf	0.198*	0	0.390**	0.196	0.087	0.152	0	0	0.057	0.064	0.453**	1				
عرض برگ (پایین‌ترین) Width of lower leaf	0.595**	0.208*	0.429**	0.194	0	0.015	0.079	0.230*	0.297**	0.320**	0.731**	0.595**	1			
عرض برگ (بالاترین) Width of upper leaf	0.15	0	0.271**	0.172	0.106	0.016	0	0	0.061	0.073	0.357**	0.870**	0.104	1		
تعداد گره Node number	0.364**	0.132	0.309**	0.181	0.068	0.328**	0.218*	0.050	0.049	0.115	0.271**	0.176	0.104	0.104	1	
تعداد برگ Leaf number	0.364**	0.132	0.309**	0.181	0.068	0.328**	0.218*	0.050	0.049	0.115	0.271**	0.176	0.382**	0.104	1 **	1
بازده اسانس (درصد) Essential oil (%)	0.274**	0.408**	0.703**	0.494**	-0.091	0.212	0.243	0.343**	0.196	0.485**	0.510**	0.440**	1	0.382**	0.134	0.134

**و *: به ترتیب بیانگر معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد است.

** and *: significant at 1% and 5% probability levels, respectively.

جدول۴ – ضریب همبستگی بین صفات کمی اندازه‌گیری شده دراکوتیپ‌های پونه (*Menthalongifolia* L.

Table 4 – Coefficient correlation between measured quantitative factors in *Mentha longifolia* L. ecotypes

تجزیه خوشه‌ای

گروه‌بندی اکوتیپ‌ها بر اساس خصوصیات مورفولوژیکی، ۱۰ اکوتیپ مورد مطالعه را در ۴ گروه تقسیم‌بندی کرد:

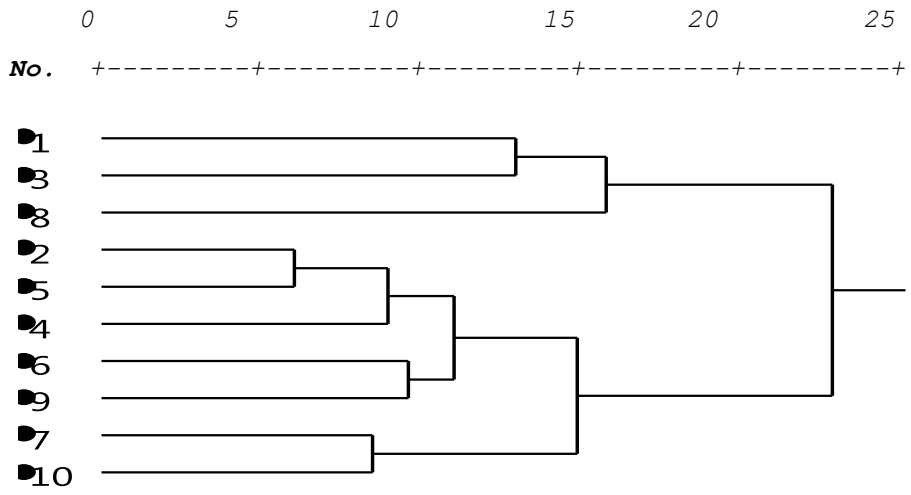
گروه اول شامل دو اکوتیپ مشهد و کاشمر بود که بر اساس دندوگرام شکل ۱ ازنظر صفات ارتفاع، طول شاخه جانبی، طول بلندترین ساقه بی‌گل، طول برگ، تعداد گره و تعداد برگ در یک گروه تشابه قرار گرفتند.

در گروه دوم اکوتیپ ۸ (کوار) قرار داشت.

گروه سوم که از ۴ اکوتیپ تشکیل شده است شامل اکوتیپ‌های تربت‌حیدریه، چناران، نیشابور، سپیدان و کازرون بود.

گروه چهارم شامل اکوتیپ‌های بوانات و فسا بود. ویژگی مشترک این گروه‌ها از نظر صفاتی چون ارتفاع بوته، طول شاخه جانبی، تعداد گل، طول گل، طول برگ و عرض برگ) بود (شکل ۱).

بنابراین با توجه به نتایج تجزیه خوشه‌ای دیده می‌شود علی‌رغم متفاوت بودن رویشگاه‌ها از نظر اقلیمی و خاکی باز هم برخی اکوتیپ‌ها صفات مشترکی داشته و تا حدی بهم نزدیک می‌باشند. برعکس نیز برخی اکوتیپ‌ها اختلافات زیادی را از نظر صفات مورد ارزیابی نشان دادند.



شکل ۱- دندروگرام تجزیه خوشه‌ای بر اساس خصوصیات مورفولوژیک

۱ تا ۱۰ به ترتیب: مشهد، تربت حیدریه، کاشمر، نیشابور، چناران، سپیدان، بوانات، کوار، کازرون، فسا

Fig. 1- Cluster analysis dendrogeram of morphological factors

Mashhad, Torbat Heydarieh, Neyshaboor, Chenaran, Sepidan, Bavanat, Kavar, Kazeroon, Fasa: Numbers 1-10

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

تحلیل مؤلفه‌های اصلی یکی از تکنیک‌های کاهش داده‌ها می‌باشد که مجموعه متغیرهای اصلی را به مجموعه کوچک‌تری تبدیل می‌کند به‌طوری‌که این مجموعه کوچک علت بیشتر واریانس موجود در داده‌هاست. نتایج تجزیه به مؤلفه اصلی صفات را در ۸ مؤلفه اصلی قرار داد که این مؤلفه‌ها در مجموع ۸۶/۳۲ درصد واریانس کل را توجیه نمودند (جدول ۵). در مؤلفه اول صفات طول برگ (بالاترین و پایین‌ترین برگ نسبت به ساقه اصلی)، عرض برگ (بالاترین و پایین‌ترین برگ) و نوک پهنک با ضرایب مثبت قرار داشتند. این عامل بیشترین سهم در توجیه تغییرات داده‌ها ۲۳/۰۲ درصد را به خود اختصاص داد که از مهم‌ترین صفات تولیدی در پونه می‌باشد. در عامل دوم که ۱۴/۷۵ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کرد صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد گل‌آذین و طول بلندترین گل قرار داشتند. همچنین صفات رنگ گل‌آذین، شکل پهنک، بازده اسانس در عامل سوم ۹/۶۵ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند. صفات طول شاخه جانبی، طول ساقه بی گل در عامل چهارم ۹/۲۹ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه کردند. صفات حالت قرارگیری گیاه و رنگ برگ در عامل پنجم توانستند ۷/۱۸ درصد از تغییرات را توجیه کنند. در عامل ششم صفات تعداد گره و تعداد برگ قرار داشتند که ۶/۳۰ درصد از واریانس کل را به خود اختصاص دادند. صفت طول کوتاه‌ترین گل‌آذین و وضعیت شاخه گل‌دهنده با قرار گرفتن در عامل هفتم ۵/۴۶ درصد از تغییرات داده‌ها را توجیه نمود و در نهایت حاشیه برگ با ضریب منفی در عامل هشتم ۴/۴۶ درصد از واریانس را به خود اختصاص داد. با توجه به نتایج عامل‌های اول و دوم بیشترین سهم از واریانس را به خود اختصاص دادند که این نشان‌دهنده مهم بودن این صفات در انتخاب اکوتیپ‌ها می‌باشد.

جدول ۵- تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای صفات مختلف اکوتیپ‌های پونه (*Mentha longifolia*)

Table 5- Principal component analysis for different traits of horsemint (*Mentha longifolia* L.) ecotypes

عامل Component	مقادیر ویژه Eigeun value	درصد تجمعی واریانس Cumulative variance (%)	واریانس نسبی Relative variance (%)	صفات Traits
1	5.75	23.02	23.02	طول برگ بالا Length of upper leaf عرض برگ بالا Width of upper leaf عرض برگ پایین Width of lower leaf نوک پهنک Blade tip
2	3.68	37.77	14.75	ارتفاع بوته Plant height تعداد شاخه فرعی Number stem subsidiary تعداد گل‌آذین Inflorescence number
3	2.41	47.42	9.65	رنگ گل‌آذین Inflorescence color شکل پهنک Blade shape بازده اسانس Essential oil
4	2.32	56.72	9.29	طول بلندترین شاخه جانبی Length side branches (long) طول کوتاه‌ترین شاخه جانبی Length of side branches (short) طول بلندترین ساقه بی گل Length of side branches (short) طول کوتاه‌ترین ساقه بی گل Length Stem (the shortest)
5	1.79	63.90	7.18	حالت قرارگیری گیاه Type standing رنگ برگ Leaf color
6	1.57	70.20	6.30	تعداد گره Node number تعداد برگ Leaf number
7	1.36	75.67	5.46	طول کوتاه‌ترین گل‌آذین Length of the lowers florescence
8	1.11	80.14	4.46	حاشیه برگ Leaf border

نتیجه‌گیری

در مجموع جمعیت‌های مورد مطالعه دارای تنوع بسیار خوبی بودند و گزینش از بین این جمعیت‌ها باید با در نظر گرفتن صفات مطلوب و مورد نظر صورت پذیرد. از آنجائی‌که بیشترین میزان اسانس در قسمت‌های گل‌آذین و برگ وجود دارند بنابراین صفات مربوط به گل و برگ در به‌نژادی این گیاه حائز اهمیت هستند، جمعیت مشهد و کاشمر دارای بیشترین مقدار طول شاخه جانبی بودند. همچنین نمونه مشهد و سپیدان دارای بیشترین طول گل را دارا بود. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین بازده اسانس با تعداد گل و طول کوچک‌ترین گل‌آذین در بدست آمد. بررسی بازده متوسط تولید اسانس پونه نشان داد که بیشترین بازده اسانس در رویشگاه مشهد (۱/۸۳ درصد) و رویشگاه کاشمر (۱/۸ درصد) و کمترین مقدار اسانس مربوط به رویشگاه چناران (۰/۸۷ درصد) بود.

میرزایی‌ندوشن و همکاران (Mirzaie-Nodoushan et al., 2001)، گونه‌های مختلف نعناع را از لحاظ خصوصیات مورفولوژیک مورد ارزیابی قرار دادند. در این بررسی بین گونه‌های مختلف، اختلاف معنی‌داری از لحاظ خصوصیاتی هم‌چون ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد شاخه فرعی، طول و عرض برگ مشاهده کردند. زینلی و همکاران (Zeinali et al., 2004) گونه‌های مختلف نعناع (*لانگیفولیا* و *اسپیکاتا*) را از نظر خصوصیات مورفولوژیک و همچنین میزان اسانس مورد ارزیابی قرار دادند. مناطق مورد بررسی در تحقیق آنها شهرستان‌های کاشان، اصفهان و محلات بودند. خصوصیات وزن گیاه، تعداد گره در شاخه اصلی، تعداد گره در شاخه فرعی، تعداد و طول گل‌آذین در شاخه اصلی، طول و عرض برگ مورد ارزیابی قرار گرفت. در تمام خصوصیات مورد بررسی اختلاف معنی‌داری بین مناطق مختلف مشاهده کردند. با توجه به شرایط اقلیمی، شکل ظاهری و مواد مؤثره گیاهان ازنظر کمی و کیفی نیز به‌شدت دستخوش تغییر می‌شوند بنابراین ضروری است تا با توجه به توان بالقوه بسیار خوب کشور در زمینه تنوع گیاهان اسانس‌دار و دارویی، با شناخت گونه‌های گیاهی و دستیابی به اطلاعات لازم در مورد محل‌های رویش و خصوصیات بوم‌شناختی آن‌ها، گام‌های اساسی برای استفاده از اسانس‌های گیاهی و ترویج شیوه‌های اصولی بهره‌برداری از این گیاهان برداشته شود.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه تربت‌حیدریه انجام شده است که بدین‌وسیله قدردانی می‌شود.

منابع

Arnold, M.L. 1997. Natural Hybridization and Evolution. Oxford University Press, New York.

Azadbakht, M. 2008. Categorize of medicinal plants. First press, Cultural Institute Publishing Teymoorzadeh (Tabib), Tehran. (In Persian)

Bernath, J. 1996. Conventional breeding methods and their effectiveness in selection of medicinal and aromatic plants. 1st Int. symposium, Breeding Research on Medicinal and aromatic plants, Quedlinburg, Proceedings. Pp: 154-161.

Bernath, J. 2002. Strategies and recent achievements in selection of medicinal and aromatic plants. Acta Horticalturae 576: 233-238.

British pharmacopoeia. 1993. British Pharmacopoeia Commission, *HMSO:* London.

Babalar, M., Khoshsokhan, F., Fatahi Moghaddam, M., and Poormeidani, A. 2011. Evaluation of morphological diversity and essential oil productivity of some population *Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen. Journal of Horticultural Sciences 44: 119-128.

D'Andrea, L. 2002. Variation of morphology yield and essential oil components in common chamomile *(Chamomilla recutita*) cultivation grown in southern Italy. Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants 9: 359-359

Davazdahemami, S., and Majnoonhosini, N. 2008. Cultivation and Production of Certain Herbs and Species. Tehran University Press, Tehran, Iran. 300 pp. (In Persian)

Franz, C. 1986. Actual problems on the quality of medicinal and aromatic plants. Acta Horticulturae 188: 21-34.

Ghanbari, M., Souri, M.K., Omidbaigi, R., and Hadavandi Mirzaei, H. 2014. Evaluation of some ecological factors, morphological traits and essential oil productivity of *Achillea millefolium* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 30: 692-701. (In Persian with English Summary)

Habibi, H., Mazaheri, D., Majnoonhoseini, N., Chaeichi, M.R., Tabatabaei, M.F., and Bigdeli, M. 2006. The effect of altitude compounds of medicinal plant (*Thymus kotschyanusBoiss*) in region Taleghan. Research and Construction in Cultivation and Horticulture 19: 2-10.

Mathe, A. 1986. An ecological approach to medicinal plant introduction. In: Herbs, Spices and Medicinal Plant. Oxy Press, Arizona 3: 175-205.

Mirzaie-Nodoushan, H. Rezaie, M., and Jaimand, K. 2001. Path analysis of essential oil-related characters in *Mentha* spp. Flavor and Fragrance Journal 16: 340-343.

Moghaddam, M., Omidbeygi, R., Salimi, A., and Naghavi, M.R. 2014. Investigation of morphological diversity of native *Ocimum* spp lots of Iran. Iranian Horticultural Science Journal 44:227-243. (In Persian with English Summary)

Mozaffarian, V.A. 2013. Dictionary of Iranian plant Name. Farhang Moaser Press, Iran. Tehran. (In Persian)

Omidbeaigi, R. 2005.Production and Processing of Medicinal Plants. Behnashr Press. Mashhad, Iran. 347 pp. (In Persian)

Saber Amoli, S., Noroozi, S., Shekarchian, A., Akbarzadeh, M., and Kodoori, M. 2008. Investigation of ecological factors of essential oil of Labiatae species in Kerman province.Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 23: 4. (In Persian with English Summary)

Stanisavljevic, D.M., Dordevic, S., Ristic, M., Velickovic, D., and Randelovic, N.V. 2010. Effects of different drying methods on the compsitial oil from herb *Mentha longifolia* (L.) Hudson 1(1-2): 89-93.

Yavari, A.R., Nazeri, V., Sefidkon F and Hassani, M.E. 2010. Evaluation of some ecological factors, morphological traits and essential oil productivity of *Thymus migricus* Klokov & Desj. Shost. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 26: 227-238. (In Persian with English Summary)

Zargari, A. 1997. Pharmaceutical plant (Fourth Ed), Tehran University Press, Tehran, Iran. 969. (In Persian)

Zeinali, H., Arzani, A., and Razmjo, K. 2004. Morphological and essential oil content diversity of Iranian mints (*Mentha* spp). Iranian Journal of Science and Technology, Transaction 28: 1-9. (In Persian with English Summary)

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 335-347

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۳۴۷-۳۳۵

Evaluation of Ecological and Morphological Traits and Essential Oil Productivity of *Mentha longifolia* L. in Fars and Khorasan Razavi Provinces

Z. Hosseini[1], H. Feizi[2*], S. Vatandoost Jertoodeh[3] and M. Alipanah[4]

Submitted: 05-05-2017
Accepted: 02-01-2018

Hosseini, Z., Feizi, H., Vatandoost Jertoodeh, S., and Alipanah, M. 2019. Evaluation of ecological and morphological traits and essential oil productivity of *Mentha longifolia* L. in Fars and Khorasan Razavi provinces. Journal of Agroecology. 11(1):335-347.

Introduction
The basis for plant breeding research is genetic variability. In fact, without access to such variety, plant breeders to create and deliver new varieties will not have much success. Mirzaee Nadushan (2001) evaluated different species of mint and its morphologic features. In this study, between different species, a significant difference in terms of characters such as plant height, stem diameter, number of branches, leaf length and width were observed. Horse Mint (*Mentha longifolia* syn. Mentha sylvestris) is a valuable medicinal and aromatic plant belong to Lamiaceae family. The aim of this study was to identify areas of distribution, determine the ecological and morphological assessment of various climates and yield valuable medicinal oil is such that it provides a basis for investigating the genetic diversity of germplasm.

Materials and Methods
In order to study morphological characteristics of *Mentha longifolia* in 10 regions of Fars and Khorasan Razavi Province, sampling was done at flowering stage in summer 2015. In order to study morphological diversity of wild landraces in Fars and Khorasan Razavi by referring to reliable sources, including Flora Iranica area distribution and habitats of this plant was found in two Provinces. The study area includes five sites in Fars Province (Sepidan, Bavanat, Fasa, Kovar, Kazeroon) and five regions in Khorasan Razavi Province (Torbat Heydarieh, Mashhad, Nishabur, Kashmar and Chenaran). Given that most of the active ingredients of the plant at the time of flowering is reported, plant samples in full bloom in ten regions in Fars and Khorasan were taken. Some samples were selected from each region and 19 quantitative and qualitative characteristics were determined for each ecotype. For accurate identification and diagnosis of morphological Horse mint herbarium specimens were collected and identified samples was done by qualified personnel. For extract the essential oil by water distillation by Clevenger apparatus according to the Pharmacopoeia Great Britain for three hours were done.
The samples based on all the characteristics of using the SPSS software and Ward methods were grouped. All correlation coefficients of traits in populations that were collected were analyzed by Pierson method using SPSS software. Cluster analysis was performed using JMP software.

Results and Discussion
The results showed considerable diversity in terms of morphological characteristics among ecotypes. Most of the side branch was observed in Mashhad and Kashmar populations. Correlation analysis showed significant positive association between some important characteristics. The correlation coefficients showed a positive association between the length of flower and length and width of leaf. Principal components analysis showed that traits like leaf length, width and blade tip were placed in first factor and had the most allotment in describing changes among collected data. Cluster analysis divided the subjects into four distinct groups. Mentha average production efficiency review showed that the highest essential oil yields was in Mashhad sites (1.8) and site of Kashmar (1.8) and the lowest amount of oil from the habitat Chenaran (0.9). Due to the high yields of essentials in samples collected from Mashhad district, it can be considered it is a good place prone to extraction of essential oils among studied areas.

1, 2 and 4- MSc Student, Assistant Professor and Asociate Professor of Plant Production, University of Torbat Heydarieh, Iran, respectively.
3- PhD in horticultural Science, Department of Plant Production, University of Torbat Heydarieh, Iran
(-*Corresponding author Email: h.feizi@torbath.ac.ir)

Conclusion
The correlation coefficients showed a positive correlation between the length of flower and length and width of leaf. The shortest length of flowering branch inflorescence and the status of being in the seventh factor 46.5% of the change can be justified. The highest essential oil yields in Mashhad (1.8) and site of Kashmar (1.8) and the lowest amount of oil from the habitat Chenaran (0.9) was shown. Finally Mashhad landrace suggested for selection in domestication and cultivation of this plant.

Acknowledgment
The study was sponsored by the University of TorbatHeydarieh which thereby is appreciated.

Keywords: Cluster analysis, Diversity, Medicinal plants, Morphological traits.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۳۶۴-۳۴۹

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 349-364

ارزیابی تحمل به سرما در اکوتیپ‌های فتان بلند (*Festuca arundinacea* L.) در شرایط مزرعه و کنترل‌شده

عبداله سلطان احمدی[۱]، احمد نظامی[۲*]، محمد کافی[۲] و حمیدرضا خزاعی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۰۵

سلطان احمدی، ع.، نظامی، ا.، کافی، م.، و خزاعی، ح. ۱۳۹۸. ارزیابی تحمل به سرما در اکوتیپ‌های فتان بلند (*Festuca arundinacea* L.) در شرایط مزرعه و کنترل‌شده. بوم شناسی کشاورزی، ۱۱(۱): ۳۶۴-۳۴۹.

چکیده

فستوکا (*Festuca* sp.) یک گونه پرکاربرد و با اهمیت جهت مراتع، تعلیف دام و فضای سبز شهری است. اکوتیپ‌های متعددی از این گونه در ایران رشد می‌کنند و برای موفقیت در کشت و رشد مناسب آنها در مناطق تحت تنش، اطلاعات کمی در دسترس می‌باشد. زمستان‌های سرد از جمله ویژگی‌های مناطق معتدله در ایران است. از این رو، انتخاب اکوتیپ‌های متحمل به سرمای فستوکا جهت کشت در این مناطق ضروری است. به این منظور، آزمایشی با هدف ارزیابی تحمل به سرما در اکوتیپهای فتان بلند (*Festuca arundinacea* L.) در شرایط مزرعه و کنترل‌شده به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی در دو شرایط مزرعه و کنترل‌شده در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام شد. در مزرعه عامل اصلی دو تاریخ کاشت پاییزه (۱۵ مهرماه و ۱۵ آبان ماه) و عامل فرعی شامل ۲۳ اکوتیپ جمعآوری شده از نقاط مختلف ایران بود و در شرایط کنترل‌شده اکوتیپ‌های فتان کشت شده در زمان‌های مشابه با مزرعه در معرض چهار دمای شاهد (دمای محیط طبیعی)، ۱۴-، ۱۷- و ۲۰- درجه سانتیگراد) قرار گرفتند. نتایج آزمایش مزرعه ای نشان داد که اثر متقابل تاریخ کاشت × اکوتیپ بر روز تا سبز شدن، درصد بقاء، عملکرد دانه و زیستتوده معنی‌دار بود. درصد بقاء اغلب اکوتیپ‌ها در کشت دوم بیشتر از کشت اول بود، با وجود این در اکثر اکوتیپ‌های با تأخیر در کشت، روز تا سبز شدن، عملکرد دانه و زیست‌توده کاهش داشت. در شرایط کنترل شده، اثر تاریخ کاشت × اکوتیپ بر درصد بقاء، سطح سبز و وزن خشک بوته معنی‌دار بود. با تأخیر در کشت، درصد بقاء در اغلب اکوتیپ‌ها به طور معنی‌داری افزایش یافت. تأخیر در کاشت، سبب کاهش وزن خشک در ۵۲ درصد اکوتیپ‌ها شد. در هر دو شرایط مزرعه و کنترل شده اکوتیپ‌های اصفهان- ایستگاه قزوه ۱۳۷۵، بروجن، داران، داران- دامنه، گندمان- سناجان، مشهد، ساری، گلستان و قوچان- سیدآباد از نظر درصد بقاء، وزن خشک و عملکرد نسبت به سایر اکوتیپ‌ها دارای برتری معنی‌داری بودند و متحمل ترین اکوتیپ‌ها معرفی شدند.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع، تاریخ کاشت، درصد بقاء، سطح سبز، عملکرد دانه

مقدمه

فستوکا (*Festuca* sp.) جنس بزرگی از گرامینه‌های علفی است که گونه‌های آن به طور وسیعی با انواع آب و هوا سازگار شده‌اند. در ایران نه گونه فستوکا شناخته شده است (Ebrahimian et al., 2012) که در مناطق مختلف ایران همچون گلستان، مازندران، لرستان، خراسان، فارس، اصفهان، کرج، درود، الوند و فیروزکوه به صورت طبیعی رویش دارند (Alizadeh,, 2010). این گیاه به علت داشتن ریشههای فیبری، ضخیم و محکم، عمیق و گسترده باعث کاهش فرسایش خاک میشود. این ریشهها چگالی خاک را کاهش داده و ساختمان خاک را اصلاح کرده و از فرسایش آن جلوگیری میکنند. اندازه برگهای گیاه فستوکا متوسط تا درشت بوده و دارای عمر طولانی میباشد، لذا این گیاه جزو علوفه‌های مهم دامی محسوب شده و به طور گسترده در مراتع مورد کشت و کار و بهره‌برداری قرار

۱و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: nezami@um.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v11i1.73193

میگیرد (Ebrahimian et al., 2012; Majidi, 2010)فتان بلند (*Festuca arundinaceae* L.) از جمله گونه‌های جنس فستوکا است که تاکنون ۲۷ اکوتیپ از آن در کشور شناسائی شده است. این گیاه در ایران پراکنش خوبی دارد و در مراتع، چراگاهها و نواحی کوهستانی به ویژه مناطق مرکزی، غربی و شمالی کشور رویش داشته و از پتانسیل بالائی برای رشد و تولید برخوردار است (Ebrahimian et al). فتان بلندگیاهی چند ساله است، بنابراین در اغلب موارد در معرض تنش سرما و زمستان قرار میگیرد (Alizadeh, 2010; Majidi, 2010) و لذا موفقیت کشت این گیاهان مستلزم استفاده از، ارقام متحمل به سرما می‌باشد.

بر اساس برخی گزارش‌ها فتان بلند تحمل خوبی به انواع تنش‌های محیطی (سرما و خشکی) نشان می‌دهد (Alizadeh, 2010) (Ebrahimian et al.,2012)، ولی بررسی‌ها بر روی تعدادی از اکوتیپ‌های این گیاه نشان داده که واکنش آن نسبت به سرما متفاوت بوده (Alizadeh, 2010) و لذا بررسی وسیعتر در مورد خصوصیات رشدی و تحمل به سرمای اکوتیپ‌های این گیاه در شرایط کاشت پاییزه ضروری میباشد. علاوه بر این، شناخت بیشتر خصوصیات رشدی و فیزیولوژی تحمل به سرمای آن به دلیل رویکرد جدید استفاده از این گونه گیاهی در مصارف مختلف به ویژه کاشت در فضای سبز، از اهمیت خاصی برخوردار است (.Alizadeh, 2010)

مقاومت یا حساسیت گیاهان در برابر سرما بسته به رقم، مورفولوژی، بافت گیاه، خصوصیات سلولی و همچنین شدت و مدت سرما و وضعیت توپوگرافی متفاوت است، ضمن این که اندام‌های گیاه نیز از نظر تحمل به سرما درجات متفاوتی را دارند (Farhad et al., 2015; Eugenia et al., 2003; Grace et al., 2009). در هر حال، هنگامیکه گیاه در معرض تنش سرما قرار می‌گیرد، علائم خسارت ناشی از سرما به برگ‌ها ممکن است به صورت پژمردگی، آبکی شدن (به دلیل تغییر فیزیکی غشاء از حالت کریستال مایع به جامد- ژل)، قهوه‌ای شدن و حتی نکروزه شدن برگ دیده شود. در این شرایط امکان آب سوختگی ساقه‌ها نیز وجود دارد و به دنبال آن ساقه‌های گیاه ظاهری چروکیده پیدا کرده و بعداً سیاه می‌شوند (Cardona et al., 1997; Nayyar et al., 2005). در نتیجه مهمترین نشانه‌های اثر سرمای زمستان بر گیاهان کاهش و یا توقف رشد گیاه، کاهش تولید ماده خشک و کلروزه شدن برگ‌های مسن و در نهایت مرگ گیاه می‌باشد (.Nezami et al., 2012; Kheirkhah et al., 2015)

تعیین درصد بقاء گیاه پس از قرار گرفتن در معرض سرما، یکی از روشهای تعیین مقاومت گیاهان به تنش می‌باشد. شاخص بقاء گیاهان در مزرعه دارای اعتبار نسبتاً خوبی است، زیرا میزان برخی خطاها در آن به حداقل می‌رسد، ضمن این که نیازی به تخریب نمونه‌های آزمایشی نیست. این شاخص در هر زمان در طول زمستان و حتی بعد از آن قابل اندازهگیری است و مقایسه نسبتاً قابل قبولی را ارائه میکند (Li et al., 2008; Larsen, 2013). با وجود این در آزمایش‌های مزرعهای هر چند گیاه در معرض شرایط واقعی تنش‌های زمستانه قرار می‌گیرد، اما به علت شدت سرمای زمستان سال‌های مختلف، نتایج قدری متفاوت است (Nezami& Bagheri, 2005; Larsen, 2013)، همچنین زمان بسیار زیادی نیز صرف مطالعات می‌گردد، علاوه بر این، ممکن است تفکیک مناسبی نیز بین اکوتیپ‌ها یا ارقامی که دارای تفاوت اندکی از نظر تحمل به سرما هستند، فراهم نشود (Nezami & Bagheri, 2005; Xuan et al., ۲۰۰۹). به همین دلیل از انواع آزمونهای ارزیابی یخزدگی در شرایط کنترل‌شده استفاده می‌شود.

بررسی محققان نشان داد که با کاهش دما درصد نشت الکترولیت‌ها در سه توده برمودا‌گراس (*Cynodon dactylon* L.) افزایش و درصد بقاء کاهش یافت که بسته به توده‌های مورد بررسی متفاوت بود (Cardona et al., 1997). یافته‌های دیگر محققان نیز نشان می‌دهد که تنش یخزدگی در شرایط کنترل‌شده منجر به کاهش درصد بقاء و سطح برگ و وزن خشک بوته در گیاهان شبدر گل سرخی (*Trifolium hirtum* L., 2003) (Eugenia et al)، نخود (*Cicer arietinum* L., 2012) (Nayyar et al., 2005; Nezami et al)، یونجه (*Medicago sativa* L.,2008) (Thapa et al) و نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) (Kheirkhah et al., 2015) شده و نشان داد که این روش می تواند در ارزیابی تنش مورد استفاده قرار گیرد. همچنین تفاوت ژنتیکی و اثرات محیط رشد بر مقاومت اکوتیپ‌ها در تحقیقات متعددی گزارش شده است. لذا تعیین پتانسیلهای مقاومت در اکوتیپ‌ها می‌تواند در انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم و استخراج ژن‌های دخیل در آن، گام مؤثری باشد (Nezami& Bagheri, 2005)

با توجه به مطالب بیان شده و شرایط محیطی سرد زمستانه حاکم بر اکثر مناطق کشور و لزوم به گزینی اکوتیپ‌های متحمل به سرما، این آزمایش با هدف بررسی واکنش اکوتیپ‌های ایرانی فتان بلند به تنش سرما در شرایط مزرعه و کنترلشده در شهرستان مشهد اجرا شد.

مواد و روش‌ها

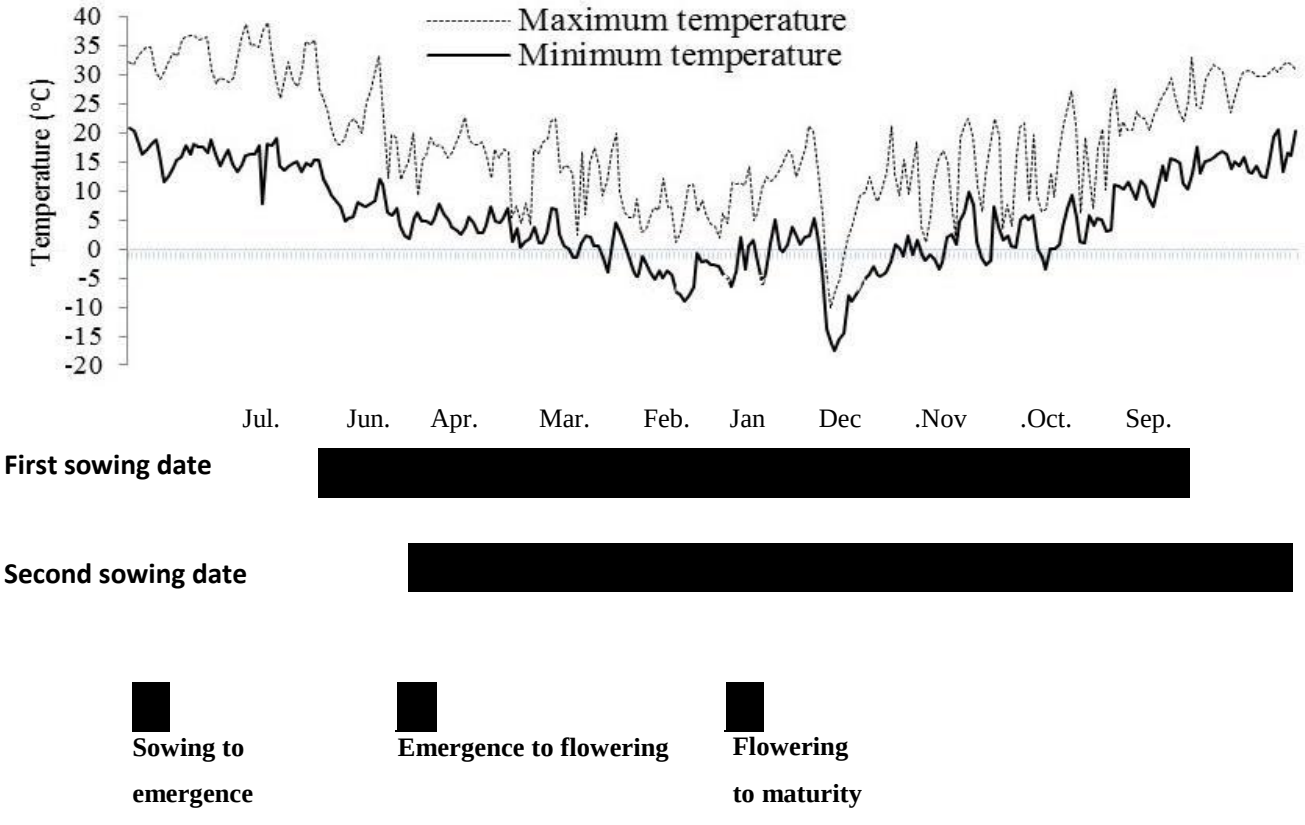
این مطالعه به منظور بررسی تحمل به سرما در ۲۳ اکوتیپ ایرانی فتان بلند (جدول ۱)، که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی تهیه شده بود در محل تولیدات شماره دو سازمان پارکها و فضای سبز شهرداری مشهد و آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام شد. منشأ اکوتیپ‌های مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- نام و منشاء اکوتیپ‌های فتان بلند

Table 1- Name and origins of tall fescue ecotypes

ردیف **Row**	محل **Location**	شماره **Number**
1	اصفهان- ایستگاه فزوه۱۳۷۵ Isfahan- Fazveh Station 1996	6000_ 32_ 1
2	اصفهان- ایستگاه فزوه ۱۳۷۸ Isfahan- Fazveh Station 1998	6000_ 30_ 1
3	اصفهان- یزدآباد Isfahan- Yazdabad	6000_ 39_ 1
4	اصفهان- یزدآباد Isfahan- Yazdabad	6000_ 39_ 2
5	بجنورد Bojnord	6000-88
6	بروجن Boroojen	6000_ 65
7	تحقیقات البرز Tahghighate Alborz	6000_ 88
8	داران Daran	6000_ 112
9	داران- ایستگاه قهیز Daran- Ghajghiz Statio	6000_ 110
10	داران- دامنه Daran- Damaneh	6000_ 111
11	سمیرم Semirom	6000-80
12	ساری Sari	6000_ 79
13	سمیرم-پادنا Semirom-Padna	6000_ 113
14	سمیرم-پادنا بیده Semirom-Padna Bideh	6000_ 113_ 2
15	قوچان-سید آباد Qoochan- Seyyedabad	6000-81
16	کامیاران- توانکش Kamyaran- Tavankesh	6000_ 75
17	گلستان Golestan	6000-89
18	گنبد-جنگل قرق Gonbad- Ghorogh forest	6000-84
19	گندمان-سناجان Gandoman- Senajan	6000_ 66
20	گندمان- کنرک علیا Gandoman- Konarak Olya	6000_ 67
21	گندمان- نصیرآباد Gandoman- Nassirabad	6000_ 71
22	مشهد Mashhad	6000_ 83
23	یاسوج- مرکزی Yasouj- Markazi	6000_ 78

بافت خاک مرزعه لومی–رسی دارای اسیدیته ۷/۸ و هدایت الکتریکی عصاره اشباع آن ۱/۲ دسی زیمنس بر متر بود. ابعاد هر کرت ۱۰۰×۱۵۰ سانتیمتر بود و پس از کاشت روی بذرها با کود حیوانی پوسیده پوشیده به ضخامت یک سانتی‌متر و سپس آبیاری انجام شد. پس از سبز شدن عملیات تنک بوته‌ها جهت دستیابی به تراکم ۴۰۰ بوته در متر مربع انجام شد (Ebrahimian et al.,2012). مبارزه با علفهای هرز به صورت دستی انجام گردید و آبیاری هر ۱۰ روز یکبار صورت پذیرفت. شرایط آب و هوایی در سال زراعی مورد مطالعه در شرایط آب و هوایی مشهد در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- تغییرات دماهای حداقل و حداکثر روزانه طی سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و میانگین طول مراحل رشدی اکوتیپ‌های فتان بلند در تاریخهای کاشت اول (۱۵ مهرماه) و دوم (۱۵ آبان ماه)

Fig. 1- Maximum and minimum temperatures during the growing season of 2013-2014 and mean length of growth stages of tall fescue ecotypes at the first (October 8) and second (November 7) planting dates

تعداد روز تا سبز شدن و گلدهی و روز ازگلدهی تا رسیدگی و درصد بقاء بر روی گیاهان قرار گرفته در کوادراتی با ابعاد ۵۰×۵۰ سانتیمتر (نصب شده در وسط هر کرت) تعیین شد. لازم به ذکر است هر مرحله رشدی زمانی در نظر گرفته شد که ۵۰ درصد گیاهان در مرحله رشدی مورد نظر بودند. جهت تعیین درصد بقاء قبل از شروع فصل سرما، بوته‌های مورد نظر شمارش و مجدداً بوته‌های باقی مانده در همان کوادرات بعد از فصل سرما در ابتدای بهار شمارش شدند. درصد بقاء از طریق معادله ۱ تعیین شد.(Nezami & Bagheri, 2005)

معادله (۱) ۱۰۰×(تعداد گیاهان قبل از زمستان/تعداد گیاهان پس از زمستان)=درصد بقاء

در انتهای فصل رشد (مصادف با ۱۵ تیرماه)، به منظور تعیین خصوصیات رشدی و اجزای عملکرد، در انتها با حذف اثرات حاشیه‌ای از سطحی معادل یک متر مربع برداشت انجام شد و پس از جداسازی بذرها، سایر بخش‌های هوایی گیاه در داخل آون به مدت ۴۸ ساعت با دمای ۷۲ درجه سانتیگراد خشک و سپس توزین شدند.

جدول ۲- شرایط آب و هوایی مشهدطی سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲

Table 2- Weather conditions of Mashhad during the growing season of 2013-2014

ماهها **Months**	شب‌های یخبندان* **Nights below freezing***	دمای حداقل مطلق ماهانه (درجه سانتی‌گراد) **Absolutely Min. temperature (°C)**	بارندگی ماهانه (میلی‌متر) **Monthly precipitation (mm)**	مجموع دماهای کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد **Total temperatures below zero °C**
مهر October	-	5.2	11.4	0
آبان November	2	-3.5	16.8	5
آذر December	11	-5.2	8.7	22
دی January	25	-9	0.6	114
بهمن February	20	-17.4	6.5	142
اسفند March	10	-3.6	1	19
فروردین March	3	-3.4	67.4	5
اردیبهشت April	-	10.4	3.5	0
خرداد June	-	12.1	22	0
تیر July	-	16.9	0	0
مرداد August	-	19.6	0	0
شهریور September	-	11.9	0	0

*: بر اساس تعداد شب‌ها با حداقل دمای کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد.

*: Based on the number of nights with minimum temperature less than zero °C.

در شرایط کنترل‌شده در هر تاریخ کاشت، ابتدا ۱۵ عدد بذر جوانهدار شده در گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۱۲ و ارتفاع ۱۵سانتیمتر در عمق دو سانتیمتر کاشته شدند. ترکیب خاک گلدان‌ها ۱۵ درصد کود پوسیده حیوانی و مابقی به صورت مساوی از خاک برگ و ماسه و خاک مزرعه بود. به منظور خوسرمایی گیاهان مشابه آزمایش مزرعه ای، در شرایط محیطی آزاد قرار داده شدند (جدول ۲) و تنها در صورت کاهش دمای محیط به صفر درجه سانتی‌گراد در دوره سبز شدن و کمتر از ۲- درجه سانتی‌گراد در مرحله گیاهچهای با قرار دادن آنها درشاسی سرد محافظت شدند. گلدانها در مواقع مورد نیاز و همچنین ۲۴ ساعت قبل از اعمال دماهای یخزدگی آبیاری شده و در اواخر بهمن ماه به فریزر ترموگرادیان منتقل شدند. دمای فریزر در شروع آزمایش پنج درجه سانتیگراد بود و پس از گذاشتن نمونه‌ها با سرعت دو درجه سانتیگراد در ساعت کاهش یافت و در دمای ۲- درجه سانتیگراد اسپری باکتری‌های ایجاد کننده هستک یخ (INAB)[2]بر روی گیاهان انجام شد (Nezami et al., 2012). نمونههای گیاهی در هر دمای آزمایش (۱۴-، ۱۷-و۲۰- درجه

[2]- Ice nucleation active bacteria

سانتیگراد) به مدت یک ساعت باقی ماندند و سپس از فریزر ترموگرادیان خارج شده، به اتاقک سرما با دمای۲±۵ درجه سانتیگراد منتقل و به مدت۲۴ ساعت در آنجا نگهداری شدند.

برای تعیین درصد بقاء و رشد مجدد، گلدان‌ها به شاسی سرد انتقال یافته و پس از سه هفته درصد بقاء از طریق معادله ۱ تعیین شد، تعداد گیاه زنده در قبل و بعد از اعمال تنش شمارش شد. همچنین سطح برگ و وزن خشک گیاه (زیست توده) اندازه گیری شد. بدینمنظور، بوته‌ها از سطح خاک بریده شده و پس از انتقال به آزمایشگاه، سطح سبز آنها با استفاده از دستگاه سطح برگسنج مدل Delta-T تعیین گردید. سپس نمونه‌ها داخل پاکت کاغذی قرار داده شده و به مدت ۴۸ ساعت در درجه حرارت ۷۵ درجه سانتیگراد در آون نگهداری و سپس وزن خشک آنها توزین گردید.

آزمایش مزرعه ای به صورت اسپیلت پلات در قالب طرح پایه بلوکهای کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. به منظور قرار گرفتن اکوتیپ‌های فتان بلند در معرض سرمای زمستان در مراحل متفاوت رشدی، گیاهان در دو تاریخ به صورت دستی کاشته شدند. دو تاریخ کاشت به عنوان عامل کرت‌های اصلی شامل ۱۵مهر و ۱۵ آبان ماه و ۲۳ اکوتیپ فتان بلند به عنوان عامل کرت‌های فرعی مدنظر قرار گرفتند. در شرایط کنترل‌شده آزمایش به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش نیز مشابه با آزمایش مزرعه ای ۲۳ اکوتیپ مورد بررسی در دو تاریخ کاشت ۱۵مهر ماه (کاشت اول) و ۱۵ آبان ماه (کاشت دوم) کشت و در دماهای فریز قرار داده شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌های هر دو آزمایش در شرایط مزرعه ای و کنترل‌شده، توسط نرمافزار آماری MSTAT-C و مقایسات میانگین صفات با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

آزمایش مزرعه ای

در سال اجرای آزمایش، دمای هوا در ۷۱ روز به زیر صفر درجه سانتی‌گراد رسید (جدول ۱). دمای حداقل مطلق ۱۷/۴- درجه سانتی‌گراد بود و مجموع درجه حرارت‌های کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد نیز ۳۰۷ درجه سانتی‌گراد بود. تعداد روزهای دارای پوشش برف نیز ۱۸ روز و میزان نزولات جوی در طول فصل رشد ۱۴۴/۲ میلیمتر بود (جدول ۱).

اثر متقابل تاریخ کاشت و اکوتیپ بر درصد بقاء فتان بلند معنی‌دار (p۰/۰۵≥) بود. در بین تمامی اکوتیپ‌های مورد بررسی، تنها اکوتیپ گلستان بیشترین تحمل را نسبت به سرما در هر دو تاریخ کاشت نشان داد و حداکثر بقاء (۱۰۰ درصد) را داشت (جدول ۳)، ضمن اینکه در کاشت ۱۵ آبان ماه، درصد بقاء اکوتیپ‌های ساری و گنبد-ایستگاه تولید بذر فستوکا نیز ۱۰۰ درصد بود. با تأخیر در تاریخ کاشت درصد بقاء در اغلب اکوتیپ‌های مورد بررسی افزایش داشت، با وجود این در اکوتیپ‌های گنبد، ساری و داران درصد بقاء در کاشت دوم نسبت به کاشت اول به ترتیب ۴۸، ۳۱ و ۲۸ درصد کاهش یافت، در صورتی‌که درصد بقاء اکوتیپ‌های اصفهان-یزد آباد، تحقیقات البرز، سمیرم، سمیرم-پادنا، سمیرم-پادنا بیده، کامیارن-توانکش، گندمان-کنرک علیا و گلستان تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار نگرفت (جدول ۳). کمترین درصد بقاء در هر دو تاریخ کاشت، در اکوتیپ‌های کامیاران-توانکش، سمیرم-پادنا بیده و تحقیقات البرز مشاهده شد (جدول ۳). از این رو، به نظر می‌رسد که اکوتیپ‌های مذکور در هیچ یک از تاریخ‌های کشت قادر به سازگاری با شرایط آب و هوایی مشهد نیستند.

در مجموع، تأخیر در کاشت سبب بهبود تحمل به سرمای گیاهچه‌ها در اغلب اکوتیپ‌های فتان بلند مورد بررسی شد. به نظر می‌رسد در این حالت گیاهچه‌های تولید شده در کاشت دوم به دلیل اندازه کوچکتر و مرحله فنولوژیکی پایین تر بوده و لذا کمتر در معرض تنش سرما قرار گرفتهاند (Grace et al., ۲۰۰۹). همچنین احتمالاً به دلیل قرارگیری گیاهچه‌های جوان تر در شرایط خوسرمایی مناسب در مراحل اولیه رشد (شکل ۱)، سازوکارهای مقاومت به سرما در آنها از همان ابتدای رشد شکل گرفته و سبب ایجاد مقاومت بالاتر به سرما شده است (Kafi et al., 2009; Li et al., 2008). اختلاف درصد بقاء زمستانه در بین اکوتیپ‌های زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.,2010) (Soheyli et al) و ژنوتیپ‌های گندم (*Triticum aestivum* L.) (Azizi et al., 2007) نیز به دلیل تنوع آن‌ها از این نظر ذکر شده است. نتایج سایر محققان نیز حاکی از اثر معنی‌دار تاریخ کاشت بر درصد بقاء در ژنوتیپ‌های گیاهان بوده است (Dokuyucu & Akkaya, 2004; Maletic & Jevdjovic, 2007).

اثر متقابل تاریخ کاشت و اکوتیپ بر روز تا سبز شدن فتان بلند معنی‌دار (p۰/۰۵≥) بود. اگرچه در غالب اکوتیپ‌های مورد بررسی، تأخیر در کاشت سبب افزایش معنی‌دار مدت زمان کشت تا سبز شدن فتان بلند شد، اما در اکوتیپ‌های اصفهان-یزد آباد، تحقیقات البرز، داران-دامنه، کامیاران-توانکش، یاسوج-مرکزی و گلستان بین دو تاریخ کشت تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳). در دو اکوتیپ گندمان- کنرک علیا و گندمان-سناجان بیشترین تفاوت بین دو تاریخ کشت از نظر روز تا سبز شدن)به ترتیب با ۳۲ و ۲۹ درصد(دیده شد. همچنین در کشت اول، بیشترین زمان تا سبزشدن متعلق به اکوتیپ گندمان- کنرک علیا بود، اما در کشت دوم بیشترین زمان تا سبزشدن در بذور اکوتیپ تحقیقات البرز مشاهده شد (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل اکوتیپ و تاریخ کاشت بر درصد بقاء و تعداد روز تا سبز شدن اکوتیپهای فتان بلند در شرایط مزرعه ای

Table 3- Mean comparisons for the interaction effects of ecotype and planting date on survival percentage and number of days to emergence of tall fescue ecotypes under field conditions

اکوتیپ **Ecotype**	بقاء (٪) **Survival (%)**		روز تا سبز شدن **Number of days to emergence**	
	۱۵ مهر **October 8**	۱۵ آبان **November 7**	۱۵ مهر **October 8**	۱۵ آبان **November 7**
اصفهان- یزدآباد Isfahan- Yazdabad	31.9	43.4	43	36
اصفهان- ایستگاه فزوه۱۳۷۵ Isfahan- Fazveh Station 1996	80.1	93.5	43	35
اصفهان- ایستگاه فزوه ۱۳۷۸ Isfahan- Fazveh Station 1998	36.7	52.3	43	35
اصفهان- یزدآباد Isfahan- Yazdabad	22.1	24.3	43	36
بجنورد Bojnord	24.1	48.2	47	40
بروجن Boroojen	77.3	86.0	44	34
تحقیقات البرز Tahghighate Alborz	4.6	1.2	55	48
داران Daran	67.6	95.8	48	36
داران- ایستگاه قهیز Daran- Ghajghiz Statio	55.8	64.0	50	43
داران- دامنه Daran- Damaneh	55.6	66.8	44	38
سمیرم Semirom	46.2	41.5	45	38
ساری Sari	68.2	100.0	43	36
سمیرم-پادنا Semirom-Padna	21.0	38.6	43	36
سمیرم-پادنا بیده Semirom-Padna Bideh	1.9	0.9	49	27
قوچان-سید آباد Qoochan- Seyyedabad	32.2	53.8	45	34
کامیاران- توانکش Kamyaran- Tavankesh	1.3	0.5	41	42
گلستان Golestan	100	100.0	42	35
گندمان- کنرک علیا Gandoman- Konarak Olya	41.3	47.9	58	41
گندمان- نصیرآباد Gandoman- Nassirabad	27.4	37.7	50	42
گندمان-سناجان Gandoman- Senajan	64.7	73.2	55	38
گنبد-جنگل قرق Gonbad- Ghorogh forest	51.2	100.0	42	35
مشهد Mashhad	59.5	70.9	48	33
یاسوج- مرکزی Yasouj- Markazi	25.6	42.9	52	45
LSD (0.05)	8.8		7	

نتایج مطالعه نظامی و باقری (Nezami & Bagheri, 2005) بر خصوصیات فنولوژیکی ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط آب و هوایی مشهد نشان داد که تاریخ کاشت اثر معنی‌داری بر دوره کاشت تا سبز شدن داشت و تأخیر در کشت سبب افزایش مدت زمان کشت تا سبز شدن در ژنوتیپ‌های نخود گردید. به اعتقاد محققان با تأخیر در کشت پاییزه به دلیل کاهش متوسط دمای هوا سبز شدن گیاهان به تأخیر می‌افتد (Coventry et al., 2003; Siddique et al.,2002).

بین اکوتیپ‌های فتان بلند از نظر دوره سبزشدن تا گلدهی، گلدهی تا رسیدگی و طول دوره رشد تفاوت معنی‌داری (p≤۰/۰۵) وجود داشت. طول دوره رویشی (سبز شدن تا گلدهی) در ۹۱ درصداز اکوتیپ‌های مورد بررسی (۲۱ اکوتیپ) بین ۱۳۰ الی ۱۵۲ روز بود. کمترین طول دوره رشد رویشی نیز در اکوتیپ سمیرم–پادنا بیده مشاهده شد که در مقایسه با اکوتیپ سمیرم ۳۹ درصد کمتر بود (جدول ۴). در مجموع، با تأخیر در کشت، طول دوره رویشی ۱۱ درصد و دوره رشد زایشی ۱۳ درصد افزایش یافت (داده‌ها نشان داده نشده است). بر اساس میانگین داده‌ها، دوره رویشی (سبز شدن تا گلدهی) تقریباً دو برابر دوره زایشی (گلدهی تا رسیدگی) بود و دوره رشد زایشی حدود ۵۶ درصد از اکوتیپ‌های فتان بلند بیشتر از ۶۵ روز بود. بیشترین طول دوره زایشی نیز به ترتیب در اکوتیپ‌های قوچان–سیدآباد، بروجن و داران–دامنه مشاهده شد که در مقایسه با اکوتیپ سمیرم–پادنا بیده ۶۳ درصد بیشتر بود (جدول ۴). در حدود ۹۱ درصد از اکوتیپ‌های مورد بررسی کل فصل رشد بین ۲۴۰ الی ۲۶۲ روز بود. بیشترین و کمترین طول فصل رشد نیز به ترتیب در اکوتیپ ساری و سمیرم–پادنا بیده مشاهده شد (جدول ۴). یافته‌های دیگر محققان نیز حاکی از اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از نظر دوره رشدی می‌باشد (Maletic& Jevdjovic, 2007; Xuan et al., 2009). مشابه نتایج حاصل از آزمایش حاضر، یافته‌های دیگر نشان داد که تاریخ کشت علاوه بر آن که در مراحل فنولوژیکی مختلف از جمله سبزشدن تا گلدهی و رسیدگی محصول تأثیرگذار بوده است، بلکه بین ژنوتیپ‌های نخود نیز از این نظر اختلاف وجود داشته است (Nezami& Bagheri, 2005).

اکوتیپ‌های مورد بررسی از نظر ارتفاع بوته تفاوت معنی‌داری (p≤۰/۰۵) داشتند. در هشت اکوتیپ ارتفاع بوته کمتر از ۵۰ سانتیمتر بود و ۱۵ اکوتیپ نیز ارتفاعی بیشتر از ۵۰ سانتیمتر داشتند (جدول ۴). بلندترین ارتفاع نیز در اکوتیپ‌های قوچان–سیدآباد و داران–دامنه مشاهده شد، در حالیکه کمترین ارتفاع را اکوتیپ تحقیقات البرز داشت (جدول ۴). این نتایج نشان داد که تفاوت‌ها به دلیل اختلاف‌های ژنتیکی و خصوصیات ذاتی اکوتیپ‌ها است. گیاهان کشت شده در ۱۵ مهرماه حدود ۲۰ درصد از گیاهان کشت دوم بلندتر بودند (داده‌ها نشان داده نشده است). طول دوره رشد یکی از عوامل کلیدی در بهبود ارتفاع گیاه است، چون سبب افزایش زمان بهرهبرداری از منابع و همچنین دریافت درجه روزهای بیشتر برای رشد و توسعه می‌شود که یکی از نمودهای بارز آن در ارتفاع گیاه قابل مشاهده است. در سایر مطالعات نیز اختلاف ژنتیکی ارقام منجر به تفاوت معنی‌دار ارتفاع گیاه شده است (Azizi et al., 2007; Farhad et al., 2015).

اثر متقابل تاریخ کاشت و اکوتیپ بر عملکرد و زیست‌توده فتان بلند معنی‌دار (p≤۰/۰۵) بود. با تأخیر در تاریخ کاشت، عملکرد ۵۲ درصد اکوتیپ‌ها به طور معنی‌داری کاهش یافت و بیشترین تغییرات ناشی از تفاوت بین دو کشت در اکوتیپ‌های سمیرم، گندمان–سناجان و گندمان–کنرک علیا (به ترتیب با ۸۵، ۶۷ و۶۶ درصد) دیده شد. سیدیکو و همکاران (Siddique et al., 2002) عنوان کردند که تغییر در زمان کشت گیاهان تأثیر بسزایی در عملکرد نهایی آنها دارد و تأخیر در آن سبب کاهش عملکرد اقتصادی و بیولوژیک می‌گردد. همچنین بیشترین عملکرد دانه را در هر دو کشت، سه اکوتیپ گلستان، بروجن و ساری داشتند، درحالی که کمترین عملکرد دانه در هر دو کشت در اکوتیپ‌های تحقیقات البرز، سمیرم، پادنابیده و کامیاران–توانکش بدست آمد. در کاشت اول، زیست‌توده ۴۰ درصد اکوتیپ‌ها بیش از ۵۰۰ گرم در مترمربع بود، در صورتی‌که در کاشت دوم حدود ۲۶ درصد اکوتیپ‌ها بیش از ۵۰۰ گرم در مترمربع زیست‌توده تولید کردند (جدول ۵). با تأخیر در کشت، زیست‌توده تولید شده در اکوتیپ‌های اصفهان یزدآباد، بروجن، تحقیقات البرز، داران، سمیرم، گندمان– کنرک علیا و گلستان به طور معنی‌داری کاهش داشت. بالاترین زیست‌تودهدر هر دو تاریخ کاشت در اکوتیپ‌های داران، بروجن، یاسوج–مرکزی و گلستان بدست آمد (جدول ۵)، در صورتی‌که کمترین زیست‌تودهدر دو اکوتیپ سمیرم–پادنابیده و کامیاران–توانکش مشاهده شد (جدول ۵).

نتایج آزمایش مزرعه ای نشان داد هرچند درصد بقاء در اکوتیپ‌های مورد مطالعه در کاشت دوم بالاتر از اول بود، اما صفات مرتبط با عملکرد در شرایط کشت اول نسبت به کشت دوم برتری داشت. به نظر می‌رسد که یکی از عوامل مؤثر در بهبود عملکرد و صفات مرتبط با آن طول دوره رشد است و در این بین، افزایش طول دوره رشد رویشی در گیاهان به سبب توسعه ساختارهای فتوسنتزی و ریشه، قابلیت گیاه را برای عملکرد بالاتر فراهم ساخته است (Coventry et al., 2003; Seghatoleslami&Ahmadi Bonakdar, 2010; Coventry et al., 2003; Dokuyucu& and Akkaya, 2004; Siddique et al., 2002).

جدول ٤- مقایسه میانگین تعداد روز سبزشدن تا گلدهی و گلدهی تا رسیدگی، کل دوره رشد و ارتفاع بوته اکوتیپ‌های فتان بلند در شرایط مزرعه‌ای در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲

Table 4- Mean comparisons for number of days from emergence to flowering stage, and flowering to maturity stage, total growth length and plant height of tall fescue ecotypes under field conditions during the growing season of 2013-2014

اکوتیپ Ecotype	تعداد روز از سبز شدن تا گلدهی Number of days from emergence to flowering stage	تعداد روز از گلدهی تا رسیدگی Number of days from flowering to maturity stage	کل دوره رشد (روز) Total growth length (day)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر) Plant height (cm)
اصفهان- یزدآباد Isfahan- Yazdabad	144	70	254	72.7
اصفهان- ایستگاه فزوه۱۳۷۵ Isfahan- Fazveh Station 1996	145	71	256	70.2
اصفهان- ایستگاه فزوه ۱۳۷۸ Isfahan- Fazveh Station 1998	142	67	248	59.7
اصفهان- یزدآباد Isfahan- Yazdabad	144	71	254	61.0
بجنورد Bojnord	137	68	248	57.3
بروجن Boroojen	137	75	251	55.2
تحقیقات البرز Tahghighate Alborz	138	60	249	7.8
داران Daran	133	70	244	60.0
داران- ایستگاه قهیز Daran- Ghajghiz Statio	143	60	249	52.5
داران- دامنه Daran- Damaneh	134	75	250	85.0
سمیرم Semirom	152	70	262	81.3
ساری Sari	149	56	246	75.3
سمیرم-پادنا Semirom-Padna	148	63	251	75.3
سمیرم-پادنا بیده Semirom-Padna Bideh	93	46	177	48.7
قوچان-سید آباد Qoochan- Seyyedabad	141	77	257	85.3
کامیاران- توانکش Kamyaran- Tavankesh	115	55	212	23.8
گلستان Golestan	148	71	257	81.8
گندمان- کنرک علیا Gandoman- Konarak Olya	143	63	255	49.0
گندمان- نصیرآباد Gandoman- Nassirabad	141	60	247	80.0
گندمان-سناجان Gandoman- Senajan	137	71	254	67.0
گنبد-جنگل قرق Gonbad- Ghorogh forest	152	62	252	51.8
مشهد Mashhad	148	67	255	60.2
یاسوج- مرکزی Yasouj- Markazi	140	63	251	42.3
LSD (0.05)*	23	12	38	12.5

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل اکوتیپ و تاریخ کاشت بر عملکرداکوتیپهای فتان بلند در شرایط مزرعه ای در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲

Table 5- Mean comparisons for the interaction effects of ecotype and planting date on yield of tall fescue ecotypes under field conditions during the growing season of 2013-2014

اکوتیپ **Ecotype**	عملکرد دانه (گرم در متر مربع) **Seed yield ($g.m^{-2}$)**		زیست توده (گرم در متر مربع) **Biological yield ($g.m^{-2}$)**	
	۱۵ مهر **October 8**	۱۵ آبان **November 7**	۱۵ مهر **October 8**	۱۵ آبان **November 7**
اصفهان- یزدآباد Isfahan- Yazdabad	4.53	3.67	376	346
اصفهان- ایستگاه فزوه۱۳۷۵ Isfahan- Fazveh Station 1996	24.17	20.89	427	390
اصفهان- ایستگاه فزوه ۱۳۷۸ Isfahan- Fazveh Station 1998	2.70	2.07	381	281
اصفهان- یزدآباد Isfahan- Yazdabad	8.67	7.27	621	500
بجنورد Bojnord	4.30	1.40	383	488
بروجن Boroojen	118.70	51.13	706	539
تحقیقات البرز Tahghighate Alborz	0.10	0.17	147	50
داران Daran	39.93	32.57	626	484
داران- ایستگاه قهیز Daran- Ghajghiz Statio	5.67	4.17	400	332
داران- دامنه Daran- Damaneh	24.60	20.30	415	348
سمیرم Semirom	71.93	58.8	576	765
ساری Sari	7.20	1.03	554	446
سمیرم-پادنا Semirom-Padna	4.43	3.13	428	394
سمیرم-پادنا بیده Semirom-Padna Bideh	0.93	0.07	42	16
قوچان-سید آباد Qoochan- Seyyedabad	32.33	15.40	468	458
کامیاران- توانکش Kamyaran- Tavankesh	0.30	0.03	24	7
گلستان Golestan	125.60	111.70	1013	515
گندمان- کنرک علیا Gandoman- Konarak Olya	6.90	2.30	523	298
گندمان- نصیرآباد Gandoman- Nassirabad	4.90	1.77	499	438
گندمان-سناجان Gandoman- Senajan	14.33	4.73	473	409
گنبد-جنگل قرق Gonbad- Ghorogh forest	13.63	18.87	743	694
مشهد Mashhad	33.67	20.97	346	346
یاسوج- مرکزی Yasouj- Markazi	5.60	4.03	620	708
LSD (0.05)*	3.62		72	

همچنین، به نظر می‌رسد که کاهش تعداد بوته در واحد سطح در کشت اول نسبت به دوم در اثر مواجه با سرما توسط تولید بوته‌های بزرگتر هم به سبب افزایش طول دوره رشد و هم فضای بیشتر برای توسعه پنچه‌های بارور در تک بوته‌ها، افزایش عملکرد فتان بلند را در پی داشته است.

البته باید در نظر داشت که درصد بقاء بوته یکی از عوامل مؤثر بر عملکرد دانه و زیست‌توده اکوتیپ‌های فتان بلند بود. این شاخص عامل اصلی کاهش شدید عملکرد دانه و زیست‌توده در دو اکوتیپ سمیرم–پادنا بیده و کامیاران– توانکش بود. علاوه بر آن، کمترین طول دوره زایشی و کل فصل رشد نیز در دو اکوتیپ مزبور بدست آمد. از اینرو، می‌توان دریافت که کوتاه بودن دوره زایشی و کل فصل رشد در کاهش عملکرد دانه و زیست‌توده آنها دخیل بوده است. به نظر می‌رسد کوتاه بودن طول دوره رشد رویشی اکوتیپ‌های سمیرم–پادنا بیده و کامیاران– توانکش، بر ارتفاع آنها نیز اثرگذار بوده و از این نظر، سبب شده تا در مقایسه با سایر اکوتیپ‌ها کاهش چشمگیری نشان دهد. با توجه به نتایج آزمایش مزرعه ای، به نظر می‌رسد که درصد بقاء بالا در اکوتیپ گلستان یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر عملکرد آن در مقایسه با سایر اکوتیپ‌های مورد بررسی بود و علاوه بر آن، طول دوره رشد رویشی و کل فصل رشد طولانی نیز در این تغییرات در اکوتیپ مزبور دخیل بوده است.

شرایط کنترل شده

اثر متقابل تاریخ کاشت و اکوتیپ بر درصد بقاء، سطح سبز و وزن خشک فتان بلند در شرایط کنترل شده معنی‌دار (p≤۰/۰۵) بود. با تأخیر در کشت درصد بقاء در اغلب اکوتیپ‌های مورد بررسی به طور معنی‌داری افزایش یافت. در کاشت ۱۵ مهر درصد بقاء دو اکوتیپ ۵۰ یا بالاتر از ۵۰ درصد بود، در صورتیکه در کاشت ۱۵ آبان شش اکوتیپ بیش از ۵۰ درصد بقاء داشتند .اکوتیپ‌های گلستان، اصفهان– ایستگاه فزوه ۱۳۷۵ و دارانبیشترین تحمل به یخزدگی را در هر دو کشت نشان دادند و کمترین درصد بقاء در هر دو کشت در اکوتیپ‌های کامیاران–توانکش، سمیرم–پادنا بیده، سمیرم–پادنا و تحقیقات البرز مشاهده شد (جدول ۶). مشابه نتایج بدست آمده در این آزمایش، نتایج مطالعات صورت گرفته بر روی تحمل به یخزدگی در یونجه یکساله (Thapa et al., 2008) و شبدر گل سرخی (*Trifolium pratense*) (Eugenia et al., 2003) نیز نشان دهنده آن بود که گیاهانی که پیش از اعمال تنش یخزدگی از مرحله رشدی بالاتری برخوردار بودند؛ علیرغم این که در مدت زمان بیشتری در شرایط طبیعی قرار گرفته و خوسرمایی بالاتری داشتند اما از درصد نشت بالاتر و بقای کمتری برخوردار بودند. از اینرو، می‌توان عنوان داشت که در مواجه با یخزدگی، تاریخ کشت و به دنبال آن اندازه گیاهان بسیار تعیینکننده بوده و در تاریخ‌های کشت تأخیری به دلیل قرار گیری در مرحله فنولوژیکی پایین‌تر از خسارت یخزدگی به میزان قابل توجهی کاسته شده است.

در تاریخ کاشت اول، ۲۲ درصد از اکوتیپ فتان بلند سطح سبزی بیشتر از ۳۰ سانتیمتر مربع داشتند، در صورتی‌که با تأخیر در کشت، سطح سبز تنها ۱۳ درصد از اکوتیپ‌ها بیش از ۳۰ سانتیمتر مربع بود. تأخیر در کاشت سبب کاهش معنی‌دار سطح سبز (به جز اکوتیپ‌های سمیرم–پادنا بیده و کامیاران–توانکش) شد (جدول ۶). یافته‌های محققان نشان داد که تأخیر در کشت سبب کاهش سطح سبز گیاه می‌گردد (Coventry et al., 2003; Soheyli et al., 2010).

تأخیر در کاشت سبب کاهش وزن خشک اکوتیپهای فتان بلند در ۵۲ درصد اکوتیپ‌ها شد (جدول ۶). در تاریخ کاشت اول، وزن خشک ۷۰ درصد از اکوتیپ‌ها بیش از ۱۰۰ میلیگرم بود، در صورتیکه در کاشت دوم تنها ۴۸ درصد اکوتیپ‌ها بیش از ۱۰۰ میلیگرم وزن خشک داشتند (جدول ۶). کمترین وزن خشک بوته در کاشت اول در اکوتیپ‌های تحقیقات البرز، سمیرم–پادنا، سمیرم–پادنا بیده و کامیاران توانکش دیده شد و بیشترین آن در اکوتیپ‌های اصفهان–ایستگاه قزوه ۱۳۷۵، بروجن، داران، داران–دامنه، گندمان–سناجان، مشهد، ساری، گلستان و قوچان–سیدآباد بدست آمد (جدول ۷). (Farhad et al.,2015) نیز با بررسی اکوتیپ‌های شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) دریافتند که با تأخیر در کشت از ۲۱ آذر به ۱۱ دی ماه وزن خشک اندامهای هوایی کاهش یافت و از این نظر بین اکوتیپ‌های مورد بررسی اختلاف وجود داشت.

در شرایط مزرعه، زمان تا سبز شدن، درصد بقاء، وزن خشک، عملکرد دانه و زیست‌توده اکوتیپ‌ها فتان بلند تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار گرفت. دوره زایشی، کل فصل رشد و ارتفاع بوته نیز بسته به اکوتیپ‌های مورد بررسی متفاوت بود. هرچند در اکثر اکوتیپ‌های مورد بررسی روز تا سبزشدن، عملکرد دانه و زیست‌توده درکشت اول بالاتر از کشت دوم بود، اما درصد بقاء اغلب اکوتیپ‌ها در کشت دوم بیشتر از کشت اول بود. درشرایط کنترل‌شده نیز علیرغم کاهش معنی‌دار سطح سبز و وزن خشک تمامی اکوتیپ‌های فتان بلند در کشت دوم نسبت به کشت اول، درصد بقاء بوته‌ها با تأخیر در کشت به طور معنی‌داری در تمامی اکوتیپ‌ها بالاتر از آن در کشت اول بود که از این نظر مشابه با نتایج مزرعه ای بود.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل اکوتیپ و تاریخ کاشت بر درصد بقا، سطح برگ و وزن خشک بوته اکوتیپهای فتان بلند در شرایط کنترل شده در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲

Table 6- Mean comparisons for the interaction effects of ecotype and planting date on survival percentage, leaf area and plant dry weight of tall fescue ecotypes under control conditions during the growing season of 2013-2014

اکوتیپ Ecotype	بقاء (٪) Survival (%)		سطح برگ (سانتیمتر مربع) Leaf area (cm^2)		وزن خشک بوته (میلیگرم) Dry weight of plant (mg)	
	۱۵ مهر October 8	۱۵ آبان November 7	۱۵ مهر October 8	۱۵ آبان November 7	۱۵ مهر October 8	۱۵ آبان November 7
اصفهان- یزدآباد Isfahan- Yazdabad	28.2	31.0	20.7	14.2	96	69
اصفهان- ایستگاه فزوه۱۳۷۵ Isfahan- Fazveh Station 1996	50.0	63.3	31.4	25.1	188	143
اصفهان- ایستگاه فزوه ۱۳۷۸ Isfahan- Fazveh Station 1998	34.5	38.2	16.4	12.1	93	65
اصفهان- یزدآباد Isfahan- Yazdabad	31.0	33.8	19.9	14.6	156	221
بجنورد Bojnord	29.2	33.8	12.2	9.0	91	67
بروجن Boroojen	48.5	56.3	52.5	42.6	331	290
تحقیقات البرز Tahghighate Alborz	25.0	25.0	5.4	4.1	32	22
داران Daran	46.7	62.3	40.2	29.6	268	184
داران- ایستگاه قهیز Daran- Ghajghiz Statio	32.0	35.0	15.4	11.9	107	77
داران- دامنه Daran- Damaneh	44.4	50.9	30.0	22.0	258	178
سمیرم Semirom	46.5	51.6	52.4	39.2	342	242
ساری Sari	33.2	36.0	23.3	18.4	120	98
سمیرم-پادنا Semirom-Padna	25.0	25.0	12.0	8.9	74	52
سمیرم-پادنا بیده Semirom-Padna Bideh	25.0	25.0	2.0	1.5	8	59
قوچان-سید آباد Qoochan- Seyyedabad	45.5	48.8	41.3	31.5	120	135
کامیاران- توانکش Kamyaran- Tavankesh	25.0	25.0	1.8	1.4	3	22
گلستان Golestan	54.2	61.6	48.8	36.7	338	243
گندمان- کنرک علیا Gandoman- Konarak Olya	31.5	35.0	13.6	10.2	120	70
گندمان- نصیرآباد Gandoman- Nassirabad	32.7	35.0	14.2	10.8	133	83
گندمان-سناجان Gandoman- Senajan	43.8	48.3	24.9	18.9	159	113
گنبد-جنگل قرق Gonbad- Ghorogh forest	37.7	39.4	24.9	18.7	215	150
مشهد Mashhad	45.0	49.7	31.5	23.5	172	119
یاسوج- مرکزی Yasouj- Markazi	34.4	36.1	19.8	14.8	164	94
LSD (0.05)*	1.7		0.9		42	

نتیجه گیری

به طور کلی نتایج این مطالعه روی ارزیابی تحمل به سرما در اکوتیپهای فتان بلند در شرایط مزرعه و کنترل‌شده نشان داد که در هر دو شرایط مزرعه و کنترل‌شده اکوتیپ‌های اصفهان–ایستگاه قزوه ۱۳۷۵، بروجن، داران، داران–دامنه، گندمان–سناجان، مشهد، ساری، گلستان و قوچان–سیدآباد از نظر درصد بقاء، وزن خشک و عملکرد نسبت به سایر اکوتیپ‌ها دارای برتری معنی‌داری بودند و به نظر می‌رسد که نیاز است مطالعات بیشتری در خصوص تحمل این گونه ارزشمند در واکنش به سرما انجام شود.

منابع

Alizadeh, M.A. 2010. Evaluation of seed germination characteristics and seedling growth on five ecotypes of (*Festuca arundinacea*) in response to cold treatment. Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research 18(1): 133-142. (In Persian with English Summary)

Azizi, H., Nezami, A., Nassiri Mahallati, M., and Hamidreza Khazai, H.R. 2007. Evaluation of cold tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 5(1): 5-11. (In Persian with English Summary)

Cardona, C.A., Duncan, R.R., and Lindstorm, O. 1997. Low temperature tolerance assessment in *Paspalum*. Crop Science 37: 1283-1291.

Coventry, D.R., Reeves, T.G., Brooke, H.D., and Cann, K. 2003. Influence of genotype, sowing date, and seeding rate on wheat development and yield. Australian Journal of Experimental Agriculture 33: 751-757.

Dokuyucu, T., and Akkaya, A. 2004. The effect of different sowing dates on growing periods, yield and yieldcomponents of some bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars grown in the east-Mediterranean region ofTurkey. Journal of Agronomy 3(2): 126-130.

Ebrahimian, M., Majidi, M.M., and Mirlohi, A.F. 2012. Clonal evaluation and estimation of genetic similarity of tall fescue genotypes (*Festuca arundinacea* Schreb.). Journal of Plant Production 19(3): 2012 14-27. (In Persian with English Summary)

Eugenia, M., Nunes, S., and Ray Smith, G. 2003. Electrolyte leakage assay capable of quantifying freezing resistance in rose clover. Crop Science 43: 1349–1357.

Farhad, I.S.M., Bhowmik, S.K., and Amir Faisal, A.H.M. 2015. Effect of variety and planting time on the productivity of fenugreek in coastal area. World Journal of Agricultural Sciences 11(3): 164-168.

Grace, M.P., Anderson, N.O., and Li, P.H., 2009. Cold tolerance and short day acclimation perennial *Guara coccinea* and *G. drummondii*. Scientia Horticulturae 120: 418-425.

Kafi, M., Borzoee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., and Nabati, J. 2009. Physiology of Environmental Stresses in Plants. Jihad-e Daneshgahi of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian)

Kheirkhah,T., Nezami, A., Kafi, M., and Asadi, G.A., 2015. Evaluation of cold tolerance in field grown mentha (*Mentha piperita* (.L under .conditions laboratoryIranian Journal of Field Crops Research 13(2): 269-277. (In Persian with English Summary)

Larsen, R.J. 2013. Understanding the basics of cold tolerance and its basis in agronomic decisions for winter cereals on the Canadian prairies. Prairie Soils and Crops Journal 6: 87-98.

Li, W., Wang, R., Li, M., Li, L., Wang, C., Welti, R., and Wang, X. 2008. Differential degradation of extraplastidic and plastidic lipids during freezing and post-freezing recovery in *Arabidopsis thaliana*. Biological Chemistry 283: 461–468.

Majidi, M.M. 2010. Evaluation of seed yield and yield components in Iranian landraces and foreign varieties of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). Iranian Journal of Field Crop Science 41(1): 32-47. (In Persian with English Summary)

Maletic, R., and Jevdjovic, R. 2007. Sowing date- the factor of yield and quality of fenugreek seed (*Trigonella foenum-gracum* L.). Journal of Agricultural Sciences, Belgrade 52(1): 1-8.

Nayyar, H., Bains, T.S., and Kumar, S. 2005. Chilling stressed chickpea seedlings: effect of cold acclimation, calcium and abscisic acid on cryoprotective solutes and oxidative damage. Environmental and Experimental Botany 54: 275-285.

Nezami, A., and Bagheri, A.R. 2005. Responsiveness of cold tolerant chickpea characteristics in fall and spring planting: I- Phenology and morphology. Iranian Journal of Field Crops Research 3(1): 43-55. (In Persian with English Summary)

Nezami, A., Bandara, M., and Gusta, L. 2012. An evaluation of freezing tolerance of winter chickpea (*Cicer arietinum* L.) using controlled freeze tests. Canadian Journal of Plant Science 92: 155-161.

Seghatoleslami, M.J., and Ahmadi Bonakdar, K. 2010. The effect of sowing date and plant density on yield and yield components of fenugreek (*Trigonella foenum-gracum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 26(2): 265-274. (In Persian with English Summary)

Siddique, A.B., Wright, D., and Mahbub Ali, S.M., 2002. Effects of sowing dates on the phenology, seed yield and yield components of peas. Journal of Biological Science 2(5): 300-303.

Soheyli, R., Nezami, A., Khazaie, H.R., and Nassiri Mahallati, M., 2010. Effects of planting dates on yield and yield components of four cumin (*Cuminum cyminum* L.) landraces. Iranian Journal of Field Crops Research 8(5): 772-783. (In Persian with English Summary)

Thapa, B., Arora, R., Knapp, A., and Brummer, E.C. 2008. Applying freezing test to quantify cold acclimation in *Medicago truncatula*. Horticultural Science 133(5): 684–691.

Xuan, J., Liu, J., Gao, H., Huaguabghu, H., and Cheng, X. 2009. Evaluation of low-temperature tolerance of Zoysia grass. Tropical Grasslands 43: 118–124.

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.1, Spring 2019, p. 349-364

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۳۶۴-۳۴۹

Study on cold tolerance of tall fescue (*Festuca arundinacea* L.) ecotypes under field and controlled conditions

A. Soltan Ahmadi[1], A. Nezami[2]*, M. Kafi[2] and H. R. Khazae[2]

Submitted: 01-06-2018
Accepted: 28-08-2018

Soltan Ahmadi, A., Nezami, A., Kafi, M and Khazae, H.R. 2019 **.** Study on cold tolerance of tall fescue (*Festuca arundinacea* L.) ecotypes under field and controlled conditions. Journal of Agroecology. 11(1):349-364.

Introduction

Tall festuca (*Festuca arundinacea*) belongs to Poaceae family and is a cool-season perennial plant native to Europe. Festuca species are broadly adapted to different climate conditions. To date, 9 different species of Festuca have been identified in Iran. These species are growing naturally in different regions of Iran such as Golestan, Mazandaran, Lorestan, Khorasan, Fars, Isfahan, Karaj, Dorood, Damaneh, Alvand and Firoozkooh. Festuca reduces soil erosion due to its fibrous, thick and deep roots. Such roots reduce soil density and improve soil structure and reduce soil erosion, and thus, this plant plays a crucial role in reducing water and wind erosion. Tall fescue is a long-lived perennial species with medium to large leaves. The plant is grown as turf and is considered as an important animal fodder, thus is widely grown in pastures and grasslands. Tall festuca is among the 27 identified species of festuca in Iran. The species is well spread across Iran and has a high potential for growth and production in pastures or mountainous areas, especially in the central, western and northern regions of the country. Tall festuca is a perennial plant, so it is often exposed to cold and freezing stress. Therefore, the successful production of this plant requires the use of cold-tolerant varieties. According to previous studies, although tall festuca has good tolerance to a wide range of environmental stresses (cold and drought), different ecotypes show different cold tolerance, accordingly further studies on growth characteristics and cold tolerance of this plant is necessary, especially in winter type varieties.

Materials and methods

The field experiment was carried out in Parks and Green Space Organization, Mashhad Municipality located in the Islamic Republic of Iran Blvd., and Crop Physiology Laboratory, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran in 2013- 2014. The experimental design was a randomized complete block design arranged in a split plot with three replicates. In order to expose the tall festuca plants to winter cold stress, 23 ecotypes were sown on the 7th of October and 6th of November. Dimensions of each plot were 100 × 150 cm and after seed sowing, seeds were covered with composted cattle manure and then irrigated. After emerging the seedlings, the plots were thinned to reach final plant density of 400 plants per square meter. Weeds were manually controlled and irrigation was carried out according to the need of the plants. The data were analyzed using MSTAT-C. The comparison of means was performed through the LSD test at 5% probability level.

Results and discussion

The results showed that the effects of sowing date and ecotype were significant on a number of days until emergence, survival percentage, plant dry weight, seed yield, and total dry weight. The phenological investigations and plant height measurement indicated that there was a genetic difference between the ecotypes. In all studied ecotypes, the survival percentage in the second sowing date was higher than that in the first sowing date. However, a number of days until emergence, plant dry weight, seed yield and total dry weight in the first sowing date were found to be higher in comparison to tens second sowing date. In addition, among the studied ecotypes, the highest traits stability with an emphasis on survival percentage and yield components were observed in Isfahan, Boroujen, Daran, Daran-Damaneh, Gandoman, Sanaajan, Mashhad, Sari, Golestan, and Quchan-Seyyed Abad ecotypes. Therefore, these ecotypes were selected as genetic reserves for future studies.

1 and 2- PhD Student in Plant Physiology and Professor, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.

Conclusion

In general, the effect of sowing date and ecotype was significant on most of the studied traits such as a number of days until seedling emergence, survival percentage, plant dry weight, seed yield, and total dry weight. In addition, in phenology related traits such as a number of days from flowering to maturity, total growing period length and plant height genetic difference between ecotypes was investigated. Although in most of the traits such as a number of days until seedlings emergence, plant dry weight, seed yield, and total dry weight, the obtained values were higher in the first sowing date compared with the second sowing date, survival percentage showed unlike results so that late sowing increased this index.

Keywords: Plant height, Sowing date, Survival Percentage, Seed yield, Phenological Stages.

Contents

Effects of Plant Density and Leaf Spraying on Growth, Yield and Yield Components of Flixweed (*Descurainia sophia* L.) as a Medicinal Plant 14
A. Mollafilabi and M.R. Gazikinejad

Effects of Leaf Spraying with Different Concentrations of Aa_{40} and Humus-S Biofertilizers on Flower Yield and Corm Yield of Saffron (*Crocus sativus* L.) 30
R. Sadrabadi Haghighi, H. Sheykh Jonbdovaz and A. Mollafilabi

Economic Evaluation of Crop Rotations in Conservation Agriculture System in Temperate-cold Climatic Zone of Mashhad 50
Sh. Zare and A.A. Moayyedi

Evaluation of energy indices and its impact on global warming potential for potato production: a case study, Golestan province 67
M.T.Feiz Bakhsh, M.A. Dori and N. Rezvan Talab

Evaluation of quantitative and qualitative yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) in intercropping affected by biological and chemical fertilizers in supplemental irrigation condition 84
E. Rezaei-Chiyaneh, Y. Rasouli, J. Jalilian and M. Ghodsi

Evaluation of nitrogen uptake and use efficiency in wheat cultivars *(Triticum aestivum* L.) under Kermanshah weather conditions 101
F. Mondani, A. Bozorgi Hossein Abad, M. Saeedi, A. Bagheri and H. Heidari

Estimation of Carbon Sequestration in Iran Agroecosystems using Empirical Models 121
E. Boroumand Rezazadeh, A. Koocheki, P. Rezvani Moghaddam, M. Nassiri Mahallati and A. Lakzian

Investigation of Growth Indices, Grain yield and Yield Components of Canary seed (*Phalaris canariensis*) in Response to the Different Levels of Irrigation, Organic and Chemical Fertilizers 134
V. Varnaseri Ghandali, P. Rezvani Moghaddam and S. Khorramdel

Contribution of Genetic and Agronomic Measures to Yield Gain of Wheat in Iran 152
A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati, A. Amin Ghafori and M. Mahlouji Rad

Evaluation of Long Term changes of Crop Species Diversity in Agro-ecosystems of North, Central (Razavi) and South Khorasan provinces (Iran) 169
M. Nassiri Mahallati, A. Koocheki, A. Ghalehgolabbehbahani, A. Davari, S.S. Moinoddini

Effect of cereals intercropping systems and application of nitrogen fertilizer on nitrogen and micronutrients content of weeds shoot and grain yield 183
F. Faramarzi, M.S. Taghizadeh, A. Behpoori and S. Afzali Harsini

Influence of Drought Stress and Humic Acid on Growth, Yield and Sugar Production of Sugar Beet 197
A. Esmaili and M.R. Tadayon

The Effects of *Piriformospora indica* Inoculation on the Seed Yield, Light Absorption and Radiation Use Efficiency of Soybean (*Glycine max*) Under Water Stress Conditions 214
G. Ahmadvand and S. Hajinia

Determination and zoning of suitable planting date of rainfed wheat in Golestan province based on different levels of occurrence probability of autumn rainfall 229
K. Kaboosi and O. Majidi

Effect of Barley (*Hordeum vulgare* L.) and Persian Clover (*Trifolium respinatum* L.) Intercropping on Forage Quantity 242
R. Nazarian, A.R. Koocheki, M. Nasiri Mahallati and P. Rezvani Moghaddam

Evaluarion of Agrophysiological Indices and Yield Performance in Canola/Chickpea Intercropping 258
J. Hamzei and R. Davoudian

The effect of planting date and late season drought stress on Eco-physiological characteristics of the new varieties of Canola (*Brassica napus* L.) 275
P. Nazeri, A.H. Shirani Rad, S.A. Valad Abadi, M. Mirakhori, and E. Hadidi Masoule

Evaluation of Potential Yield and Yield Gap Associated with Crop Management in Improved Rice Cultivars in Neka Region 293
rjizad, A. Soltani, S. Dastan and H. Ajamnoroozi

Effect of nutrient management on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) influenced by different tillage systems 306
E. Mohammadi, H.R. Asghari, A. Gholami and S. Khorramdel

Effects of bio-regulators on morphological and physiological traits and essential oil of *Ammi visnaga* (L.) Lam 319
D. Rasouli, R. Mohammadpour Vashvaei and B.A. Fakheri
Determination of appropriate model for yield gap analysis of rice in Guilan Province using boundary line analysis method 333
N. Aghaeipour, H. Pirdashti, M. Zavareh, H. Asadi and M.A. Bahmanyar
Evaluation of Ecological and Morphological Traits and Essential Oil Productivity of *Mentha longifolia* L. in Fars and Khorasan Razavi Provinces 346
Z. Hosseini, H. Feizi, S. Vatandoost Jertoodeh and M. Alipanah
Study on cold tolerance of tall fescue (*Festuca arundinacea* L.) ecotypes under field and controlled conditions 363
A. Soltan Ahmadi, A. Nezami, M. Kafi and H. R. Khazae