



عنوان مقالات

- ارزیابی نقش مدیریت تلفیقی کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک بر عملکرد گیاه دارویی ختمی (*Althea officinalis L.*) ۶۰۳
سرور خرم‌دل، پرویز رضوانی مقدم، هما عزیزی، جواد شهابنگ و محمد سیدی
- تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و تلقیح میکروبی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی شوید (*Anethum graveolens L.*) ۶۲۱
سیده سعیده زنده باده، پرویز رضوانی مقدم، رضا قربانی و رضا خراسانی
- پرسی اثر دامنه وسیع وزن بنه بر رشد و گلدهی زعفران (*Crocus sativus L.*) ۶۳۵
علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی، عبدالله ملاقلیابی و علی نوروزیان
- بهبه‌سازی مصرف کود در گندم (*Triticum aestivum L.*) با استفاده از شاخص تغذیه نیتروژن ۶۴۷
مهدی نصیری محلاتی و علیرضا کوچکی
- بررسی خصوصیات علوفه‌ای کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare L.*) با خلر (*Lathyrus sativus L.*)، نخود علوفه‌ای (*Pisum avestum L.*)، ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa L.*) و ماشک مجاری (*Vicia paninica L.*) تحت تأثیر تراکم کاشت در شرایط دیم ۶۶۵
سرحد بهرامی و وریا ویسائی
- کاربرد نهاده‌های بوم‌سازگار در زراعت گاوآهن ایرانی (*Echium amoenum Fisch. & Mey.*) در شرایط مشهد ۶۷۹
محمد بهزاد امیری، پرویز رضوانی مقدم و محسن جهان
- ارزیابی کارایی مصرف نیتروژن در نظام‌های زراعی تولید گندم (*Triticum aestivum L.*) ۶۹۹
حمیدرضا توکلی کاشکی، مهدی نصیری محلاتی، علیرضا کوچکی، محسن جهان و علیرضا بهشتی
- تأثیر اندازه و عمق جایگذاری بقایای گیاهی بر دینامیک کربن و نیتروژن آلی ۷۱۹
وحیده صافی، احمد گلچین و سعید ششعی
- بهبه‌بندی آکروکلیماتیک کاشت نخود (*Cicer arietinum L.*) با روش AHP در محیط GIS مورد مطالعه: استان اردبیل ۷۳۳
بهروز سبحانی و یوسف حسن زاده
- بررسی اثرات پرایمینگ و تنش کم آبی بر رشد و عملکرد آفتابگردان آجیلی (*Helianthus annuus L.*) ۷۴۷
امیررضا صادقی بختوری، بهمن پاسبان اسلام و نسترن حاجی‌زاده اصل
- تأثیر جمعیت علف‌هرز تاج‌خروس (*Amaranthus retroflexus L.*) بر عملکرد روغن و ترکیب اسیدهای چرب دانه کرچک (*Ricinus communis L.*) ۷۶۵
علیرضا پیرزاد، ناصر جعفرزاده، هاشم هادی و رامین ملکی
- ارزیابی امکان شاد کاری آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*) در شرایط آب و هوایی کرمانشاه ۷۶۵
ژاله زارعی، حسن حیدری، ایرج نصرتی و محمود خرمی‌وفا
- ارزیابی تأثیر سامانه‌های کشت مخلوط ارقام گندم (*Triticum aestivum L.*) بر جمعیت، زیست‌توده، محتوای عناصر غذایی کم‌مصرف علف‌های هرز و عملکرد محصول ۷۸۹
سحر افضلی هرستنی، محمد صادق تقی زاده، علی بهپوری و فرزانه فرامرزی
- اثر نوع حاصلخیزکننده خاک و کشت مخلوط شنبلله (*Trigonella foenum-graecum L.*) و اسفرزه (*Plantago psyllium L.*) بر شاخص‌های رشد گیاه اسفرزه با استفاده از روش تجزیه عامل ۸۰۵
سهیلا قاسمی مهام، سیف‌اله فلاح و امیر دادرسی

Contents

- Evaluation of the Integrated Effect of Organic, Chemical and Biological Fertilizers on Yield of Marshmallow (*Althea officinalis L.*) as a Medicinal Plant 618
S. Khorramdel, P. Rezvani Moghaddam, H. Azizi, J. Shabahang and M. Seyedi
- Effects of Organic, Chemical Fertilizers and Mycorrhizae Inoculation on Yield and Yield Components of Dill (*Anethum graveolens L.*) in Different Cuttings 633
S.S. Zendeabad, P. Rezvani Moghaddam, R. Ghorbani and R. Khorasani
- Effects of Extensive Range of Corm Weights on Saffron (*Crocus sativus L.*) Growth and Flowering 646
A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati, A. Mollafilabi and A. Noroozian
- Optimizing Fertiliser Application Rates in Wheat using Nitrogen Nutrition Index 663
M. Nassiri Mahallati and A. Koocheki
- Evaluation of the Integrated Effect of Organic, Chemical and Biological Fertilizers on Yield of Marshmallow (*Althea officinalis L.*) as a Medicinal Plant 677
S. Bahrami and W. Weisany
- Application of Eco-Friendly Inputs on Cultivation of Iranian Ox-Tongue (*Echium amoenum Fisch. & Mey.*) in Conditions of Mashhad 697
M.B. Amiri, P. Rezvani Moghaddam and M. Jahan
- Evaluation of Nitrogen Use Efficiency in Wheat (*Triticum aestivum L.*) eat Cropping Systems of Iran 717
H.R. Tavakkoli Kakhki, M. Nassiri Mahallati, A. Koocheki, M. Jahan and A. Beheshti
- Effects of Size and Placement Depth of Plant Residues on Organic Carbon and Nitrogen Dynamics 731
V. Safi, A. Golehin and S. Shafiei
- Zoning Agroclimatic Chickpea in the GIS Environment Case Study: Ardebil Province 731
B. Sobhani and Y. Hasanzadeh
- Studying of Seed Priming and Water Stress Effects on Growth and Yield of Sunflower Nuts (*Helianthus annuus L.*) 762
A.R. Sadeghi Bakhtevari, B. Paseban Eslam and N. Hajizadeh Asl
- The Impact of Pigweed (*Amaranthus retroflexus L.*) Population on Oil Yield and Fatty Acid Composition of Castor Bean (*Ricinus communis L.*) 773
A. Pirzad, N. Jafarzadeh, H. Hadi, and R. Maleki
- Evaluating Possibility of Sunflower (*Helianthus annuus L.*) Transplanting in Kermanshah Climate 786
Z. Zarei, H. Heidari, I. Nosrati and M. Khoramivafa
- Evaluation the Effects of Wheat (*Triticum aestivum L.*) Cultivars Intercropping Systems on Population, Biomass, Micronutrients Content of Weeds and Crop Yield 786
S. Afzalibarsini, S. Taghizadeh, A. Behpoori and F. Faramarzi
- Effect of Fertilizer Type and Intercropping of Trigonella (*Trigonella foenum-graecum*) and Psyllium (*Plantago psyllium*) on Growth Index of Psyllium using Factor Analysis 821
S. Ghasemi Maham, S. Fallah and A. Dadrasi

نشریه بوم‌شناسی 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

جلد ۱۰ شماره ۳ تابستان ۱۳۹۷

صاحب امتیاز و ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

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

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

اعضای هیئت تحریریه (به ترتیب 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 رضوانی مقدم، 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 نگراس 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 نصیری‌محللاتی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

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

چاپ: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

شمارگان: ۱۰ نسخه

نشانی: مشهد، میدان آزادی، پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، دبیرخانه نشریات علمی، دفتر نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، صندوق

پستی: ۹۱۷۷۵-۱۱۶۳

نمابر: ۰۵۱-۳۸۷۸۷۴۳۰

تلفن: ۰۵۱-۳۸۸۰۴۶۵۴

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)

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

مندرجات

- ۶۰۳ ارزیابی نقش مدیریت تلفیقی کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک بر عملکرد گیاه دارویی ختمی (*Althea officinalis* L.)
سرور خرم‌دل، پرویز رضوانی مقدم، هما عزیزی، جواد شباهنگ و محمد سیدی
- ۶۲۱ تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و تلقیح میکوریزایی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی شوید (*Anethum graveolens* L.)
سیده سعیده زنده باد، پرویز رضوانی مقدم، رضا قربانی و رضا خراسانی
- ۶۳۵ بررسی اثر دامنه وسیع وزن بنه بر رشد و گلدهی زعفران (*Crocus sativus* L.)
علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی، عبدالله ملافیلابی و علی نوروزیان
- ۶۴۷ بهینه‌سازی مصرف کود در گندم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از شاخص تغذیه نیتروژن
مهدی نصیری محلاتی و علیرضا کوچکی
- ۶۶۵ بررسی خصوصیات علوفه‌ای کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) با خلر (*Lathyrus sativus* L.)، نخود علوفه‌ای (*Pisum avestum* L.)، ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.) و ماشک مجاری (*Vicia paninica* L.) تحت تأثیر تراکم کاشت در شرایط دیم
سرحد بهرامی و وریا ویسانی
- ۶۷۹ کاربرد نهاده‌های بوم‌سازگار در زراعت گاو زبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch. & Mey.) در شرایط مشهد
محمد بهزاد امیری، پرویز رضوانی مقدم و محسن جهان
- ۶۹۹ ارزیابی کارایی مصرف نیتروژن در نظام‌های زراعی تولید گندم (*Triticum aestivum* L.)
حمیدرضا توکلی کاخکی، مهدی نصیری محلاتی، علیرضا کوچکی، محسن جهان و علیرضا بهشتی
- ۷۱۹ تأثیر اندازه و عمق جایگذاری بقایای گیاهی بر دینامیک کربن و نیتروژن آلی
وحیده صفی، احمد گلچین و سعید شفیعی
- ۷۳۳ پهنه‌بندی آگروکلیماتیک کاشت نخود (*Cicer arietinum* L.) با روش AHP در محیط GIS مورد مطالعه: استان اردبیل
بهروز سبحانی و یوسف حسن زاده
- ۷۴۷ بررسی اثرات پرایمینگ و تنش کم‌آبی بر رشد و عملکرد آفتابگردان آجیلی (*Helianthus annuus* L.)
امیررضا صادقی بختوری، بهمن پاسبان اسلام و نسترن حاجی‌زاده اصل
- ۷۶۵ تأثیر جمعیت علف‌هرز تاج‌خروس (*Amaranthus retroflexus* L.) بر عملکرد روغن و ترکیب اسیدهای چرب دانه کرچک (*Ricinus communis* L.)
علیرضا پیرزاد، ناصر جعفرزاده، هاشم هادی و رامین ملکی
- ۷۷۵ ارزیابی امکان نشاء‌کاری آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) در شرایط آب و هوایی کرمانشاه
ژاله زارعی، حسن حیدری، ایرج نصرتی و محمود خرمی‌وفا
- ۷۸۹ ارزیابی تأثیر سامانه‌های کشت مخلوط ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) بر جمعیت، زیست‌توده، محتوای عناصر غذایی کم‌مصرف علف‌های هرز و عملکرد محصول
سحر افضلی هرسینی، محمد صادق تقی زاده، علی بهپوری و فرزانه فرامرزی
- ۸۰۵ اثر نوع حاصلخیزکننده خاک و کشت مخلوط شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) و اسفرزه (*Plantago psyllium* L.) بر شاخص‌های رشد گیاه اسفرزه با استفاده از روش تجزیه عامل
سهیلا قاسمی مهمان، سیف‌اله فلاح و امیر دادرسی

- ۸۲۳ اثر محلول پاشی با عناصر بور و روی بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius L.*) در شرایط محدودیت آب انتهای فصل
سمیه سهیلی موحد، سعید خماری، پریسا شیخ زاده و بهرام علیزاده
- ۸۴۱ بررسی اثر تنش خشکی و عناصر کم مصرف روی و منگنز روی صفات مورفولوژیک و عملکرد گیاه ارزن معمولی (*Panicum miliaceum L.*)
اعظم گیدسکی و رضا برادران
- ۸۵۳ ارزیابی عملکرد، مصرف سوخت و شاخص‌های انرژی در تولید پنبه (*Gossypium hirsutum L.*) در استان گلستان
رضا عارفی، افشین سلطانی و حسین عجم نوروزی
- ۸۷۵ کارایی بوم‌شناختی - اقتصادی تولید یونجه (*Medicago sativa L.*) و ذرت علوفه‌ای (*Zea mays L.*): دشت مراغه - بناب، استان آذربایجان شرقی
آرش محمدزاده، عبدالمجید مهدوی دامغانی، جواد وفابخش و رضا دیهیم‌فرد
- ۸۹۷ کیفیت بذرهای حاصل از گیاهان کتان (*Linum usitatissimum L.*) تلقیح شده با میکروارگانسیم‌های خاکزی در شرایط کم آبی
سعیده رحیم‌زاده و علیرضا پیرزاد
- ۹۱۳ مقایسه شاخص‌های مختلف طیفی پوشش گیاهی برای ارزیابی از دور شاخص سطح برگ گندم (*Triticum aestivum L.*) زمستانه در مشهد
سارا اسدی، محمد بنایان اول، محسن جهان و علیرضا فرید حسینی
- ۹۳۵ اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و تاریخ کاشت بر درصد اسانس، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی زیره سبز (*Cuminum cyminum L.*)
عبداله ملافیلابی و ته‌مینا اسفندیاری

اسامی ارزیابان جلد ۱۰ شماره ۳ (پاییز ۱۳۹۷) نشریه بوم شناسی کشاورزی (به ترتیب الفبا)

دانشگاه زابل	دکتر مهدی سلوکی	دانشگاه صنعتی اصفهان	دکتر پرویز احسان زاده
موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج	دکتر سارا سنجانی	موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند	دکتر مسعود احمدی
دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر سید محمد سیدی	دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر قربانعلی اسدی
مجتمع آموزش عالی تربت جام	دکتر سید فرهاد صابر علی	دانشگاه بیرجند	دکتر سید وحید اسلامی
دانشگاه محقق اردبیلی	دکتر محمد صدقی	دانشگاه محقق اردبیلی	دکتر بهروز اسماعیل پور
دانشگاه آزاد شیروان	دکتر مرتضی عظیم زاده	دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر حجت امامی
دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر امین علیزاده	شرکت صنایع غذایی به آرا	دکتر الهه برومند رضازاده
مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی طرق	دکتر مهدی فراوانی	دانشگاه آزاد اسلامی-واحد شیروان	دکتر مریم تاتاری
مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی طرق	دکتر عباس فلاح طوسی	دانشگاه هرمزگان	دکتر لیلا جعفری
دانشکده کشاورزی شیروان	دکتر محمود قربان زاده	دانشگاه کرج	دکتر محمدرضا جلال کمالی
دانشگاه محقق اردبیلی	دکتر اسماعیل قلی نژاد	دانشگاه تهران	دکتر محمدرضا چائی چی
دانشگاه کرمان	دکتر روح اله مرادی	دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر کمال حاج محمدنیا
دانشگاه رازی کرمانشاه	دکتر فرزاد مندنی	فارغ التحصیل مقطع دکتری دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر متین حقیقی خواه
مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان	دکتر حامد منصوری	دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر سرور خرم دل
مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان	دکتر سید کریم موسوی	تهران - دانشگاه شهید بهشتی - پژوهشکده علوم محیطی	دکتر رضا دیهیم فرد
دانشگاه زابل	دکتر سید محسن موسوی نیک	دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر مهدی راستگو
دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر جعفر نباتی	دانشگاه ملایر	دکتر مجید رستمی
دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر مهدی نصیری محلاتی	دانشگاه ارومیه	دکتر اسماعیل رضائی چپانه
		دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر پرویز رضوانی مقدم
		مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی طرق	دکتر احمد زارع فیض آبادی

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 provide 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 حالی است 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 تدوام 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 تردید 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 کارایی و بهره‌وری 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 بوم‌شناسی کشاورزی هنوز در ابتدای راه موفقیت قرار دارد. هدف دست‌اندرکاران 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



به نام 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 قابل توجه 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 به اصطلاح اکوسیستم (بوم‌نظام) نامیده می‌شود، میسر نخواهد بود و بدین ترتیب 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 نه تنها 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 مجله‌ای علمی تحت عنوان «بوم‌شناسی کشاورزی» بیش از هر زمان دیگر احساس می‌شود. چون نقطه ثقل چنین مجله‌ای «بوم‌شناسی» 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 نهاده‌های خارج از مزرعه
- عملیات زراعی در رابطه با کشت‌های مخلوط و کشت گیاهان پوششی
- عملیات تلفیقی در مدیریت زراعی
- بهره‌برداری از منابع غیر رایج آب و خاک
- استفاده از گیاهان زراعی فراموش شده و جدید
- بهره‌گیری از روابط کمی 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 آنجایی که 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 سانتی متر 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 حداکثر 20 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، نتیجه‌گیری، 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 600-700 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 نتیجه‌گیری 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 پراکنش 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 شکل‌ها:** 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 عنوان‌های جدول در زیر نوشته فارسی آنها درج شوند. محتوای جداول (اعداد) تنها به انگلیسی نوشته شوند. شکلها کاملاً 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 صورتی که 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- کنفرانس‌های 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/SAFEWexecsumfinalreport.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 افزارهای 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، دفتر مجله بوم‌شناسی کشاورزی

صندوق پستی: 91775-1163

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

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

از آنجائیکه نشریه بوم‌شناسی 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.

ارزیابی نقش مدیریت تلفیقی کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک بر عملکرد گیاه دارویی ختمی (*Althea officinalis* L.)

سرور خرم‌دل^{۱*}، پرویز رضوانی مقدم^۲، هما عزیزی^۳، جواد شباهنگ^۴ و محمد سیدی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۹/۱۴

خرم‌دل، س.، رضوانی مقدم، پ.، عزیزی، ه.، شباهنگ، ج.، و سیدی، م. ۱۳۹۷. ارزیابی نقش مدیریت تلفیقی کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک بر عملکرد گیاه دارویی ختمی (*Althea officinalis* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳): ۶۱۹-۶۰۳.

چکیده

این آزمایش با هدف ارزیابی نقش مدیریت تلفیقی کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک بر خصوصیات رشد، عملکرد گل و بذر و اجزای عملکرد گیاه دارویی ختمی (*Althea officinalis* L.)، به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور انواع کود و تلقیح با باکتری تیوباسیلوس با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ به اجرا درآمد. فاکتور کود در چهار سطح شامل کود دامی (۴۰ تن در هکتار)، کمپوست (۴۰ تن در هکتار)، کود شیمیایی متداول NPK (۱۱۴، ۱۸ و ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار) و عدم کاربرد کود (شاهد) و فاکتور تلقیح با باکتری تیوباسیلوس همراه با مصرف گوگرد در چهار سطح شامل تلقیح با باکتری تیوباسیلوس، ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار+ تلقیح با باکتری تیوباسیلوس، ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد و شاهد بودند. صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ حداکثر، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، وزن خشک کل، اجزای عملکرد شامل تعداد شاخه جانبی، تعداد کپسول، تعداد دانه و وزن هزار دانه و عملکرد گل، بذر و بیولوژیکی ختمی بودند. نتایج نشان داد که اثر کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک بر ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ حداکثر، وزن خشک کل، وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، اجزای عملکرد و عملکرد گل، بذر و بیولوژیکی ختمی معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود. بالاترین شاخص سطح برگ حداکثر در پایان فصل رشد برای تیمار تلفیقی کود شیمیایی و تیوباسیلوس+گوگرد با ۱۲/۳ و پایین‌ترین شاخص سطح برگ حداکثر برای شاهد با ۱/۳ به دست آمد. بالاترین عملکرد گل و بذر برای تیمار تلفیقی کود شیمیایی و تیوباسیلوس+گوگرد به ترتیب برابر با ۱۷۵/۳۳ و ۹۹/۹۱ گرم بر مترمربع و کمترین میزان برای شاهد به ترتیب برابر با ۳۲/۳۳ و ۹/۳۱ گرم بر مترمربع به دست آمد. در شرایط کاربرد کودهای شیمیایی، دامی و کمپوست در سطوح جداگانه تیوباسیلوس و گوگرد و عدم کاربرد، عملکرد گل بیش از ۱۰۰ درصد نسبت به شاهد بهبود یافت، در حالی که مصرف کودهای شیمیایی، دامی و کمپوست به همراه کاربرد تیوباسیلوس+گوگرد به ترتیب توانستند منجر به بهبود ۱۰۶، ۸۹ و ۷۲ درصدی عملکرد گل در مقایسه با شاهد شوند. با توجه به بالا بودن اسیدیته خاک در اکثر خاک‌های زراعی ایران می‌توان مصرف تلفیقی گوگرد همراه با تلقیح با تیوباسیلوس را به عنوان راهکاری مؤثر برای بهبود جذب عناصر غذایی خاک مدنظر قرار داد.

واژه‌های کلیدی: اسیدیته خاک، تیوباسیلوس، حاصلخیزی خاک، کشاورزی پایدار

مقدمه

کشور ایران به لحاظ داشتن شرایط اقلیمی و موقعیت جغرافیایی خاص از شرایط بسیار مطلوبی برای توسعه و کشت گیاهان دارویی در جهان محسوب می‌گردد (Samsam Shariat, 1995). با این حال، به عنوان کشوری با سابقه طولانی در تولید و مصرف گیاهان دارویی تنها سهم بسیار کوچکی در بازار تجارت جهانی این گیاهان دارد. ختمی (*Althea officinalis* L.) یکی از گونه‌های ارزشمند دارویی تیره پنیرک^۶ است که به دلیل دارا بودن گل‌های زیبا به عنوان گونه‌ای

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشیار، استاد، دانشجوی دکتری و دکتری، گروه آگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۵- دکتری گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس (دانشجوی سابق دکتری، گروه آگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد)

(Email: khorrandel@um.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jag.v10i3.28104

راندمان پایینی دارند (Cheesman et al., 2011). نتایج برخی تحقیقات مؤید این مطلب است که مصرف گوگرد و تولید اسید-سولفوریک در نتیجه اکسایش آن، به دلیل کاهش اسیدیته موجب تأمین سولفات مورد نیاز گیاهان و افزایش قابلیت جذب فسفر و عناصر کم مصرف می‌گردد (Dawood et al., 1985).

اگرچه طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها قادر به اکسایش گوگرد در محیط هستند، ولی در این میان تنها باکتری‌های هتروتروف، به ویژه جنس *تیوباسیلوس* نقش مهمی در اکسایش گوگرد در خاک ایفاء می‌نمایند (Tate, 1995). برخی محققین گزارش نموده‌اند که اکسیداسیون گوگرد و تولید اسید سولفوریک باعث کاهش اسیدیته خاک و افزایش دسترسی به فسفر و عناصر کم مصرف می‌شود، به طوری که باکتری *تیوباسیلوس* باعث تسریع این فرآیند می‌گردد (Tisdale et al., 1993; Zapata & Roy, 2004). در بسیاری از نقاط جهان برای افزایش کارایی فسفات، آن را با گوگرد مخلوط و از باکتری‌های *تیوباسیلوس* برای تشدید اکسایش گوگرد استفاده می‌نمایند (Pathirathna et al., 1989). پاتیراتنا و همکاران (Pathirathna et al., 1989) اظهار نمودند با توجه به سرعت کند اکسایش گوگرد، حضور باکتری‌های اکسیدکننده این عنصر در خاک شرط اصلی بهره‌گیری از این توان بالقوه است.

کودهای آلی فرآورده‌های اصیل و بدون خطری هستند که برای دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار مطرح می‌باشند (Maeder et al., 2002). کاربرد نهاده‌های آلی در خاک‌های کشاورزی، سبب بهبود ساختمان خاک، افزایش ماده آلی و حاصلخیزی خاک می‌شود، البته میزان تأثیر این مواد بر خصوصیات خاک و به تبع آن رشد گیاه، بسته به میزان مصرف و نوع نهاده متغیر می‌باشد (Patra et al., 2000). میدر و همکاران (Maeder et al., 2002) دریافتند که کودهای آلی به دلیل افزایش تخلخل و نفوذپذیری، کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک و افزایش قابلیت نگهداری آب در خاک، تأثیرات مثبتی بر رشد گیاهان دارند. مصرف کود دامی در کشاورزی سنتی جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده و در حال حاضر نیز نقش مهمی را در کشاورزی پایدار ایفاء می‌نماید. برخی بررسی‌ها نیز مؤید این مطلب است که کودهای دامی حاوی عناصر ریزمغذی هستند که می‌تواند باعث بهبود کیفیت و تولید گیاهان دارویی گردد (Maeder et al., 2002). نتایج مطالعه کارلا (Karla, 2003) نشان داد که کاربرد کودهای آلی در نظام ارگانیک در مقایسه با نظام رایج، بهبود ۸۴-۸۰ درصدی عملکرد

زینتی نیز کاشته می‌شود. مصرف گل‌های ختمی برای درمان یبوست، بیماری‌های تنفسی، از بین بردن سرفه‌های خشک و رفع گلو درد توسط برخی محققان توصیه شده است. ریشه این گیاه، نرم‌کننده پوست و برطرف‌کننده ناراحتی‌های پوستی بوده و مصرف آن برای کاهش تب، تنظیم قند خون، درمان اسهال و سرفه‌های خشک در طب سنتی مورد تأکید قرار گرفته است. مصرف ضماد برگ ختمی برای رفع دمل، التیام شکستگی، رفع سیاتیک و درمان رعشه نیز مورد توصیه برخی محققین قرار گرفته است (Omid Beigi, 1995; Joy et al., 1998).

در تولید گیاهان دارویی، علاوه بر شرایط آب و هوایی، عوامل خاک و به‌ویژه عناصر غذایی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد، زیرا عناصر غذایی با تأثیر بر رشد رویشی و رشد زایشی، نسبت این اندام‌ها را تغییر داده و از این طریق بر کمیت و کیفیت محصول مؤثر می‌باشند (Azizi, 2000). در کشاورزی رایج به‌منظور افزایش حاصلخیزی خاک، افزایش رشد و عملکرد گیاهان و جبران کمبود عناصر غذایی اغلب از کودهای شیمیایی استفاده می‌شود. با وجود برخی از مزیت‌های این کودها در بهبود رشد و عملکرد گیاهان، مصرف این کودها می‌تواند از طریق آبهویی و فرسایش موجب افزایش آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی گردد (Nassiri et al., 2001). بدین ترتیب، تحت چنین شرایطی استفاده از کودهای زیستی و آلی علاوه بر حفظ محیط زیست و تولید محصولات کشاورزی سالم می‌تواند شرایط تغذیه‌ای بهتری را برای گیاه فراهم آورد و تأثیر مطلوبی بر بهبود رشد گیاهان به همراه داشته باشد (Vessey, 2003). ایران‌نژاد و همکاران (Iran Nejad et al., 2006) با بررسی اثر کود نیتروژن روی عملکرد گیاه دارویی ختمی در منطقه کاشان بیان داشتند که کود نیتروژن به‌طور معنی‌داری رشد و عملکرد گل ختمی را تحت تأثیر قرار داد، به‌طوری‌که بالاترین عملکرد تر (۶۲۴/۳ کیلوگرم در هکتار) و خشک گل (۸۹/۸ کیلوگرم در هکتار) این گیاه از تیمار ۱۰۰ کیلوگرم به‌دست آمد. فسفر پس از نیتروژن، مهم‌ترین عنصر غذایی مورد نیاز برای رشد گیاهان محسوب می‌شود. وانس و همکاران (Vance et al., 2003) بیان داشتند که کمبود فسفر باعث کاهش ۴۰-۳۰ درصدی عملکرد گیاهان گردید. برای جبران کمبود فسفر در خاک‌های قلیایی معمولاً از کودهای شیمیایی استفاده می‌گردد، در حالی‌که این کودها در این شرایط معمولاً به دلیل پایین بودن اسیدیته خاک و فراوانی یون کلسیم

گیاهان دارویی را به دنبال داشت. یکی دیگر از منابع تغذیه‌ای آلی، کمپوست زباله شهری است که امروزه مورد توجه کشاورزان قرار گرفته است. مصرف این مواد با بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک موجب تبدیل عناصر غذایی به فرم قابل استفاده گیاه شده و در اصلاح خاک‌های با مواد آلی کم مؤثر است (et al., 2010; De Araujo, 2005; Mkhabela & Warman, 2005). پانندی (Pandey, 2005) اظهار نمود که مصرف کمپوست موجب بهبود قابل ملاحظه گلدهی گیاه دارویی درمنه (*Artemisia pallens* L.) در مقایسه با شاهد گردید. سینگ و همکاران (Sing et al., 1998) بیان نمودند که با افزایش میزان کمپوست، روند افزایشی برای عملکرد و اجزای عملکرد برخی گیاهان دارویی از جمله اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk.)، بذرالینج (*Ruta graveolens* L.) و سداب (*Hyoscyamus niger* L.) در هند حاصل شد. کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست در ترکیب با کود شیمیایی NPK به‌طور معنی‌داری رشد، عملکرد بیولوژیکی و مقدار اسانس گیاه دارویی رزماری (*Rosemarinus officinalis* L.) را در مقایسه با شاهد افزایش داد (Singh & Guleria, 2013).

بدین ترتیب، به‌نظر می‌رسد که کاربرد تلفیقی کودهای مختلف بتواند اثرات منفی کودهای شیمیایی بر خصوصیات گیاهان دارویی را کاهش دهد. علاوه بر این، با توجه به بالا بودن اسیدیته خاک و کاهش قابلیت جذب برخی عناصر غذایی، به‌نظر می‌رسد که مصرف گوگرد همراه با تیوباسیلوس بتواند نقش به‌سزایی بر فراهمی عناصر غذایی داشته باشد. بنابراین، این آزمایش با هدف ارزیابی کاربرد تلفیقی کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک بر رشد و عملکرد کمی گیاه دارویی ختمی در شرایط آب و هوایی مشهد اجرا شد.

جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. قبل از شروع آزمایش، جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌برداری تصادفی توسط اوگر از عمق صفر الی ۳۰ سانتی‌متری انجام شد. در این زمان همچنین، خصوصیات شیمیایی کودهای آلی اندازه‌گیری و تعیین شد. نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و خصوصیات کودهای آلی مورد استفاده به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با طول جغرافیایی

جدول ۱- نتایج خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Soil physical and chemical criteria

عمق (سانتی‌متر) Depth (cm)	بافت Texture	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS.m ⁻¹)	میزان (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Content (mg.kg ⁻¹)			
			اسیدیته pH	نیتروژن کل Total N	فسفر قابل دسترس Available P	پتاسیم قابل دسترس Available K
0-30	سیلت-لوم Silty-loam	1.72	7.33	431	5.43	297.05

جدول ۲- نتایج خصوصیات شیمیایی کودهای آلی
Table 2- Results of chemical characteristics of organic manures

کود آلی Organic manure	هدایت الکتریکی (دسی- زیمنس بر متر) EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	میزان (میلی گرم بر کیلوگرم) Content (mg.kg ⁻¹)		نیترژن کل Total N (%)
			فسفر قابل دسترس Available P	پتاسیم قابل دسترس Available K	
کود دامی Cow manure	7.70	8.75	106.77	225.67	1.86
کمپوست زباله شهری Compost made from house- hold waste	9.51	7.55	59.34	184.12	1.70

اصلی، شاخص سطح برگ حداکثر، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه و میزان تجمع ماده خشک از سطح پنج بوته (۰/۵ مترمربع) اندازه‌گیری شد. عملیات برداشت با حذف اثر حاشیه‌ای در زمان زرد شدن برگ‌ها و کپسول‌ها در ۱۵ مهرماه انجام گردید. قبل از برداشت، اجزای عملکرد شامل تعداد شاخه جانبی، تعداد کپسول، تعداد دانه در کپسول و وزن ۱۰۰۰ دانه از سطح چهار بوته (۰/۴ متر مربع) اندازه‌گیری و ثبت شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ از دستگاه Leaf Area Meter استفاده شد و به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون به‌مدت زمان ۷۲ ساعت قرار گرفتند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار Mstat-C انجام شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (p≤۰/۰۵) مقایسه شدند. جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

الف) اثر کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک بر خصوصیات رشد

نتایج آنالیز واریانس اثر کاربرد کودهای آلی، شیمیایی و تلقیح با باکتری تیوباسیلوس بر خصوصیات رشد گیاه دارویی ختمی در جدول ۳ نشان داده شده است.

کود فسفر به‌صورت سوپرفسفات تریپل، پتاسیم به‌صورت سولفات پتاسیم و گوگرد (به‌صورت گوگرد آلی بنتونیت‌دار به‌میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) قبل از کاشت به زمین اضافه و سپس با لایه ۳۰-۰ سانتی‌متری به‌طور کامل مخلوط شدند. پنج گرم تیوباسیلوس (به‌صورت کود بیوسولفور) هم‌زمان با اولین آبیاری به خاک اضافه و با لایه سطحی خاک مخلوط شد. کود نیترژن (به‌صورت اوره) در دو مرحله بعد از عملیات تنک و ابتدای مرحله گلدهی همراه با آب آبیاری به خاک افزوده شد.

ابعاد کرت‌های آزمایش ۳×۲ مترمربع در نظر گرفته شد. بین کرت‌ها ۰/۵ متر و بین بلوک‌ها یک متر فاصله به‌عنوان راهرو در نظر گرفته شد. پس از انجام عملیات آماده‌سازی زمین، بذرها روی پنج ردیف سه متر در نیمه اول اردیبهشت ماه به‌صورت دستی کاشته شدند. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک گیاه هر هفت روز یک‌بار به‌صورت نشستی انجام گرفت. بوته‌ها در مرحله ۴-۶ برگی برای رسیدن به تراکم مورد نظر (۱۰ بوته در مترمربع) تنک شدند. به‌منظور جلوگیری از اثرات منفی مواد شیمیایی بر رشد و فعالیت باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد، از هیچ‌گونه علف‌کش و یا آفت‌کش شیمیایی در طول فصل رشد استفاده نشد.

قابل ذکر است نیمی از کرت به اندازه‌گیری‌های تخریبی و نیم دیگر به عملکرد اختصاص داده شد. پس از شروع مرحله گلدهی، گل‌ها با حذف اثر حاشیه‌ای از طرفین جمع‌آوری و برداشت شدند. پس از شمارش گل‌ها و خشک شدن آن‌ها در هوای آزاد زیر سایه، وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری و ثبت شد. در نیمه شهریور ماه ارتفاع ساقه

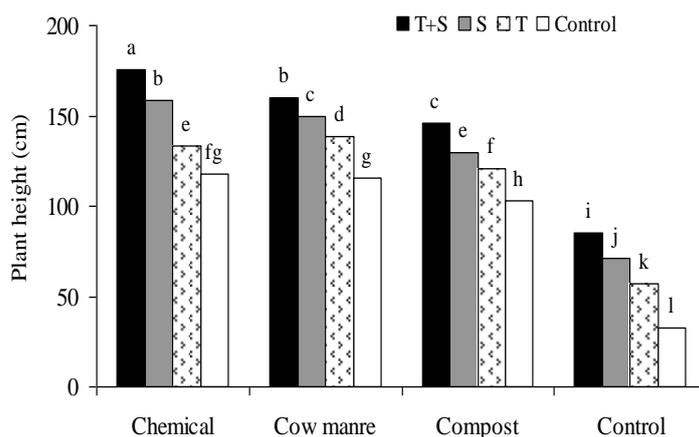
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کودهای آلی و شیمیایی و تلقیح با *Thiobacillus* بر برخی صفات گیاه ختمی
 Table 3- Analysis of variance (mean of squares) for the effect of organic and chemical fertilizers with *Thiobacillus* inoculation on some criteria of marshmallow

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	شاخص سطح برگ حداکثر Leaf area index _{max}	وزن خشک برگ Dry weight of leaf	وزن خشک ساقه Dry weight of stem	وزن خشک کل Total dry weight
تکرار Replication	2	553.94	0.11	210457.26	105154.16	421482.08
کودهای آلی و شیمیایی (A) Organic and chemical fertilizers (A)	3	18341.81**	117.36**	11801469.52**	4485430.29**	30565334.50**
تلقیح با <i>Thiobacillus</i> (B) <i>Thiobacillus</i> inoculation (B)	3	5371.14**	33.10**	864226.52**	3791673.12**	3791673.12**
A×B	9	60.79**	1.19**	14715.39**	44190.44**	44190.44
خطا Error	30	7.85	0.25	2895.09	5446.58	5446.58
کل Total	47	-	-	-	-	-

** معنی دار در سطح احتمال یک درصد
 **: is significant at 1% probability level

ارتفاع بوته تحت تأثیر کاربرد کودهای شیمیایی، دامی و کمپوست در کلیه سطوح جداگانه و تلفیقی تلقیح با *Thiobacillus*، مصرف گوگرد و عدم کاربرد این حاصلخیزکننده‌ها بیش از ۱۰۰ درصد نسبت به شاهد بهبود یافت (شکل ۱).

اثر کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک بر ارتفاع بوته ختمی معنی دار ($P \leq 0.01$) بود (جدول ۳)، به طوری که بیشترین ارتفاع بوته (۱۷۵ سانتی‌متر) از تیمار تلفیقی کود شیمیایی و تلقیح با *Thiobacillus* + گوگرد و کمترین ارتفاع بوته (۳۲ سانتی‌متر) از شاهد مشاهده شد.



شکل ۱- اثر متقابل کودهای آلی و شیمیایی و تلقیح با *Thiobacillus* بر ارتفاع بوته ختمی
 Fig. 1- Interaction effect of organic and chemical fertilizers with *Thiobacillus* inoculation on plant height of marshmallow

T: *Thiobacillus* و S: گوگرد

T: *Thiobacillus* and S: Sulphur

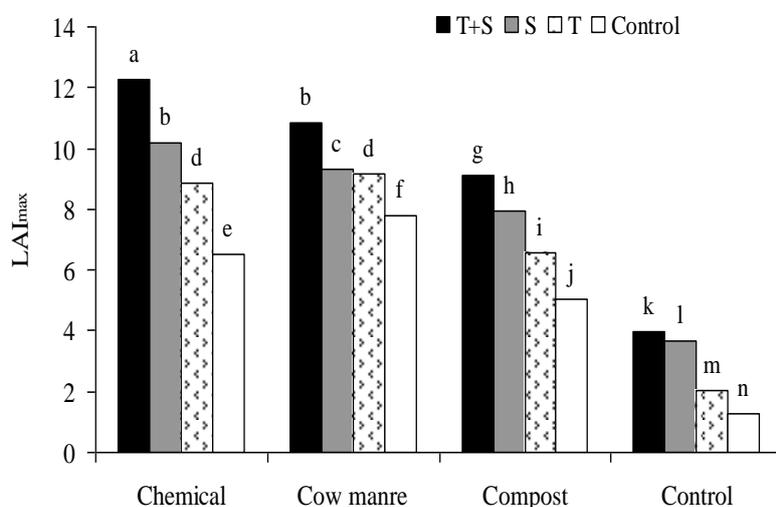
میانگین‌های دارای حروف متفاوت، بر اساس آزمون دانکن دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند ($p \leq 0.05$).

Means with the different letters have significant difference according to Duncan ($p \leq 0.05$).

از آن‌جا که محدودیت سولفور موجب کاهش فتوسنتز و در نتیجه کاهش منابع مورد نیاز رشد و تقسیم سلول و افت شدید سرعت تقسیم سلولی (Cao et al., 2001) می‌شود، افزایش مصرف گوگرد به‌ویژه در شرایط تلقیح با تیوباسیلوس موجب بهبود ارتفاع ساقه اصلی شده است.

کاربرد کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک به‌طور معنی‌داری شاخص سطح برگ حداکثر ختمی را تحت تأثیر قرار داد ($p \leq 0.01$) (جدول ۳). بالاترین شاخص سطح برگ حداکثر در پایان فصل رشد برای تیمار تلفیقی کود شیمیایی و تیوباسیلوس + گوگرد با ۱۲/۳ و پایین‌ترین شاخص سطح برگ حداکثر برای شاهد با ۱/۳ به‌دست آمد. سطوح کاربرد جداگانه و تلفیقی تلقیح با تیوباسیلوس، مصرف گوگرد و عدم کاربرد در شرایط مصرف کودهای شیمیایی، دامی و کمپوست افزایش بیش از ۱۰۰ درصدی شاخص سطح برگ حداکثر را نسبت به شاهد موجب گردید (شکل ۲).

به‌نظر می‌رسد که مصرف کودهای شیمیایی با آزادسازی سریع‌تر عناصر غذایی باعث تحریک رشد اندام‌های رویشی شده که این امر موجب افزایش ارتفاع شده است. همچنین با در نظر گرفتن این مطلب که فراهمی رطوبت، افزایش آماس سلولی و تحریک رشد رویشی را به دنبال دارد (Gardner et al., 1985)، به‌نظر می‌رسد که مصرف کودهای آلی با بهبود قابلیت نگهداری آب و در نتیجه تأثیر بر تقسیم سلول و بزرگ شدن سلول‌ها موجب افزایش طول میانگره‌ها شده که بهبود ارتفاع را به دنبال داشته است. همچنین از آن‌جا که باکتری‌های موجود در کود بیولوژیک از طریق ترشح هورمون‌های مختلف گیاهی می‌توانند نفوذپذیری سلول‌های ریشه و مقاومت روزنه‌ای را تحت تأثیر قرار دهند (Scott, 1988)، به نظر می‌رسد که این میکروارگانیسم‌ها روابط آبی و رشد عمومی گیاه را به‌طور مثبتی تحت تأثیر قرار داده‌اند. نتایج مطالعه دو ساله شباهنگ و همکاران (Shabahang et al., 2016) نشان داد که مصرف کود دامی موجب بهبود ارتفاع زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) گردید. علاوه بر این،



شکل ۲- اثر متقابل کودهای آلی و شیمیایی و تلقیح با تیوباسیلوس بر شاخص سطح برگ گیاه ختمی
 Fig. 2- Interaction effect of organic and chemical fertilizers with *Thiobacillus* inoculation on leaf area index_{max} (LAI_{max}) of marshmallow

T: تیوباسیلوس و S: گوگرد

T: *Thiobacillus* and S: Sulphur

میانگین‌های دارای حروف متفاوت، بر اساس آزمون دانکن دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند ($p \leq 0.05$).

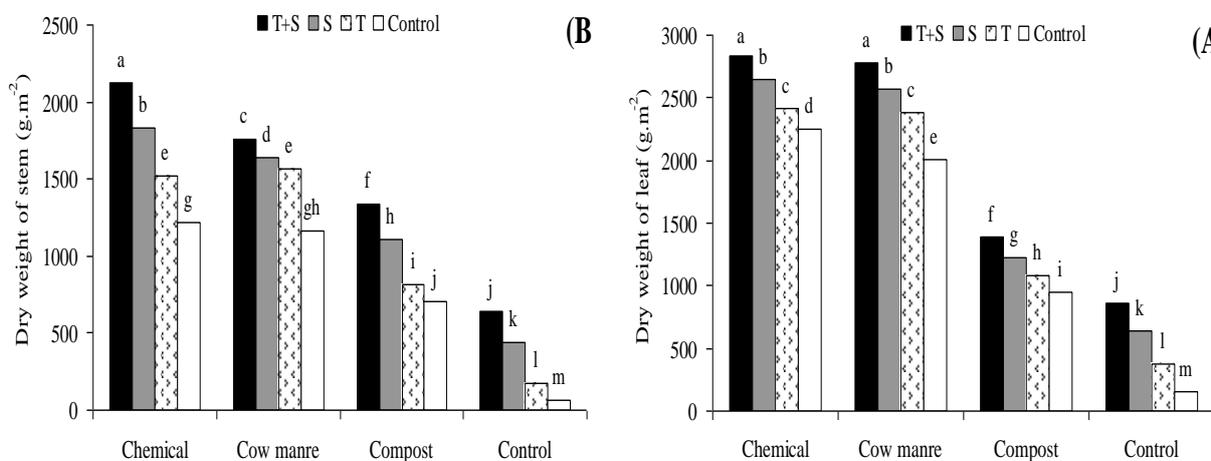
Means with the different letters have significant difference according to Duncan ($p \leq 0.05$).

که این امر از طریق افزایش و تحریک رشد گیاه، افزایش سطح برگ را به دنبال داشته است. لیتی و همکاران (Leithy et al., 2006) نیز

چنین به نظر می‌رسد که مصرف کودهای مختلف با تأثیر مثبت بر خصوصیات خاک، شرایط ریزوسفر را برای رشد بوته‌ها بهبود بخشیده

وزن خشک برگ و ساقه ختمی به طور معنی داری تحت تأثیر مصرف کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک قرار گرفت ($p \leq 0.01$) (جدول ۳)، به طوری که بیشترین وزن خشک برگ و ساقه برای تیمار تلفیقی کود شیمیایی و تیوباسیلوس+گوگرد به ترتیب برابر با ۲۸۳۱/۶۴ و ۲۱۲۷/۷۸ گرم بر مترمربع و کمترین میزان برای شاهد به ترتیب برابر با ۱۴۹/۵۶ و ۶۴/۳۸ گرم بر مترمربع به دست آمد. در شرایط مصرف کودهای شیمیایی و دامی در کلیه سطوح کاربرد جداگانه و تلفیقی تیوباسیلوس و گوگرد و بدون کاربرد آنها، وزن خشک برگ بیش از ۱۰۰ درصد بهبود یافت، در حالی که مصرف کمپوست در شرایط مصرف گوگرد، تیوباسیلوس و شاهد افزایش به ترتیب ۹۲، ۱۹۲، ۶۱ و ۵۳۶ درصدی این صفت را نسبت به شاهد به دنبال داشت. وزن خشک ساقه تحت تأثیر کاربرد کودهای شیمیایی، دامی و کمپوست در کلیه سطوح جداگانه و تلفیقی تلقیح با تیوباسیلوس، مصرف گوگرد و عدم کاربرد بیش از ۱۰۰ درصد نسبت به شاهد بهبود یافت (شکل ۳- الف و ب).

گزارش نمودند از آنجا که ریشه مرکز ثقل گیاه در خاک محسوب می شود، بنابراین، تغییر مدیریت حاصلخیزی خاک بر مبنای مصرف نهاده های آلی نظیر کود دامی با بهبود خصوصیات خاک، علاوه بر افزایش رشد و عملکرد محصول، پایداری بوم نظام را نیز تحت تأثیر قرار داده و آن را در درازمدت تضمین می نماید. بدین ترتیب، با توجه به این مطلب که مصرف گوگرد و تولید اسید سولفوریک تحت تأثیر اکسایش این عنصر ضروری کاهش اسیدیته خاک، تأمین سولفات مورد نیاز گیاهان و افزایش قابلیت جذب فسفر و عناصر کم مصرف در خاک می شود (Dawood et al., 1985) و از آنجا که شرط بهره گیری از این پتانسیل به دلیل سرعت اکسایش کند گوگرد مستلزم حضور باکتری های اکسیدکننده است (Tate, 1995)، به نظر می رسد که بهبود مصرف گوگرد همراه با تلقیح با تیوباسیلوس به دلیل تأمین سولفات مورد نیاز و بهبود فراهمی و جذب عناصر پرمصرف و کم-مصرف افزایش شاخص سطح برگ به عنوان اندام فتوسنتزکننده را موجب شده است.



شکل ۳- اثر متقابل کودهای آلی و شیمیایی و تلقیح با تیوباسیلوس بر وزن خشک برگ (الف) و ساقه (ب) گیاه ختمی
 Fig. 3- Interaction effect of organic and chemical fertilizers with *Thiobacillus* inoculation on leaf (A) and stem (B) dry weight of marshmallow

T: تیوباسیلوس و S: گوگرد

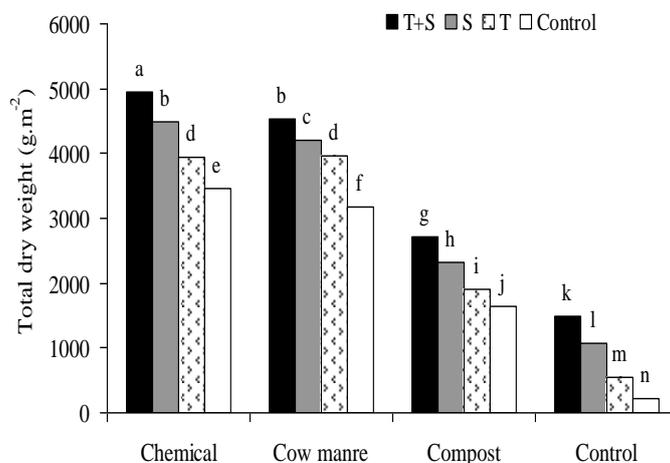
T: *Thiobacillus* and S: Sulphur

میانگین های دارای حروف متفاوت، بر اساس آزمون دانکن دارای تفاوت معنی داری می باشند ($p \leq 0.05$).

Means with the different letters have significant difference according to Duncan ($p \leq 0.05$).

مربع حاصل شد. میزان بهبود وزن خشک کل در شرایط مصرف کودهای شیمیایی، دامی و کمپوست تحت تأثیر کلیه سطوح جداگانه و تلفیقی تلقیح با تیوباسیلوس کاربرد گوگرد و عدم مصرف این کودها بیش از ۱۰۰ درصد در مقایسه با شاهد بود (شکل ۴).

اثر کاربرد کودهای شیمیایی، آلی و بیولوژیک بر وزن خشک کل ختمی معنی دار ($p \leq 0.01$) بود (جدول ۳). بیشترین و کمترین وزن خشک کل به ترتیب برای تیمار تلفیقی کود شیمیایی و تیوباسیلوس+گوگرد و شاهد برابر با ۴۹۵۹/۴۳ و ۲۱۳/۹۴ گرم بر متر-



شکل ۴- اثر متقابل کودهای آلی و شیمیایی و تلقیح با تیوباسیلوس بر وزن خشک کل گیاه ختمی

Fig. 4- Interaction effect of organic and chemical fertilizers with *Thiobacillus* inoculation on total dry weight of marshmallow

T: تیوباسیلوس و S: گوگرد

T: *Thiobacillus* and S: Sulphur

میانگین‌های دارای حروف متفاوت، بر اساس آزمون دانکن دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند ($p \leq 0.05$).

Means with the different letters have significant difference according to Duncan ($p \leq 0.05$).

خصوصیات رشد گیاهان دارویی مدنظر قرار داد.

ب) اثر کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک بر اجزای عملکرد و عملکرد

نتایج تجزیه واریانس اثر کودهای شیمیایی، آلی و دامی بر اجزای عملکرد و عملکرد گل، بذر و بیولوژیکی گیاه دارویی ختمی در جدول ۴ نشان داده شده است.

اجزای عملکرد ختمی شامل تعداد شاخه جانبی، تعداد کپسول و تعداد دانه در کپسول به جز وزن هزار دانه ختمی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک قرار گرفت ($p \leq 0.01$) (جدول ۵)، به‌طوری‌که بالاترین تعداد شاخه جانبی، تعداد کپسول و تعداد دانه برای تیمار تلفیقی کاربرد کود شیمیایی و تیوباسیلوس+ گوگرد به‌ترتیب برابر با ۳۸/۳۳ شاخه جانبی در بوته، ۶۰/۶۷ کپسول در بوته و ۴۲ دانه در کپسول و پایین‌ترین میزان برای شاهد به‌ترتیب برابر دو شاخه جانبی در بوته، ۳/۶۷ کپسول در بوته و ۴/۶۷ دانه در کپسول تیمار مشاهده گردید. مصرف کودهای شیمیایی در شرایط مصرف تیوباسیلوس+ گوگرد و عدم کاربرد آن‌ها موجب افزایش تعداد شاخه جانبی بیش از ۱۰۰ درصد شد.

از آن‌جا که باکتری‌های تیوباسیلوس موجب تحریک تولید اکسین می‌شوند، به‌نظر می‌رسد که افزایش تولید اکسین تحت تأثیر تلقیح با این باکتری‌ها (Doroudian et al., 2010) با افزایش رشد سلولی و تحریک رشد اندام‌های رویشی، سطح اندام‌های فتوسنتزکننده را افزایش داده است. علاوه بر این، با توجه به بالا بودن اسیدیته خاک در بوم‌نظام‌های زراعی کشور و اختلال در جذب عناصر غذایی در این شرایط (Akhavan et al., 2012)، مصرف گوگرد می‌تواند موجب کاهش اسیدیته خاک شود. زاپاتا و ری (Zapata & Roy, 2004) دریافتند که حضور باکتری‌های تیوباسیلوس در مقایسه با عدم تلقیح با این باکتری باعث تسریع این فرآیند شده است. بنابراین، افزایش وزن خشک کل در نتیجه افزایش فسفر قابل دسترس توسط گیاه را می‌توان این‌چنین توجیه نمود که عنصر فسفر با اثرات مثبتی که بر افزایش توسعه سیستم ریشه‌ای دارد، افزایش فراهمی آن میزان جذب آب و عناصر غذایی ضروری به‌ویژه نیتروژن را افزایش داده است که این امر موجب بهبود وزن خشک کل شده است (Dordas, 2009). بدین ترتیب، با توجه به بالا بودن اسیدیته خاک و غیرقابل جذب شدن برخی عناصر غذایی به‌ویژه فسفر، می‌توان مصرف گوگرد را همراه با باکتری تیوباسیلوس به‌عنوان راهکاری مؤثر برای بهبود

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کودهای آلی و شیمیایی و تلقیح با *Thiobacillus* بر اجزای عملکرد و عملکرد گیاه ختمی
 Table 4- Analysis of variance (mean of squares) for the effect of organic and chemical fertilizers with *Thiobacillus* inoculation on yield and yield components of marshmallow

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد شاخه جانبی Branch number	تعداد کپسول Capsule number	تعداد دانه در کپسول Seed number per capsule	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد گل Flower yield	عملکرد بذر Seed yield	عملکرد بیولوژیکی Biological yield
تکرار Replication کودهای آلی و شیمیایی (A)	2	64.00	12.33	17.06	0.064	430.27	223.300	100820.00
Organic and chemical fertilizers (A) تلقیح با <i>تیوباسیلوس</i> (B)	3	802.33**	2937.02**	1690.30**	0.065 ^{ns}	18369.06**	6438.28**	1834675.98**
<i>Thiobacillus</i> inoculation (B)	3	636.83**	1155.91**	406.19**	0.094 ^{ns}	7141.96**	3133.04**	653317.96**
A×B	9	39.24**	54.02**	20.61**	0.046 ^{ns}	181.79**	120.93**	16109.039**
خطا Error	30	1.38	5.51	5.04	0.267	7.30	2.09	4244.306
کل Total	47	-	-	-	-	-	-	-

** معنی دار در سطح احتمال یک درصد
 **: is significant at 1% probability level.

ترتیب برابر با ۳۱، ۵۲، ۲۷ و ۷۸ درصد در مقایسه با شاهد بود (جدول ۵).

مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه و فسفره با تحریک رشد رویشی از طریق افزایش سطح اندامهای فتوسنتزکننده باعث افزایش جذب نور و بهبود فتوسنتز می شود (Lambers et al., 2008; Taiz & Zeiger, 2006) که این امر در نهایت می تواند اجزای عملکرد را افزایش دهد. کاربرد کود دامی با تأثیر مثبت بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک شرایط ریزوسفر را برای رشد بوته ها بهبود بخشیده است که این امر در نتیجه به دلیل افزایش و تحریک رشد باعث بهبود سطح اندامهای رویشی شده و با افزایش تولید، بهبود اجزای عملکرد را به دنبال داشته است. علاوه بر این، از آنجا که تأثیر مصرف گوگرد و آزادسازی عناصر غذایی تثبیت شده در خاک منوط به اکسایش این عنصر و تولید اسید سولفوریک می باشد، به نظر می رسد اسید تولید شده در اثر واکنش با عناصر غذایی تثبیت شده باعث افزایش حالیت آن ها و بهبود فراهمی جذب عناصر شده است (Tate, 1995).

میزان بهبود این صفت در شرایط مصرف کود دامی همراه با تلقیح با *تیوباسیلوس*+گوگرد، مصرف گوگرد، تلقیح با *تیوباسیلوس* و شاهد به ترتیب برابر با ۱۳۵، ۹۲، ۷۰ و ۲۳۴ درصد در مقایسه با شاهد بود. میزان بهبود این صفات در شرایط افزایش کمپوست به ترتیب برابر با ۳۵، ۶۹، ۳۳ و ۱۳۴ درصد در مقایسه با شاهد بود. تعداد کپسول در شرایط کاربرد کود شیمیایی همراه با مصرف تلفیقی و جداگانه تلقیح با *تیوباسیلوس* و گوگرد و عدم کاربرد آن ها بیش از ۱۰۰ درصد بهبود یافت. میزان بهبود این صفت در شرایط مصرف کود دامی همراه با مصرف *تیوباسیلوس*+گوگرد، گوگرد، *تیوباسیلوس* و شاهد به ترتیب برابر با ۹۷، ۹۸، ۴۳ و ۲۰۰ درصد در مقایسه با شاهد بود. میزان این بهبود در شرایط مصرف کمپوست به ترتیب برابر با ۵۲، ۴۸، ۲۹ و ۱۳۶ درصد در مقایسه با شاهد بود. کاربرد کود شیمیایی همراه با تلقیح با *تیوباسیلوس*+گوگرد، گوگرد، *تیوباسیلوس* و شاهد موجب بهبود تعداد دانه به ترتیب برابر با ۷۰، ۸۹، ۹۳ و ۱۵۰ درصد در مقایسه با شاهد شد. میزان بهبود این شاخص در شرایط مصرف کود دامی به ترتیب برابر با ۵۹، ۶۷، ۴۶ و ۹۳ درصد و در شرایط مصرف کمپوست به-

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل کودهای آلی و شیمیایی و تلقیح با تیوباسیلوس بر اجزای عملکرد بذر گیاه ختمی

Table 5- Mean comparison for interaction effect of organic and chemical fertilizers with *Thiobacillus* inoculation on yield components of marshmallow

تیمارها Treatments	تعداد شاخه جانبی (تعداد در بوته) Branch number (No. plant ⁻¹)	تعداد کیسول (تعداد در بوته) Capsule number (No. plant ⁻¹)	تعداد دانه (تعداد در کیسول) Seed number (No. capsule ⁻¹)	
کود شیمیایی Chemical fertilizer	T+S	38.33 ^{a*}	60.67 ^a	42.00 ^a
	S	29.00 ^b	50.67 ^b	39.33 ^a
	T	16.67 ^e	39.00 ^d	32.33 ^b
	شاهد	12.33 ^f	25.67 ^f	24.67 ^c
	Control			
کود دامی Organic manure	T+S	30.33 ^b	50.33 ^b	38.33 ^a
	S	25.00 ^c	44.00 ^c	34.00 ^b
	T	22.00 ^d	39.67 ^d	31.00 ^b
	شاهد	13.00 ^f	30.67 ^e	20.33 ^d
	Control			
کمپوست Compost	T+S	24.00 ^c	39.67 ^d	26.33 ^c
	S	15.33 ^e	29.00 ^{ef}	20.00 ^d
	T	12.00 ^f	21.67 ^g	17.33 ^{de}
	شاهد	9.00 ^g	14.67 ^{hi}	13.67 ^{ef}
	Control			
شاهد Control	T+S	11.67 ^f	16.67 ^h	11.67 ^{fg}
	S	6.67 ^h	11.00 ^{ij}	9.00 ^g
	T	4.67 ⁱ	8.67 ^j	8.33 ^{gh}
	شاهد	2.00 ⁱ	3.67 ^k	4.67 ^h
	Control			

T: تیوباسیلوس و S: گوگرد

T: *Thiobacillus* and S: Sulphur*میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن ندارند ($p \leq 0.05$).*Means with the same letter(s) in each column have not significant difference according to Duncan ($p \leq 0.05$).

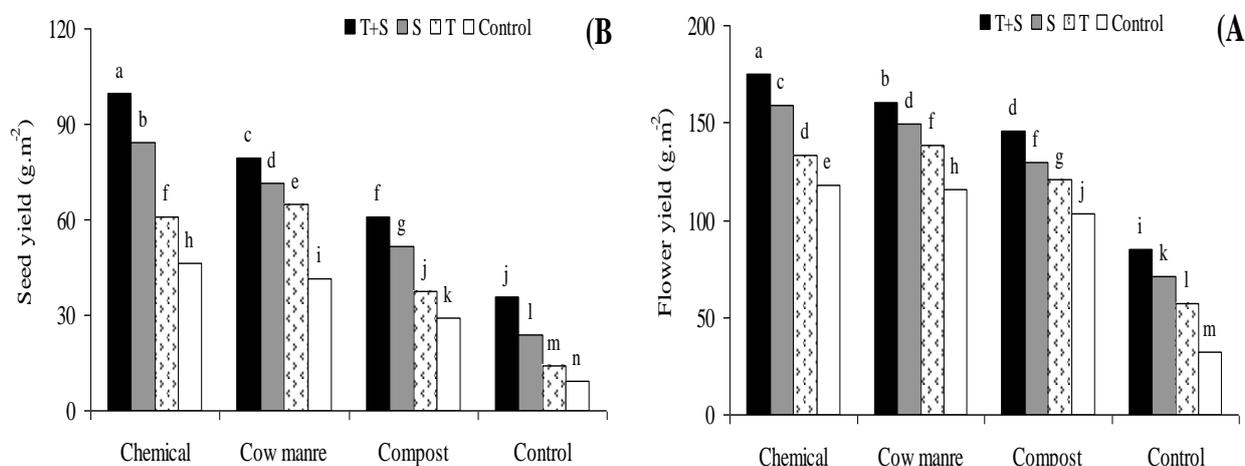
در حالی که مصرف کودهای شیمیایی، دامی و کمپوست در شرایط کاربرد تیوباسیلوس+گوگرد موجب بهبود به ترتیب ۱۰۶، ۸۹ و ۷۲ درصدی این صفت در مقایسه با شاهد شد. میزان افزایش عملکرد بذر در شرایط مصرف کودهای شیمیایی، دامی و کمپوست تحت تأثیر کلیه سطوح جداگانه و تلفیقی تلقیح با تیوباسیلوس و کاربرد گوگرد و عدم مصرف این کودها بیش از ۱۰۰ درصد در مقایسه با شاهد بود (شکل ۵- الف و ب).

مصرف کودهای شیمیایی به دلیل تأثیر بر تحریک رشد رویشی و به ویژه تولید سطح برگ، میزان تولید مواد فتوسنتزی را بهبود داده که در نتیجه افزایش عملکرد این گونه دارویی را به دنبال داشته است. برخی تحقیقات نیز بهبود رشد و عملکرد تعدادی از گیاهان دارویی را در پاسخ به مصرف کودهای شیمیایی تأیید کرده است (Abd El- Wahab, 2007; Atanasov et al., 1979; Clark & Menary, 1980). استفاده از کود دامی و کمپوست نیز از طریق بهبود فعالیت- های میکروبی خاک و نیز فراهمی عناصر غذایی (Kartikyan et al., 2008)، سبب افزایش فتوسنتز و بهبود ماده خشک گیاهی می-

بدین ترتیب، اگر چه مصرف کودهای مختلف موجب بهبود خصوصیات رشدی و به تبع آن افزایش اجزای عملکرد ختمی شده است، ولی تلقیح با باکتری تیوباسیلوس در شرایط مصرف گوگرد احتمالاً با کاهش اسیدیته خاک در محیط ریزوسفر ریشه باعث افزایش میزان فراهمی نیتروژن و جذب فسفر نامحلول موجود در خاک به خصوص در مرحله زایشی شده که این امر با بهبود رشد گیاه و اختصاص مواد فتوسنتزی به اجزای زایشی گیاه بهبود اجزای عملکرد را به دنبال داشته است.

عملکرد گل و بذر ختمی به طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد کودهای شیمیایی، آلی و بیولوژیک قرار گرفت ($p \leq 0.01$) (جدول ۴). بالاترین عملکرد گل و بذر برای تیمار تلفیقی کود شیمیایی و تیوباسیلوس+گوگرد به ترتیب برابر با ۱۷۵/۳۳ و ۹۹/۹۱ گرم بر متر- مربع و پایین‌ترین میزان برای شاهد به ترتیب برابر با ۳۲/۳۳ و ۹/۳۱ گرم بر مترمربع به دست آمد. در شرایط کاربرد کودهای شیمیایی، دامی و کمپوست در سطوح جداگانه تیوباسیلوس و گوگرد و عدم کاربرد، عملکرد گل بیش از ۱۰۰ درصد نسبت به شاهد بهبود یافت،

شود که این مسئله در نتیجه می‌تواند منجر به افزایش عملکرد بیولوژیکی و دانه گیاه ختمی شود.



شکل ۵- اثر متقابل کودهای آلی و شیمیایی و تلقیح با تیوباسیلوس بر عملکرد گل (الف) و بذر (ب) گیاه ختمی
Fig. 5- Interaction effect of organic and chemical fertilizers with *Thiobacillus* inoculation on flower (A) and seed yield (B) of marshmallow

T: تیوباسیلوس و S: گوگرد

T: *Thiobacillus* and S: Sulphur

میانگین‌های دارای حروف متفاوت، بر اساس آزمون دانکن دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند ($p \leq 0.05$).

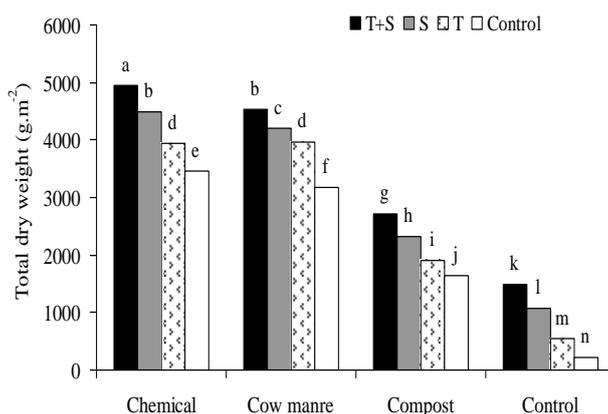
Means with the different letters have significant difference according to Duncan ($p \leq 0.05$).

های تیوباسیلوس با کاهش موضعی اسیدیته ریزوسفر ریشه (Besharati, 2001) موجب بهبود حلالیت عناصر تثبیت شده در خاک شده که در نتیجه به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه، بهبود عملکرد را موجب شده است. همچنین مصرف گوگرد به صورت تلفیقی با باکتری تیوباسیلوس، با بهبود جذب فسفر و در نتیجه افزایش ساخت ATP (Doroudian et al., 2010)، موجب افزایش اسیمیلاسیون مواد فتوسنتزی شده که این امر با افزایش توسعه سطح برگ (شکل ۲) و بهبود ظرفیت فتوسنتزی (جدول ۵)، در نهایت بهبود عملکرد را موجب شده است. بدین ترتیب، اگرچه فراهمی عناصر غذایی موجود در کودهای شیمیایی تأثیر به‌سزایی بر بهبود رشد و نمو گیاهان دارد، اما از آن‌جا که برخی عناصر غذایی مانند فسفر به سرعت در خاک تثبیت می‌شوند، به نظر می‌رسد که تغذیه تلفیقی مصرف گوگرد و تلقیح با تیوباسیلوس با متعادل کردن جذب عناصر اصلی پرمصرف و ریزمغذی‌های مورد نیاز بوته‌ها سبب افزایش رشد، تولیدات فتوسنتزی شده که در نهایت افزایش عملکرد را به دنبال داشته است. بدین ترتیب، مصرف تلفیقی عناصر غذایی را می‌توان به‌عنوان راهکاری مؤثر برای جبران کمبود عناصر غذایی مدنظر قرار داد که این امر علاوه بر کاهش هزینه‌های تولید، می‌تواند بهبود کارایی

بچمن و متزگر (Bachman & Metzger, 2008) بیان کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست و کود دامی از طریق بهبود ساختار فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه، دارا بودن مواد آلی و تقویت فعالیت‌های شبه هورمونی گیاه باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود. نتایج مطالعه روی و سینگ (Roy & Singh, 2006) نشان داد که مصرف کودهای آلی، با افزایش فتوسنتز، بهبود تولید زیست‌توده جو را موجب می‌گردد. نتایج مطالعه پوریوسف و همکاران (Pouryousef et al., 2007) نیز نشان داد که اجزای عملکرد و به تبع آن عملکرد بذر اسفزه در شرایط مصرف کودهای آلی بهبود یافت. این محققان دریافتند که کودهای آلی با آزادسازی تدریجی عناصر غذایی و بهبود خواص فیزیکی خاک باعث افزایش رشد گیاه شد و از این طریق بهبود اجزای عملکرد و عملکرد را موجب می‌گردد. درودیان و همکاران (Doroudian et al., 2010) گزارش کردند که اسید-لاکتیک و پس از آن مالیک، سوکسینیک و استیک مؤثرترین اسیدهای مترشحه از باکتری‌های حل‌کننده فسفات می‌باشند که می‌توانند اسیدیته خاک را علی‌رغم خاصیت بافری تغییر دهند. به این ترتیب، به نظر می‌رسد که افزایش مصرف گوگرد همراه با باکتری-

مترمربع حاصل گردید. عملکرد بیولوژیکی تحت تأثیر کاربرد کودهای شیمیایی، دامی و کمپوست در کلیه سطوح جداگانه و تلفیقی تلقیح با تیوباسیلوس، مصرف گوگرد و عدم کاربرد بیش از ۱۰۰ درصد نسبت به شاهد بهبود یافت (شکل ۶).

مصرف عناصر غذایی را به‌دنبال داشته باشد. اثر کودهای آلی، شیمیایی و بیولوژیک بر عملکرد بیولوژیکی ختمی معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود (جدول ۴)، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیکی به‌ترتیب برای تیمار تلفیقی کود شیمیایی و تیوباسیلوس + گوگرد و شاهد برابر با ۱۵۱۳/۲۸ و ۶۹/۶۰ گرم بر



شکل ۶- اثر متقابل کودهای آلی و شیمیایی و تلقیح با تیوباسیلوس بر عملکرد بیولوژیکی گیاه ختمی
Fig. 6- Intarction effect of organic and chemical fertilizers with *Thiobacillus* inoculation on biological yield of marshmallow

T: تیوباسیلوس و S: گوگرد

T: *Thiobacillus* and S: Sulphur

میانگین‌های دارای حروف متفاوت، بر اساس آزمون دانکن دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند ($p \leq 0.05$).

Means with the different letters have significant difference according to Duncan ($p \leq 0.05$).

توانسته است در مرحله گلدهی و پس از آن با انتقال مجدد این مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن بهبود عملکرد بیولوژیکی را به‌دنبال داشته باشد. علاوه بر این، از آن‌جا که افزایش فراهمی فسفر قابل دسترس گیاه در خاک، موجب بهبود توسعه سیستم ریشه‌ای می‌گردد و همچنین جذب آب و عناصر غذایی ضروری به‌ویژه نیتروژن را افزایش می‌دهد (Dordas, 2009)، مشخص است که تلقیح با تیوباسیلوس همراه با مصرف گوگرد با کاهش اسیدیته خاک و افزایش فراهمی فسفر در نتیجه موجب افزایش عملکرد بیولوژیکی شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که مصرف کودهای مختلف آلی و شیمیایی و تلقیح با تیوباسیلوس و کاربرد گوگرد به‌طور معنی‌داری خصوصیات رشد، اجزای عملکرد و عملکرد گل، دانه و بیولوژیکی گیاه دارویی ختمی را تحت تأثیر قرار داد، به‌طوری‌که بهترین نتایج برای تیمار تلفیقی کود شیمیایی و فاکتور تلفیقی تلقیح با

افزایش مصرف نهاده‌های مختلف با بهبود خصوصیات خاک و محتوی عناصر غذایی، موجب بهبود عملکرد بیولوژیکی گردید. نتایج مطالعه‌ای نشان داد که مصرف ۱۵ تن در هکتار کود دامی زیست‌توده علف لیمو (*Cymbopogon citrates* (DC.) Stapf) را ۱۰/۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد که دلیل این امر به توانایی کود دامی در افزایش ظرفیت نگهداری آب و بهبود شرایط تغذیه‌ای خاک نسبت داده شد (Rao, 2001). تاماتی و همکاران (Tomati et al., 1988) افزایش رشد و عملکرد گیاهان در شرایط مصرف کودهای آلی را به بهبود خصوصیات بیولوژیکی تحت تأثیر افزایش فعالیت ریزوم‌موجودات خاکری نسبت دادند. به نظر می‌رسد که مصرف گوگرد در شرایط تلقیح با تیوباسیلوس همراه با کاربرد کودهای مختلف با افزایش فراهمی، بهبود قابلیت جذب عناصر غذایی و افزایش آسمیلایسیون مواد فتوسنتزی تحت تأثیر توسعه سطح برگ به عنوان اندام اصلی فتوسنتز کننده و افزایش ظرفیت فتوسنتزی طی مرحله رویشی،

رشد و نمو گیاهان دارد، اما از آنجا که برخی عناصر غذایی مانند فسفر به سرعت در خاک تثبیت می‌شوند، به نظر می‌رسد که تغذیه تلفیقی عناصر غذایی را می‌توان به‌عنوان راهکاری مؤثر برای جبران کمبود عناصر غذایی خاک مدنظر قرار داد که این امر علاوه بر کاهش هزینه‌های تولید، می‌تواند بهبود کارایی مصرف عناصر غذایی را به دنبال داشته باشد.

سپاسگزاری

اعتبار این پژوهش از محل پژوهش طرح شماره ۲/۲۶۹۷۲ مصوب ۱۳۹۲/۰۳/۲۲ معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

تیوباسیلوس+گوگرد حاصل گردید. کودهای آلی با بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، افزایش محتوی رطوبتی و فراهمی عناصر غذایی در خاک، موجب بهبود خصوصیات رویشی شد و در نهایت، افزایش عملکرد را موجب گردید. مصرف کودهای شیمیایی به دلیل تأثیر بر تحریک رشد رویشی و به‌ویژه تولید سطح برگ و میزان تجمع ماده خشک، تولید مواد فتوسنتزی را بهبود داده که در نتیجه افزایش عملکرد این گونه دارویی را به دنبال داشته است. همچنین مصرف گوگرد به‌صورت تلفیقی با باکتری تیوباسیلوس با کاهش اسیدیته، بهبود جذب فسفر و عناصر کم‌مصرف و در نتیجه افزایش ساخت ATP، موجب افزایش آسیمیلاسیون مواد فتوسنتزی شده که این امر با افزایش توسعه سطح برگ و بهبود ظرفیت فتوسنتزی، در نهایت بهبود عملکرد را موجب گردید. بدین ترتیب، اگرچه فراهمی عناصر غذایی توسط کودهای مختلف آلی و شیمیایی تأثیر به‌سزایی بر بهبود

منابع

- Abd El-Wahab, A.M. 2007. Effect of nitrogen and magnesium fertilization on the production of *Trachyspermum ammi* L. (Ajowan) plants under Sinai conditions. *Journal of Applied Sciences Research* 3(8): 781-786.
- Akhavan, Z., Fallah, A.R., and Rezayi Amroabadi, S. 2012. Effect of sulfur and *Thiobacillus* inoculants on iron, zinc, copper and manganese concentration in canola in greenhouse condition. *Journal of Agronomy and Plant Breeding* 8(3): 191-197. (In Persian with English Summary)
- Atanasov, Z., Slavov, S.I., Koseva, D., Decheva, R., and Gargova, N. 1979. Application of single and compound mineral fertilizers to peppermint. *Plant Science* 1: 61-65.
- Azizi, M. 2000. Evaluation the impact of some environmental and physiological factors on growth and yield and essential oil content of hypericum under agronomic and in vitro conditions. PhD Thesis in Horticultural Sciences, College of Agriculture, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran. (In Persian with English Summary)
- Bachman, G.R., and Metzger, J.D. 2008. Growth of bedding plants in commercial potting substrate amended with vermicompost. *Bioresource Technology* 99: 3155-3161.
- Besharati, H. 2001. Preparing appropriate medium for *Thiobacillus* and study of it's interaction with VAM and grain yield of wheat. PhD Thesis, Tarbiat Modarres University 212 pp. (In Persian with English Summary)
- Cao, H., Zhang, L., and Melis, A. 2001. Bioenergetic and metabolic processes for the survival of sulfur-deprived *Dunaliellasalina* (chlorophyta). *Journal of Applied Phycology* 13: 25-34.
- Cheesman, A.W., Turne, B.L., and Reddy, K.R. 2011. Soil phosphorus forms along a strong nutrient gradient in a tropical Ombrotrophic wetland. *Soil Science Society of America Journal* 76: 1496-1506.
- Clark, R.J., and Menary, R.C. 1980. The effect of irrigation and nitrogen on the yield and composition of peppermint oil (*Mentha piperita* L.). *Australian Journal of Agricultural Research* 31(3): 489-498.
- Dawood, F., Al-Omaqri, S.M., and Murtatha, N. 1985. High level of sulfur affecting availability of some micronutrients in calcareous soil. pp. 55-68. In: Proceeding of Secondary Regional Conference on sulfur and its usage in Arab countries. Riyadh, 2-5 March 1985, Saudi Arabia.
- De Araujo, A.S.F., de Melo, J., and Singh, R.P. 2010. Municipal solid waste compost amendment in agricultural soil: Change in soil microbial biomass. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 9: 41-49.
- Dordas, C. 2009. Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation: partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source-sink relation. *European Journal of Agronomy* 30: 129-139
- Doroudian, H.R., Besharati Kelayeh, H., Fallah Nosrat Abad, A.R., Heidary Sharif Abadi, H., Darvish, F., and Allahverdi, A. 2010. Study of absorbable phosphorus changes in lime soils and its impact on corn yield. *Agricultural*

- Modern Knowledge (Modern Knowledge of Sustainable Agriculture) 6(18): 27-35. (In Persian with English Summary)
- Gardner, F.P., Pearce, B., and Mitchell, R. 1985. Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press, Science 327 pp.
- Iran Nejad, H., Shahbazian, N., and Piri, P. 2006. Evaluation of distribution and nitrogen fertilizer effect on yield of marshmallow as a medicinal plant under Kashan region. The First Regional Conference of Herbs, Spices and Aromatic Plants. Shahrekord, Iran. p. 4. (In Persian)
- Karla, A. 2003. Organic Cultivation of Medicinal and Aromatic Plants. A Hope for Sustainability and Quality Enhancement. Journal of Organic Production of Medicinal, Aromatic and Dye-Yielding Plants (MADPs). FAO.
- Kartikeyan, B.C., Abdul Jaleel, G.M., Lakshmanan, A., and Deiveekasundaram, M. 2008. Studies on rhizosphere microbial diversity of some commercially important medicinal plants. Colloids and Surfaces B: Bionterfaces 62: 143-145.
- Lambers, H., Chapin, F.S., and Pones, T.L. 2008. Plant Physiological Ecology. 2nd Edition Springer. 604 pp.
- Leithy, S., El-Meseiry, T.A., and Abdallah, E.F. 2006. Effect of biofertilizer, cell stabilizer and irrigation regime on rosemary herbage oil quality. Journal of Applied Sciences Research 2: 773-779.
- Maeder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., and Niggli, U. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. Science 296(5573): 1694-1697.
- Mkhabela, M.S., and Warman, P.R. 2005. The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops grown in a pugwash sandy loam soil in Nova Scotia. Agriculture, Ecosystems and Environment 106: 57-67.
- Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Rzvani Moghaddam, P., and Beheshti, A.R. 2001. Agroecology. Ferdowsi University of Mashhad Publication, Mashhad, Iran. (In Persian)
- Omid Beigi, R. 1995. Approaches for Production and Processing of Medicinal Plants. Tarrahan-e-Nashr Publication, Iran. (In Persian)
- Pandey, R. 2005. Management of *Meloidogyne incognita* in *Artemisia pallens* with bio-organics. Phytoparasitica 33: 304-308.
- Pathirathna, L.S.S., Waidyanatha, U.P.De.S., and Peries, O.S. 1989. The effect of apatite and elemental sulfur mixtures on the growth and P content of *Centrocema pubescent*. Fertilizer Research 21: 37-43.
- Patra, D.D., Anwar, M., and Chand, S. 2000. Integrated nutrient management and waste recycling for restoring soil fertility and productivity in Japanese mint and mustard sequence in Uttar Pradesh, India. Agriculture, Ecosystems and Environment 80: 267-275.
- Pimentel, D. 1993. Economics and energies of organic and conventional farming. Journal of Agriculture and Environment Ethics 6: 53-60.
- Pouryousef, M., Chaichi, M.R., and Mazaheri, D. 2007. Effect of different soil fertilizing systems on seed and mucilage yield and seed P content of isabgol (*Plantago ovata* Forsk.). Plant Sciences 6: 1088-1092.
- Rao, B.R.R. 2001. Biomass and essential oil yields of rainfed palmarosa (*Cymbopogon martinii* (Roxb.) Wats. var. motia Burk.) supplied with different levels of organic manure and fertilizer nitrogen in semi-arid tropical climate. Industrial Crops and Products 14: 171-178.
- Roy, D.K., and Singh, B.P. 2006. Effect of level and time of nitrogen application with and without vermicompost on yield, yield attributes and quality of malt barley (*Hordeum vulgare* L.). Indian Journal of Agronomy 51: 40-42.
- Samsam Shariat, H. 1995. Production and Reproduction of Medicinal Plants. Mani Publication, Iran. (In Persian)
- Scott, M.A. 1988. The use of worm-digested animal wastes as a supplement to peat in leaf composts for hardy nursery stocks. p. 221-229. In: Edwards, C.A., and Neuhayser, E. (Eds.) Earthworm in Waste and Environmental Management. SPB Academic Press, Netherlands.
- Shabahang, J., Khorramdel, S., Siahmargue, A., and Gheshm, R. 2016. Evaluation of integrated management of organic manure application and mycorrhiza inoculation on growth criteria, qualitative and essential oil yield of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) under Mashhad climatic conditions. Journal of Agroecology 6(2): 353-363. (In Persian with English Summary)
- Sing, A.K., Bisen, S.S., Sing, R.B., and Biswas, S.C. 1998. Effectiveness of compost towards increasing productivity of some medicinal plants in skeletal soil. Advances in Forestry Research in India 18: 64-83.
- Singh, M., and Guleria, N. 2013. Influence of harvesting stage and inorganic and organic fertilizers on yield and oil

- composition of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) in a semi-arid tropical climate. *Industrial Crops and Products* 42: 37-40.
- Taiz, L., and Zeiger, E. 2006. *Plant Physiology*. The Benjamin Publishing Co. 764 pp.
- Tate, R.L. 1995. The Sulfur and Related Biogeochemical Cycle. p. 359-372. In: *Soil Microbiology*, John Willey and Sons INC, New York.
- Tisdale, S.L., Nelson, W.L., J.D., Beaton and Havlin, J.L. 1993. *Soil Fertility and Fertilizers*. 5th ed. McMillan Publishing Co., New York.
- Tomati, U., Grappei, A., and Gaili, E. 1988. The hormone-like effect of earthworm casts on plant growth. *Biology and Fertility of Soils* 5: 288-294.
- Vance, C.P., Uhde-Stone, C., and Allan, D.L. 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptation by plants for securing a non-renewable resource. *New Physiology* 157: 423-447.
- Vessey, J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. *Plant and Soil* 255: 571-586.
- Zapata, F., and Roy, R.N. 2004. *Use of Phosphate Rocks for Sustainable Agriculture*. A Joint Publication of the FAO Land and Water Development Division and the International Atomic Energy Agency. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2004.
- Joy, P.P., Thomas, J., Mathew, S., and Skaria, B.P. 1998. *Medicinal plants*. Kerala Agricultural University. Aromatic and Medicinal Plants Research Station. Odakkali, Asamanoor P.O., Ernakulam District, Kerala, India 211 pp.



Evaluation of the Integrated Effect of Organic, Chemical and Biological Fertilizers on Yield of Marshmallow (*Althea officinalis* L.) as a Medicinal Plant

S. Khorramdel^{1*}, P. Rezvani Moghaddam², H. Azizi³, J. Shabahang⁴ and M. Seyedi⁵

Submitted: 10-05-2013

Accepted: 05-12-2013

Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., Azizi, H., Shabahang, J., and Seyedi, M. 2018. Evaluation of the integrated effect of organic, chemical and biological fertilizers on yield of marshmallow (*Althea officinalis* L.) as a medicinal plant. Journal of Agroecology. 10(3): 603-619.

Introduction

Medicinal plants have an important role in different industries. So, increasing production of their yields is necessary. Medicinal plants contain phytochemical compounds which have demonstrated bioactive properties. The active principles of the plants are generally secondary metabolites. The use of ecological farming methods, may improve yield and quality. In the last decade, agricultural production, which is mainly based on the use of chemical material, is causing environmental problems. One of the pathways to mitigate this environmental impacts, is to apply the long-term approaches based on the principles of ecological agriculture. Soil microorganisms are the primary metabolites production in the soil can affect the results in the release of phosphorus. Compost can be used as an organic matter in controlling different types of debris and the reduction in fertilizer consumption in agricultural products and mineral absorption elements improve low consumption by plants. Present study aims to investigate the possibility of improving the growth, flower yield, shoot yield, seed yield and yield components of marshmallow as a medicinal plant affected as integrated management of organic, chemical and biological fertilizers.

Materials and Methods

A field experiment was performed as factorial layout 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 2012-2013. The experimental treatments were all combination of organic and chemical fertilizers in four levels (cow manure (40 ton.ha⁻¹), urban compost (40 ton.ha⁻¹), NPK as chemical fertilizer (114, 18 and 220, 40 kg.ha⁻¹) and control) and inoculation with *Thiobacillus* and sulphur application in four levels (including inoculation with *Thiobacillus*, 200 kg.ha⁻¹ sulphur + inoculation with *Thiobacillus*, 200 kg.ha⁻¹ sulphur and control). plant height, leaf areal index_{max} (LAI_{max}), leaf dry weight, stem dry weight, total dry weight, flower, seed yield and yield components such as branch number, capsule number, number seed per capsule and 1000-seed weight and flower, seed and biological yield of marshmallow.

To analyze the variance of the experimental data and drawing of diagrams, MSTAT-C 8 and Excel software was used. All the averages were compared according to Duncan's multiple range test (p≤0.05)

Results and Discussion

The results showed that the effect of organic, chemical and biological fertilizers were significant (p≤0.01) on plant height, LAI_{max}, leaf dry weight, stem dry weight, total dry weight, flower and seed yield, yield components and biological yield of marshmallow. At the end of the growing season, the highest and the lowest LAI_{max} were observed in chemical fertilizer with *Thiobacillus* +sulphur (12.3) and control (1.3). The maximum flower and seed yields were recorded in chemical fertilizer with *Thiobacillus* +sulphur (175.33 and 99.91 g.m⁻²,

1, 2, 3 and 4- Associate Professor, Professor, Ph.D Student and Ph.D Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.

5- Ph.D Department of Plant Production, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh (Former Ph.D. Student, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad), Iran.

(*- Corresponding Author Email: Kkorramdel@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.28104

respectively) and the minimum were obtained in control treatments (32.33 and 9.31 g.m⁻², respectively). Flower yield enhanced up to 100% under chemical, cow manure and compost fertilizers without *Thiobacillus* +sulphur, *Thiobacillus*, sulphur compared to control treatment. Flower yield improved up to 106, 89 and 72% for chemical fertilizer, cow manure and compost application with *Thiobacillus* +sulphur, respectively.

Conclusion

According to the results obtained in the present study, organic, chemical and biological fertilizers had significant effects on growth, shoot yield, flower yield, seed yield, biological yield and yield components of marshmallow. Therefore, due to the high pH of soils in agroecosystems, integrated application of sulphur with *Thiobacillus* inoculation could be considered as an effective approach for soil fertility improvement. organic matter increase soil water holding capacity, improving plant hormone-like activity, increase nutrient uptake by plants, and generally improve the growth and yield of medicinal plant.

Acknowledgement

This research was funded by Vice Chancellor for Research of Ferdowsi University of Mashhad, which is



تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و تلقیح میکوریزایی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی شوید (*Anethum graveolens* L.)

سیده سعیده زنده باد^۱، پرویز رضوانی مقدم^{۲*}، رضا قربانی^۲ و رضا خراسانی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۱/۲۷

زنده باد، س.س.، رضوانی مقدم، پ.، قربانی، ر.، و خراسانی، ر. ۱۳۹۷. تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و تلقیح میکوریزایی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی شوید (*Anethum graveolens* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳): ۶۳۴-۶۲۱.

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و تلقیح میکوریزایی بر شاخص‌های رشدی، عملکرد کمی و کیفی چین‌های مختلف گیاه دارویی شوید (*Anethum graveolens* L.)، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ به اجرا درآمد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. در این مطالعه ۱۲ تیمار که شامل فاکتوریل کود آلی و شیمیایی در چهار سطح (کود دامی، ورمی کمپوست، کود شیمیایی اوره و شاهد) و تلقیح میکوریزایی در سه سطح (*Glomus intraradices* و *Glomus mosseae* و عدم تلقیح) در نظر گرفته شدند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین و کمترین عملکرد بخش سبزینه‌ای به ترتیب در چین دوم و چین سوم معادل ۴۲۵۹ و ۲۰۴۳ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که شاخص سطح برگ، عملکرد بخش سبزینه‌ای، عملکرد ماده خشک، درصد و عملکرد اسانس، بین تیمارهای میکوریزایی با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری داشت. با این وجود بین تیمارهای تلقیح با *G. mosseae* و *G. intraradices* تفاوت معنی‌داری (در سطح پنج درصد) در صفات ذکر شده مشاهده نشد. عملکرد بخش سبزینه‌ای، عملکرد ماده خشک و عملکرد اسانس گیاه دارویی شوید در کودهای آلی (ورمی کمپوست و دامی) به‌طور معنی‌داری بیش از تیمار کود شیمیایی بود. با توجه به نتایج به‌دست آمده به‌نظر می‌رسد استفاده از انواع کودهای آلی در مقایسه با شیمیایی، نقش بیشتری در بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاه شوید داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: چین، عملکرد اسانس، ورمی کمپوست

مقدمه

دارویی و غذایی دارد. از دانه‌های شوید به‌عنوان کاهش‌دهنده چربی به خصوص تری‌گلیسرید خون، پیشگیری و درمان تصلب شرایین و ناراحتی‌های صفراوی استفاده می‌شود (Charles et al., 1995; Mahran et al., 1992; YazdanPanah, 2001). بر اساس مطالعات دراز مدت، کاربرد بیش از حد کودهای شیمیایی بر عملکرد گیاهان تأثیر منفی دارد که ناشی از اسیدی شدن خاک و تأثیر منفی بر فعالیت بیولوژیک و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی می‌باشد (Nassiri Mahalati et al., 2009; Zhengchao et al., 2013). علاوه بر این کاربرد کودهای شیمیایی ضمن اثرات سوءزیست محیطی، هزینه‌های تولید را در دراز مدت افزایش می‌دهد (Ghost & Bhat, 1998). بر اساس تحقیقات انجام شده استفاده از کودهای زیستی یا آلی جهت کاهش مشکلات ذکر شده می‌تواند به

شوید (*Anethum graveolens* L.) گیاهی یک‌ساله، دارویی و از خانواده چتریان^۲ بوده و بومی جنوب غربی و آسیای مرکزی است (Madadi Bonab et al., 2012). این گیاه به سرما حساس نیست و جوانه‌زنی آن در دماهای پایین اتفاق می‌افتد. دوره رویشی این گیاه کوتاه بوده و از رویش بذر تا رسیدن میوه‌ها برابر ۱۰۰ تا ۱۲۰ روز به طول می‌انجامد (Zargari, 1997). شوید مصارف مختلفی در صنایع

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد آگرواکولوژی و استاد گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

*- نویسنده مسئول: (Email: rezvani@ferdowsi.um.ac.ir)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.30996

2- Apiaceae

آلی وابسته است (Douds et al., 1992). انتخاب گونه‌های مؤثر میکوریزا، شرایط آب و هوایی و نیز خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ناحیه ریزوسفر می‌تواند تلقیح گونه‌های میکوریزا با گیاه میزبان خود را تحت تأثیر قرار دهد (Rodríguez Cáceres et al., 1996; Cardoso & Kuyper, 2006).

عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی در ارتباط مستقیم با فراهمی عناصر غذایی از منابع کودهای شیمیایی و به‌ویژه کودهای آلی است (Azizi & Kahrizil, 2008; Darzi et al., 2009). بر اساس توضیحات ذکر شده این آزمایش با هدف بررسی تأثیر کودهای آلی، شیمیایی و تلقیح گونه‌های میکوریزایی بر شاخص‌های رشدی، عملکرد ماده خشک و کیفیت گیاه شوید در هر مرحله چین انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌منظور بررسی اثر تیمارهای مختلف کودهای آلی و تلقیح میکوریزایی بر شاخص‌های رشدی، عملکرد و میزان اسانس دانه شوید در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۲ تیمار در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ اجرا شد.

در این مطالعه کود آلی و شیمیایی به‌عنوان عامل اول در چهار سطح (کود دامی (۱۵ تن در هکتار)، ورمی‌کمپوست (۴/۵ تن در هکتار)، کود شیمیایی نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و شاهد) و تلقیح میکوریزایی به‌عنوان عامل دوم در سه سطح (*G. mosseae*، *G. intraradices* و شاهد (عدم تلقیح میکوریزایی)) در نظر گرفته شدند. مقادیر کودهای دامی و ورمی‌کمپوست بر اساس مقدار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص محاسبه و به‌کار برده شد. لازم به ذکر است با توجه به این که در سال اول بر اساس منابع علمی موجود فقط ۴۰ تا ۵۰ درصد عناصر کود دامی آزاد می‌شود (Mazaheri & Majnoni, 2007). لذا در مقدار کود دامی مورد استفاده این موضوع در نظر گرفته شد.

طور ویژه مورد توجه باشد (Kader et al., 2002; Koocheki et al., 2011).

استفاده از کودهای آلی مانند کود دامی و ورمی‌کمپوست از مهم‌ترین منابع مورد استفاده جهت کاهش وابستگی به نهاده‌های شیمیایی است (Mando et al., 2005; Koocheki et al., 2008). کاربرد کودهای دامی و به‌ویژه ورمی‌کمپوست حاصل از آن که در واقع برگرفته شده از محیط‌زیست می‌باشند، از مهم‌ترین منابع در سیستم‌های کشاورزی ارگانیک بوده که ضمن فراهمی متعادل عناصر غذایی، در راستای تولید پایدار نیز نقش ویژه‌ای دارند (Rodrigues et al., 2006; Dawson et al., 2008). استفاده از کود دامی می‌تواند با بهبود سطح کربن خاک بر فرآیندهای بیولوژیک خاک مؤثر باشد (Parakash et al., 2007). بر اساس نتایج مرادی و همکاران (Moradi et al., 2010) استفاده از کود کمپوست و ورمی‌کمپوست نقش مؤثری در بهبود شاخص‌های رشدی، عملکرد کمی و مقدار اسانس گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgave* Mill.) داشت.

در کنار کاربرد کودهای آلی، استفاده از تلقیح میکوریزایی به عنوان کود بیولوژیک می‌تواند نقش مؤثری در بهبود ساختار خاک دانه‌ها، کاهش اثرات منفی پاتوژن‌های گیاهی، افزایش مقاومت به برخی تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش خشکی و شوری و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر داشته باشد (Cardoso & Kuyper, 2006; Yesmin et al., 2007). تحقیقات گامالرو و همکاران (Gamalero et al., 2004)، نشان داد که تلقیح میکوریزایی می‌تواند نقش مؤثری در افزایش جذب عناصر غذایی و مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزیستی در گیاه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) داشته باشد. بر طبق تحقیقات کابلو و همکاران (Cabelo et al., 2005) استفاده از تلقیح میکوریزا می‌تواند میزان حلالیت و کارایی جذب فسفر در خاک را تا چندین برابر افزایش دهد. با این وجود میزان کارایی جذب عناصر غذایی ناشی از تلقیح میکوریزایی به توانایی ارتباط بین میزبان و میکوریزا، توسعه کلونی در محیط ریشه و خاک اطراف آن در کنار فراهمی مواد

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش

Table 1- Some of physical and chemical properties of experimental field soil

بافت Texture	نیتروژن کل (%) Total N (%)	کربن آلی (%) OC (%)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available K (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available P (mg.kg ⁻¹)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH
لومی سیلنتی Silty loam	0.08	0.49	286	10.25	1.26	8.09

جدول ۲- برخی خصوصیات شیمیایی ورمی کمپوست و کود دامی در آزمایش

Table 1- Some of chemical properties of vermicompost and manure used in experiment

نمونه Sample	نیترژن کل (%) Total N (%)	کربن آلی (%) OC (%)	پتاسیم کل (%) Total K (%)	فسفر کل (%) Total P (%)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH
کود دامی Manure	0.67	-	1.16	0.14	7.4	6.22
ورمی کمپوست Vermicompost	1.49	11.65	1.2	1.16	5.2	6.7

به‌عنوان عامل اصلی و سه چین به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن در سطح پنج درصد مورد مقایسه آماری قرار گرفتند.

نتایج و بحث

اثرات ساده و متقابل تیمارهای آزمایش در جدول ۳ ارائه شده است. به‌دلیل معنی‌دار شدن اثرات متقابل بر شاخص‌های مورد مطالعه شوید، اثرات ساده در آزمایش بررسی نشد.

اثر متقابل میکوریزا و کود

اثرات متقابل کود و میکوریزا بر نسبت برگ به ساقه، عملکرد بخش سبزینه، عملکرد ماده خشک و عملکرد اسانس شوید معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج آزمایش نشان داد که در هر یک از سطوح کاربرد میکوریزا، استفاده از ورمی کمپوست نسبت برگ به ساقه را افزایش داد، به‌طوری‌که در شرایط تلقیح با گونه *Glomus intraradices*، کاربرد این کود آلی منجر به افزایش ۱۶ درصدی نسبت برگ به ساقه در مقایسه با شاهد شد (جدول ۵). همچنین در شرایط عدم تلقیح میکوریزایی نیز کاربرد ورمی کمپوست و کود دامی منجر به افزایش معنی‌دار نسبت برگ به ساقه شد.

بر اساس گزارشات موجود، کاربرد کود دامی و ورمی کمپوست حاصل از آن می‌تواند نقش مثبتی در فراهمی متعادل عناصر غذایی (Dawson et al., 2008)، بهبود ساختار خاک، افزایش توانایی گیاه در جذب عناصر غذایی از خاک (Cardoso & Kuyper, 2006; Parakash et al., 2007) داشته باشد. مک‌گینیس و همکاران (Macginis et al., 2003) نیز در آزمایشی بر روی گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) مشاهده کردند که مصرف توأم کود ورمی کمپوست با میکوریزا به‌طور معنی‌داری بر وزن خشک و تعداد برگ در گیاه اثر گذاشت.

هر یک از کرت‌های آزمایش با ابعاد ۴×۲/۵ (۱۰ مترمربع) ایجاد شد. فاصله کرت‌ها از یکدیگر ۰/۵ متر، فاصله پشته‌ها از یکدیگر ۰/۵ متر و فاصله بلوک‌ها از یکدیگر یک متر تعیین گردید. بر اساس تیمارهای آزمایش، کود دامی و ورمی کمپوست قبل از کشت تا عمق ۲۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط شدند. گونه‌های قارچ میکوریزا همزمان با کاشت به‌صورت تلقیح با خاک در دو لایه پایین و بالای بذرها استفاده شدند. کود شیمیایی نیترژن (از منبع اوره) نیز در سه مرحله به‌ترتیب همزمان با کاشت، مرحله تنک کردن و بعد از ساقه-دهی مورد استفاده قرار گرفت.

با ایجاد کرت‌های آزمایش، بذرها روی پشته‌هایی (بر روی هر پشته دو ردیف در طرفین پشته‌ها) به‌طول چهار متر در هفته سوم اسفند ماه کشت شدند. گیاهچه‌های شوید در مرحله ۴ تا ۶ برگی برای رسیدن به تراکم مورد نظر (فاصله روی ردیف ۷ سانتی‌متر) تنک شدند (Davazdah Emami et al., 2010). اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و سایر آبیاری‌ها تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک به‌صورت هر هفت روز یک‌بار انجام گرفت. در مراحل آزمایش و به‌منظور جلوگیری از کاهش رشد و فعالیت قارچ‌های میکوریزا، از هیچ‌گونه علف‌کش و یا آفت‌کش شیمیایی استفاده نگردید.

جهت بررسی سطح برگ و وزن خشک بوته، در مرحله گل‌دهی، گیاهان از سطحی معادل ۱۷۵۰ سانتی‌مترمربع (۳۵×۵) به‌صورت تصادفی در هر کرت برداشت شدند. با اندازه‌گیری سطح برگ و وزن خشک برگ، شاخص سطح برگ محاسبه شد (Koocheki & Sarmadnia, 1999). عملکرد ماده تر و خشک همراه با عملکرد اسانس با رعایت اثر حاشیه در سطحی معادل دو مترمربع تعیین شد. جهت تعیین درصد اسانس از دستگاه کلونجر استفاده شد (Makkizadeh et al., 2010).

تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS و MSTAT-C انجام گرفت. داده‌های آزمایش به‌دلیل تولید سه چین به‌صورت کرت‌های خرد شده در زمان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد تجزیه آماری قرار گرفتند که در آن تیمارهای کودی

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص‌های مورد مطالعه شوید

Table 3- Variance of analysis (mean of squares) of some studied traits of dill

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن برگ در بوته Leaf weight per plant	وزن ساقه در بوته Stem weight per plant	نسبت برگ به ساقه Leaf / stem ratio	شاخص سطح برگ Leaf area index	عملکرد بخش سبزینه Fresh yield	عملکرد ماده خشک Dry matter yield	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس Essential oil yield
بلوک Block	2	0.0510**	0.104**	0.068 ^{ns}	0.00526**	2212231.70**	67210.84**	0.0352*	8.76**
تیمار Treatment (T)	11	0.0207**	0.1074**	0.194**	0.00094**	6192733.57**	237947.507**	0.0970**	24.3619**
میکوریزا Mycorrhizae	2	0.06**	0.265**	0.024 ^{ns}	0.00260**	15504636.81**	447520.29**	0.0935**	38.33**
کود Fertilizer (F)	3	0.033**	0.18**	0.122 ^{ns}	0.00165**	8809723.94**	375630.87**	0.278**	45.69**
میکوریزا × کود M × F	6	0.0013 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.297**	0.00004 ^{ns}	1780270.64**	99248.23**	0.013 ^{ns}	9.04**
خطای اصلی Error (a)	22	0.0004	0.003	0.069	0.00009	31959.25	2194.43	0.016	0.53
چین (برداشت) Cutting (C)	2	1.1739**	6.554**	19.382**	0.07104**	46817685.63**	1198526.27**	0.569**	117.94**
تیمار × چین T × C	22	0.0088**	0.0974**	0.098 ^{ns}	0.00099**	313250.03**	73291.872**	0.0360**	10.6310**
میکوریزا × چین M × C	4	0.0251**	0.261**	0.078 ^{ns}	0.00265**	225301.57*	33023.91**	0.0714**	12.20**
کود × چین F × C	6	0.0140**	0.169**	0.088 ^{ns}	0.00144**	519068.66**	158350.41**	0.031*	20.22**
میکوریزا × کود × چین M × F × C	12	0.0008 ^{ns}	0.012 ^{ns}	0.114*	0.00021 ^{ns}	239656.87**	44185.25**	0.0277**	5.31**
خطای فرعی Error (b)	48	0.0017	0.010	0.067	0.00017	75533.3	3274.00	0.010	0.96

*, **, * and ns: are significant at the 0.05 and 0.01 levels of probability and no significant, respectively.

جدول ۴- اثرات اصلی سطوح کود و میکوریزا و چین بر شاخص‌های مورد مطالعه شوید
Table 4- Main effects of fertilizer and mycorrhizae on studied characteristics of dill

میکوریزا Mycorrhizae	کود Fertilizer	چین Cutting (C)	وزن برگ در Leaf weight per plant (g)	وزن ساقه در Stem weight per plant (g)	نسبت برگ به ساقه Leaf/ stem ratio	شاخص برگ Leaf area index	عملکرد بخش سبزینه (کیلوگرم در هکتار) fresh yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد ماده خشک (کیلوگرم در هکتار) Dry matter yield (kg.ha ⁻¹)	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس (لیتر در هکتار) Essential oil yield (L.ha ⁻¹)
شاهد Control	-	-	0.14 ^b	0.21 ^b	1.27 ^a	0.04 ^b	2238.03 ^b	349.45 ^b	0.54 ^b	1.91 ^b
<i>G. mosseae</i>	-	-	0.21 ^a	0.36 ^a	1.32 ^a	0.06 ^a	3381.95 ^a	539.75 ^a	0.64 ^a	3.84 ^a
<i>G. intraradices</i>	-	-	0.21 ^a	0.34 ^a	1.29 ^a	0.06 ^a	3367.34 ^a	545.26 ^a	0.61 ^a	3.51 ^a
-	شاهد Control	-	0.14 ^c	0.20 ^c	1.34 ^{ab}	0.04 ^c	2230.52 ^c	348.98 ^d	0.50 ^b	1.79 ^c
-	دامی Manure	-	0.22 ^a	0.39 ^a	1.29 ^{ab}	0.06 ^a	3496.81 ^a	629.63 ^a	0.66 ^a	4.68 ^a
-	ورمی کمپوست Vermicompost	-	0.21 ^a	0.34 ^{ab}	1.35 ^a	0.06 ^{ab}	3359.51 ^a	497.47 ^b	0.70 ^a	3.59 ^b
-	شیمیایی Chemical fertilize	-	0.18 ^b	0.29 ^b	1.20 ^b	0.05 ^b	2896.23 ^b	436.53 ^c	0.51 ^b	2.29 ^c
-	-	چین اول First C.	0.09 ^b	0.04 ^b	1.99 ^a	0.03 ^b	2684.15 ^b	411.23 ^b	0.45 ^c	1.90 ^b
-	-	چین دوم Second C.	0.40 ^a	0.79 ^a	0.53 ^c	0.11 ^a	4259.58 ^a	684.63 ^a	0.70 ^a	5.17 ^a
-	-	چین سوم Third C.	0.08 ^b	0.07 ^b	1.35 ^b	0.03 ^b	2043.58 ^c	338.60 ^c	0.62 ^b	2.19 ^b

* در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

* Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level using Duncan's Multiple Rang Test.

جدول ۵- اثر متقابل کود و میکوریزا بر شاخص‌های مورد مطالعه شوید
 Table 5- Interaction effects of fertilizer and mycorrhizae on studied characteristics of dill

میکوریزا Mycorrhizae	کود Fertilizer	نسبت برگ به ساقه Leaf / stem ratio	عملکرد بخش سبزینه (کیلوگرم در هکتار) Fresh yield (Kg.ha ⁻¹)	عملکرد ماده خشک (کیلوگرم در هکتار) Dry matter yield (Kg.ha ⁻¹)	عملکرد اسانس (لیتر در هکتار) Essential oil yield (l.ha ⁻¹)
شاهد Control	شاهد Control	1.23 ^{bc} _a	1934.86 ^f	329.50 ^d	1.57 ^e
	دامی Manure	1.41 ^{abc}	2174.33 ^{ef}	337.27 ^d	1.90 ^{de}
	ورمی کمپوست Vermicompost	1.51 ^a	2309.39 ^{de}	354.47 ^d	2.59 ^{de}
	شیمیایی Chemical fertilizer	0.93 ^d	2533.53 ^d	376.76 ^d	1.78 ^{de}
<i>G. mosseae</i>	شاهد Control	1.24 ^{bc}	2359.20 ^{de}	350.67 ^d	2.00 ^{de}
	دامی Manure	1.35 ^{abc}	4206.90 ^a	788.31 ^a	6.67 ^a
	ورمی کمپوست Vermicompost	1.49 ^{ab}	3812.26 ^b	559.48 ^b	4.17 ^c
	شیمیایی Chemical fertilizer	1.49 ^{ab}	3149.43 ^c	460.73 ^c	2.70 ^d
<i>G. intraradices</i>	شاهد Control	1.2 ^c	2397.51 ^{de}	366.96 ^d	1.89 ^{de}
	دامی Manure	1.49 ^{ab}	4109.20 ^a	763.41 ^a	5.54 ^b
	ورمی کمپوست Vermicompost	1.39 ^{abc}	3956.90 ^{ab}	578.54 ^b	4.20 ^c
	شیمیایی Chemical fertilizer	1.37 ^{abc}	3005.75 ^c	472.22 ^c	2.59 ^{de}

* در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

* Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level using Duncan's Multiple Rang Test.

G. mosseae، عملکرد اسانس را بیش از چهار برابر افزایش داد (جدول ۵). نتایج آزمایشات کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2008) حاکی از اثرات مثبت کاربرد کودهای زیستی شامل میکوریزا بر صفات رویشی و عملکرد اسانس گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) بود. در تحقیق فریتاس و همکاران (Freitas et al., 2004) بر روی گیاه نعنا (*Mentha piperita* L.) نیز روشن شد که کاربرد چهار گونه قارچ میکوریزا موجب بهبود مقدار اسانس و میزان منتول آن نسبت به شاهد می‌شود.

اثر متقابل میکوریزا و چین

به جز نسبت برگ به ساقه، اثر متقابل میکوریزا و چین بر سایر

نتایج آزمایش نشان داد که عملکرد بخش سبزینه و عملکرد ماده‌ی خشک در اثر تلقیح گونه‌های میکوریزایی به‌علاوه کود دامی نیز به‌طور معنی‌داری بیش از سایر تیمارها بود، به‌طوری‌که کاربرد تیمار ذکر شده، عملکرد بخش سبزینه و عملکرد ماده خشک را تا بیش از دو برابر نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۵). یوشا و همکاران (Usha et al., 2004) نیز به‌نقش مثبت قارچ میکوریزا *Glomus mosseae* در جذب فسفر و افزایش عملکرد ماده خشک در گیاه رازیانه اشاره کردند.

همچنین نتایج آزمایش نشان داد که عملکرد اسانس نیز در اثر کاربرد تلقیحی تیمارهای کود دامی و گونه‌های میکوریزایی افزایش یافت، به‌طوری‌که در مقایسه با شاهد، کاربرد کود ورمی‌کمپوست و

شهری در افزایش وزن خشک گیاه سیاه‌دانه داشت. در تحقیقی دیگر گزارش شد که با افزایش سطوح کمپوست، کلیه خصوصیات رشدی و عملکرد گیاه رازیانه افزایش یافت (Mona et al., 2008).

کاربرد کود دامی و ورمی کمپوست نقش مؤثری در افزایش سطح برگ شوید داشت، به‌عنوان مثال کاربرد کود ورمی کمپوست در چین دوم شاخص سطح برگ را در مقایسه با شاهد ۵۲ درصد افزایش داد (جدول ۷). میر هاشمی و همکاران (Mirhashemi et al., 2009) گزارش کردند که حداکثر مقادیر عملکرد ماده خشک، شاخص سطح برگ گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) به-ترتیب با مصرف ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار کود دامی مشاهده شد.

مشابه وزن برگ، کود دامی و ورمی کمپوست نقش مؤثری در افزایش عملکرد بخش سبزینه، ماده خشک، درصد و عملکرد اسانس شوید داشت. به‌عنوان مثال در زمان چین دوم کاربرد کود دامی در مقایسه با شاهد عملکرد ماده خشک را بیش از دو برابر افزایش داد (جدول ۷).

صفا دوست و همکاران (Safadoust et al., 2007) نقش مؤثر کاربرد کود دامی در افزایش عملکرد را ناشی از اثرات کوتاه مدت و درازمدت بر بهبود خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک، تخلخل، پایداری ساختمان خاک و ظرفیت نگهداری خاک دانستند. در پژوهش دیگری گزارش شد که مصرف کود دامی در تاج‌ریزی *Solanum nigrum* L.) زیست‌توده محصول را به‌میزان بیشتری نسبت به کاربرد کود شیمیایی افزایش داد (Azeez et al., 2010). درزی و همکاران (Darzi et al., 2009) گزارش کردند که استفاده از ورمی-کمپوست در تمامی سطوح (پنج و ۱۰ تن در هکتار)، عملکرد بیولوژیک و اقتصادی گیاه رازیانه را افزایش دهد. بر اساس نتایج جدول ۵، درصد و عملکرد اسانس نیز در چین دوم و استفاده از کود دامی در بیشترین مقدار خود بود.

اثر متقابل میکوریزا و کود و چین

بر اساس نتایج جدول ۳، نسبت برگ به ساقه، عملکرد بخش سبزینه، عملکرد ماده خشک، درصد و عملکرد اسانس گیاه شوید تحت تأثیر اثر متقابل میکوریزا و کود و چین قرار گرفت. همان‌طور که پیش‌تر ذکر گردید، در هر یک از سطوح تلقیح میکوریزا و کاربرد کود، نسبت برگ به ساقه در چین اول به‌طور معنی‌دار بیش از چین دوم و سوم بود (جدول ۸).

شاخص‌های شوید در آزمایش معنی‌دار بود (جدول ۳). بر اساس نتایج آزمایش، در چین اول تلقیح یا عدم تلقیح میکوریزایی اثر معنی‌داری بر وزن برگ و وزن ساقه در بوته نداشت، ولی در چین دوم و سوم تلقیح گونه‌های میکوریزا اثر معنی‌داری در وزن برگ و وزن ساقه در بوته داشت (جدول ۶).

مشابه وزن برگ در بوته، کاربرد گونه‌های *G. mosseae* در چین دوم بیشترین تأثیر معنی‌دار را در افزایش شاخص سطح برگ، عملکرد بخش سبزینه و عملکرد ماده خشک شوید داشت (جدول ۶). به‌عنوان مثال در چین دوم، کاربرد *G. mosseae* در مقایسه با عدم تلقیح میکوریزا باعث افزایش عملکرد معنی‌دار بخش سبزینه و ماده خشک به‌ترتیب تا ۳۴ و ۶۳ درصد شد (جدول ۶). همان‌طور که پیش‌تر به آن اشاره گردید، تلقیح گیاهان دارویی با گونه‌های میکوریزا می‌تواند در افزایش جذب عناصر غذایی و در نتیجه تولید ماده خشک در گیاه نقش مؤثری را ایفا کند (Kuyper, 2006; Yesmin (Cardoso & et al., 2007).

خرمدل و همکاران (Khorramdel et al., 2008) نیز در مطالعه اثر کودهای زیستی شامل قارچ میکوریزا بر گیاه سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.)، مشاهده نمودند که کاربرد کودهای زیستی منجر به افزایش ارتفاع، شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک و سرعت رشد محصول نسبت به شاهد گردید.

همچنین بیشترین درصد اسانس و عملکرد اسانس در نتیجه کاربرد گونه *G. mosseae* در چین دوم مشاهده گردید به‌طوری که در نتیجه کاربرد تیمار ذکر شده در مقایسه با شاهد، عملکرد اسانس در چین دوم بیشتر از دو برابر افزایش یافت (جدول ۶). در بررسی روی دو گیاه دارویی شوید و نوعی زیره سیاه (*Carum carvi* L.) مشاهده شد که کاربرد دو گونه قارچ میکوریزا (VAM) به‌طور قابل توجهی کمیت و کیفیت اسانس دانه آن‌ها را در مقایسه با شاهد بهبود بخشید.

اثر متقابل کود و چین

به جز نسبت برگ به ساقه، اثر متقابل کود و چین بر تمامی شاخص‌های شوید معنی‌دار شد (جدول ۳). بر اساس نتایج آزمایش در نتیجه کاربرد کود دامی و ورمی کمپوست در چین دوم بیشترین وزن برگ و ساقه در بوته مشاهده شد (جدول ۷). بر اساس نتایج اکبر نژاد و همکاران (Akbarnejad et al., 2011) کاربرد کمپوست زباله

جدول ۶- اثر متقابل چین و میکوریزا بر شاخص های مورد مطالعه شوید
Table 6- Interaction effects of cutting and mycorrhizae on studied characteristics of dill

میکوریزا Mycorrhizae	چین Cutting (C)	وزن برگ در بوته Leaf weight per plant (g)	وزن ساقه در بوته Stem weight per plant (g)	شاخص Leaf area index	عملکرد بخش سبزینه (کیلوگرم در هکتار) Fresh yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد ماده خشک (کیلوگرم در هکتار) Dry matter yield (kg.ha ⁻¹)	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس در هکتار) Essential oil yield (l.ha ⁻¹)
شاهد Control	چین اول First C.	0.07 ^{cd*}	0.03 ^d	0.022 ^c	1867.81 ^f	317.743 ^d	0.46 ^d	1.48 ^d
	چین دوم Second C.	0.28 ^b	0.50 ^c	0.077 ^b	3547.42 ^c	489.22 ^b	0.58 ^c	2.88 ^c
	چین سوم Third C.	0.06 ^d	0.07 ^d	0.034 ^c	1298.95 ^e	241.48 ^c	0.56 ^c	1.37 ^d
<i>G. mosseae</i>	چین اول First C.	0.1000 ^c	0.04 ^d	0.032 ^c	3059.63 ^d	451.86 ^b	0.44 ^d	2.000 ^{cd}
	چین دوم Second C.	0.45 ^a	0.98 ^a	0.122 ^a	4767.24 ^a	796.79 ^a	0.83 ^a	7.10 ^a
	چین سوم Third C.	0.08 ^{cd}	0.060 ^d	0.025 ^c	2318.96 ^e	370.69 ^c	0.63 ^{bc}	2.42 ^c
<i>G. intraradices</i>	چین اول First C.	0.1 ^c	0.050 ^d	0.032 ^c	3125.00 ^d	464.08 ^b	0.46 ^d	2.22 ^{cd}
	چین دوم Second C.	0.45 ^a	0.89 ^b	0.120 ^a	4464.18 ^b	767.96 ^a	0.69 ^b	5.53 ^b
	چین سوم Third C.	0.08 ^{cd}	0.06 ^d	0.026 ^c	2512.93 ^e	403.73 ^c	0.68 ^b	2.78 ^c

*در هر ستون میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی دار نمی باشد.
*Means with the same letters in each column are not significantly different at the 0.05 level of probability using Duncan's Multiple Rang Test.

جدول ۷- اثر متقابل چین و کود بر شاخص های مورد مطالعه شوبید

Table 7- Interaction effects of cutting and fertilizer on studied characteristics of dill

کود Fertilizer	چین Cutting (C)	وزن برگ در بوته (گرم) Leaf weight per plant (g)	وزن ساقه در بوته (گرم) Stem weight per plant (g)	شاخص سطح برگ Leaf area index	عملکرد بخش سبزینه (کیلوگرم در هکتار) Fresh yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد ماده خشک (کیلوگرم در هکتار) Dry matter yield (kg.ha ⁻¹)	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس (لیتر در هکتار) Essential oil yield (l.ha ⁻¹)
شاهد Control	چین اول First C.	0.070 ^{bc}	0.03 ^e	0.023 ^d	1802.78 ⁱ	314.27 ^{fg}	0.42 ^e	1.33 ^g
	چین دوم Second C.	0.288 ^c	0.51 ^d	0.077 ^c	3472.22 ^d	463.60 ^d	0.55 ^d	2.59 ^{abcde}
	چین سوم Third C.	0.067 ^d	0.04 ^e	0.033 ^d	1416.77 ^j	269.16 ^e	0.54 ^d	1.45 ^{fg}
دامی Manure	چین اول First C.	0.1000 ^d	0.05 ^e	0.033 ^d	3179.12 ^e	470.30 ^d	0.49 ^{de}	2.30 ^{cde}
	چین دوم Second C.	0.474 ^a	1.04 ^a	0.126 ^e	5082.48 ^a	1063.22 ^a	0.81 ^{ab}	9.24 ^a
	چین سوم Third C.	0.086 ^d	0.06 ^e	0.027 ^d	2228.93 ^{gh}	355.36 ^{ef}	0.67 ^c	2.47 ^{c-f}
ورمی کمپوست Vermicompost	چین اول First C.	0.106 ^d	0.05 ^e	0.033 ^d	3226.01 ^{de}	472.39 ^d	0.49 ^{de}	2.35 ^{c-g}
	چین دوم Second C.	0.435 ^a	0.90 ^b	0.117 ^a	4426.24 ^b	635.05 ^b	0.86 ^a	5.51 ^b
	چین سوم Third C.	0.088 ^d	0.06 ^e	0.027 ^d	2426.24 ^{fg}	385.05 ^e	0.74 ^{bc}	2.91 ^{cd}
کود شیمیایی Chemical fertilizer	چین اول First C.	0.083 ^d	0.04 ^e	0.027 ^d	2528.74 ^f	388.15 ^e	0.42 ^e	1.62 ^{efg}
	چین دوم Second C.	0.390 ^b	0.72 ^c	0.103 ^b	4057.47 ^c	576.63 ^c	0.57 ^d	3.34 ^c
	چین سوم Third C.	0.074 ^d	0.09 ^e	0.028 ^d	2102.49 ^h	344.83 ^{ef}	0.55 ^d	1.93 ^{d-g}

*در هر ستون میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی دار نمی باشد.

*Means with the same letters in each column are not significantly different at the 0.05 level of probability using Duncan's Multiple Rang Test.

جدول ۸- اثر متقابل چین، کود و میکوریزا بر شاخص‌های مورد مطالعه شوید در آزمایش

Table 8- Interaction effects of cutting fertilizer and mycorrhizae on studied characteristics of dill in experiment

میکوریزا Mycorrhizae	کود Fertilizer	چین Cutting (C)	نسبت برگ به ساقه Leaf / stem ratio	عملکرد بخش سبزینه (کیلوگرم در هکتار) Fresh yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد ماده خشک (کیلوگرم در هکتار) Dry matter yield (kg.ha ⁻¹)	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس (لیتر در هکتار) Essential oil yield (l.ha ⁻¹)
شاهد Control	شاهد Control	چین اول First C. (C ₁)	1.50 ^{def*}	1652.2 ^{nop}	344.8 ^{k-o}	0.44 ^{klm}	1.58 ^{i-l}
		چین دوم Second C. (C ₂)	0.77 ^g	3160.9 ^{gh}	431.0 ^{h-k}	0.37 ^m	1.62 ^{i-l}
		چین سوم Third C. (C ₃)	1.41 ^{ef}	991.3 ^q	212.6 ^p	0.66 ^{c-i}	1.49 ^{i-l}
	دامی Manure	C ₁	2.20 ^{ab}	1824.7 ^{mno}	316.1 ^{l-p}	0.47 ^{i-m}	1.51 ^{i-l}
		C ₂	0.56 ^g	3448.2 ^{fg}	471.2 ^{e-j}	0.62 ^{d-k}	2.93 ^{e-l}
		C ₃	1.46 ^{ef}	1250.0 ^{pq}	224.1 ^p	0.55 ^{f-m}	1.26 ^{kl}
	ورمی کمپوست Vermicompost	C ₁	2.39 ^a	1896.5 ^{mno}	296.1 ^{m-p}	0.49 ^{h-m}	1.45 ^{i-l}
		C ₂	0.51 ^g	3629.3 ^{efg}	508.6 ^{d-i}	0.87 ^{ab}	4.49 ^{de}
		C ₃	1.62 ^{c-f}	1402.2 ^{opq}	258.6 ^{op}	0.59 ^{e-l}	1.54 ^{i-l}
	کود شیمیایی Chemical fertilizer	C ₁	1.52 ^{c-f}	2097.7 ^{lmn}	313.8 ^{l-p}	0.44 ^{klm}	1.39 ^{kl}
		C ₂	0.57 ^g	3951.1 ^{ef}	545.9 ^{d-g}	0.45 ^{klm}	2.48 ^{f-l}
		C ₃	0.71 ^g	1551.7 ^{op}	270.1 ^{nop}	0.43 ^{klm}	1.16 ^l
<i>G. mosseae</i>	شاهد Control	C ₁	2.17 ^{ab}	1925.2 ^{mno}	295.9 ^{m-p}	0.39 ^{lm}	1.17 ^l
		C ₂	0.51 ^g	3692.5 ^{ef}	505.7 ^{d-i}	0.71 ^{b-f}	3.61 ^{efg}
		C ₃	1.50 ^{def}	1459.7 ^{opq}	250.0 ^{op}	0.49 ^{h-m}	1.23 ^l
	دامی Manure	C ₁	1.97 ^{a-d}	3913.7 ^{ef}	554.5 ^{def}	0.47 ^{i-m}	2.63 ^{e-l}
		C ₂	0.43 ^g	6135.1 ^b	1396.5 ^a	1.01 ^a	14.30 ^a
		C ₃	1.35 ^f	2571.8 ^{i-l}	413.7 ^{i-l}	0.67 ^{c-h}	2.77 ^{e-l}
	ورمی کمپوست Vermicompost	C ₁	2.00 ^{abc}	3764.3 ^{ef}	545.9 ^{d-g}	0.44 ^{klm}	2.40 ^{f-l}
		C ₂	0.41 ^g	4755.7 ^d	686.7 ^{bc}	0.89 ^{ab}	6.22 ^c
		C ₃	1.29 ^f	2916.6 ^a	445.4 ^{f-k}	0.82 ^{bc}	3.61 ^{efg}
	کود شیمیایی Chemical fertilizer	C ₁	2.16 ^{ab}	2635.1 ^{ijk}	410.9 ^{i-l}	0.43 ^{klm}	1.79 ^{g-l}
		C ₂	0.54 ^g	4485.6 ^d	597.7 ^{cd}	0.70 ^{b-g}	4.27 ^{def}
		C ₃	1.49 ^{def}	2327.5 ^{klm}	373.5 ⁱ⁻ⁿ	0.55 ^{f-m}	2.06 ^{g-l}
<i>G. intraradices</i>	شاهد Control	C ₁	2.17 ^{ab}	1830.4 ^{mno}	301.7 ^{m-p}	0.41 ^{lm}	1.23 ^l
		C ₂	0.56 ^g	3562.2 ^{efg}	454.0 ^{f-k}	0.56 ^{f-m}	2.52 ^{f-l}
		C ₃	1.44 ^{ef}	1798.8 ^{no}	344.8 ^{k-o}	0.46 ^{j-m}	1.61 ^{i-l}
	دامی Manure	C ₁	1.88 ^{b-e}	3798.8 ^{ef}	540.2 ^{d-h}	0.51 ^{g-m}	2.76 ^{e-l}
		C ₂	0.42 ^g	5663.7 ^c	1321.8 ^a	0.78 ^{b-e}	10.49 ^b
		C ₃	1.29 ^f	2864.9 ^{hij}	428.1 ^{ijk}	0.79 ^{bcd}	3.37 ^{e-i}
	ورمی کمپوست Vermicompost	C ₁	1.97 ^{a-d}	4017.2 ^e	574.7 ^{de}	0.55 ^{f-m}	3.20 ^{e-k}
		C ₂	0.55 ^g	4893.6 ^d	709.7 ^b	0.81 ^{bcd}	5.18 ^{cd}
		C ₃	1.36 ^f	2959.7 ^{hi}	451.1 ^{f-k}	0.80 ^{bcd}	3.59 ^{e-h}
	کود شیمیایی Chemical fertilizer	C ₁	1.97 ^{a-d}	2853.4 ^{hij}	439.6 ^{g-k}	0.37 ^m	1.66 ^{h-l}
		C ₂	0.52 ^g	3735.6 ^{ef}	586.2 ^d	0.55 ^{f-m}	3.27 ^{e-j}
		C ₃	1.31 ^f	2428.1 ^{kl}	390.8 ^{j-m}	0.65 ^{c-j}	2.54 ^{f-l}

*در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

*Means with the same letters in each column are not significantly different at the 0.05 level of probability using Duncan's Multiple Range Test.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج آزمایش، کاربرد میکوریزا نقش مؤثری در بهبود خصوصیات رشدی و عملکرد ماده خشک شوید به‌ویژه در چین دوم و

همچنین کمترین عملکرد ماده سبزینه نیز در چین سوم به‌دست آمد. به‌طور کلی، بیش‌ترین عملکرد ماده خشک، درصد و عملکرد اسانس تحت تأثیر کاربرد کود دامی + *G. mosseae* در چین دوم به‌دست آمد (جدول ۸).

سوم داشت. در کنار تلقیح میکوریزا، کاربرد کودهای آلی دامی و ورمی کمپوست می‌تواند نقش مؤثری در افزایش عملکرد شوید در چین‌های مختلف این گیاه داشته باشد. با مصرف تلفیقی تلقیح میکوریزا و کودهای آلی می‌توان باعث کاهش مشکلات ناشی از مصرف کودهای شیمیایی گردید.

منابع

- Adediran, J.A., 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.
- Akbarnejad, F., Astaraei, A.R., Fotovat, A., and Nassiri Mahallati, M. 2011. Effect of municipal solid waste compost and sewage sludge on yield and heavy metal accumulation in soil and black cumin (*Nigella sativa* L.). *Journal of Agroecology* 2: 600-608. (In Persian with English Summary)
- Azeez, J.O., Van Averbeke, W., and Okoragbona, A.O.M. 2010. Differential responses in yield of Pumokin (*Cucurbita maxima* L.) and nightshade (*Solanum retroflexum* Dun) to the application of three animal manures. *Bioresource Technology* 101: 2499-2505.
- Azizi, K., and Kahrizi, D. 2008. Effect of nitrogen levels, plant density and climate on yield quantity and quality in cumin (*Cuminum cyminum* L.) under the conditions of Iran. *Asian Journal of Plant Sciences* 7: 710-716.
- Cabello, M., Irrazabal, G., Bucsinszky, A.M., Saparrat, M., and Schalamuk, S. 2005. Effect of an arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus mosseae*, and a rock-phosphate-solubilizing fungus, *Penicillium thomii*, on *Mentha piperita* growth in a soilless medium. *Journal of Basic Microbiology* 45: 182-189.
- Cardoso, I.M., and Kuyper, T.W. 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 116: 72-84.
- Charles, D., Simon, J., and Widrelechner, M. 1995. Characterization of essential oil of fruits of *Anethum graveolens* L. *Journal of Essential Oil Research* 6: 1-11.
- Darzi, M.T., Ghalavand, A., Sefidkon, F., and Rejali, F. 2009. The effect of mycorrhiza, vermicompost and phosphatic biofertilizer application on quantity and quality of essential oil in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plant* 24: 396-413. (In Persian with English Summary)
- Davazdah Emami, S., Jahansooz, M.R., Sefidkon, F., and Mazaheri, D. 2010. Comparison of planting season effect on agronomic characters and yield of dill (*Anethum graveolens* L.). *Journal of Crops Improvement* 12: 41-47 (In Persian with English Summary)
- Dawson, J.C., Huggins, D.R., and Jones, S.S. 2008. Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agricultural systems. *Field Crops Research* 107: 89-101.
- Douds, J.R., and Millner, P.D. 1999. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 77-93.
- Freitas, M.S., Martins, M.A., and Viera, E.I.J.C. 2004. Yield and quality of essential oils of *Mentha arvensis* in response to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. *Pesquis Agropocuarua Brasileira* 39 (9): 887-894
- Gamalero, E., Trotta, A., Massa, N., Copett, A., Martinotti, M.G., and Berta, G. 2004. Impact of two fluorescent pseudo monads and an arbuscular mycorrhizal fungus on tomato plant growth, root architecture and P acquisition. *Mycorrhiza* 14: 92-185.
- Ghost, B.C., and Bhat, R. 1998. Environmental hazards of nitrogen loading in wetland rice fields. *Environment and Pollution* 102: 123-126.
- Khorrandel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2008. Application effects of bifertilizera on the growth indices of black cumin (*Nigela sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 6: 285-294. (In Persian with English Summary)
- Koocheki, A., Gholami, A., Mahdavi Damghani, A., and Tabrizi, L. 2008. *Organic Field Crop Handbook*. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian)
- Koocheki, A., Jahani, M., Tabrizi, L., and Mohammad Abadi, A.A. 2011. Investigation on the effect of biofertilizer, chemical fertilizer and plant density on yield and corm criteria of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Water and Soil* 25: 196-206. (In Persian with English Summary)

- Koocheki, A., Tabrizi, L., and Ghorbani, R. 2008. Effect of biofertilizers on agronomic and quality criteria of Hyssop (*Hyssopus officinalis*). Iranian Journal of Field Crops Research 6: 127-137. (In Persian with English Summary)
- Macginis, M., Cooke, A., Bilderbac, T., and Lorscheilder, M. 2003. Organic fertilizer for basil transplant production. Acta Horticulture 491: 213-218
- Madadi Bonab, S., Zehtab Salmasi, S., and Ghassemi Golezani, K. 2012. The effect of irrigation and nitrogen fertilizer on morphological characteristics and essential oil percentage and yield of dill (*Anethum graveolens* L.). Journal of Sustainable Agriculture and Production Sciences 22: 92-100. (In Persian with English Summary)
- Mahran, G., Kadry, H., Thabet, C., Olem, N., Azizi, M., Shiff, J., Wong, L., and Liv, N. 1992. GC/MS analyses of volatile oil of fruits of *Anethum graveolens* L. Pharmaceutical Biology 30: 139-144.
- Makkizadeh, M., Chaichi, M., Nasrollhazadeh, S., and Khavazi, K. 2011. The Effect of Biological and chemical Nitrogen Fertilizers on growth, yield and essential oil constituents of dill (*Anethum graveoles* L.). Journal of Sustainable Agriculture and Production Sciences 21: 51-62. (In Persian with English Summary)
- Mazaheri, D., and Majnon Hoseini, N. 2007. Fundamental of Agronomy. Tehran University Press, Tehran, Iran 320 pp. (In Persian)
- Mando, A., Ouattara, B., Sédogo, M., Stroosnijder, L., Ouattara, K., Brussaard, L., and Vanlauwe, B. 2005. Long-term effect of tillage and manure application on soil organic fractions and crop performance under Sudano-Sahelian conditions. Soil and Tillage Research 80: 95-101.
- Mirhashemi, S.M., Koocheki, A., Parsa, M., and Nassiri Mahallati, M. 2009. Evaluating the benefit of Ajowan and Fenugreek intercropping in different Levels of manure and planting pattern. Iranian Journal of Field Crops Research 7: 271-281. (In Persian with English Summary)
- Mona, Y., Kandil, A.M., and SwaefyHend, M.F. 2008. Effect of three different compost levels on fennel and salvia growth character and their essential oils. Biological Sciences 4: 34-39
- Moradi, R., Rezvani Moghaddam, P., Nassiri Mahallati, M., and Lakzian, A. 2010. The effect of application of organic and biological fertilizers on yield, yield components and essential oil of *Foeniculum vulgare* (Fennel.). 7: 625-635. (In Persian with English Summary)
- Nassiri Mahalati, M., Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., and Beheshti, A. 2009. Agroecology. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. 453 pp. (In Persian)
- Parakash, V., Bhattacharyya, R., and Selvakumer, G. 2007. Long term effects fertilization on some properties under rainfed soy bean-wheat cropping in the Indian Himalayas. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 170: 224-223.
- Rodrigues, M.A., Pereira, A., Cabanas, J.E., Dias, L., Pires, J., and Arrobas, M. 2006. Crops use-efficiency of nitrogen from manures permitted in organic farming. European Journal of Agronomy 25: 328-335.
- Rodríguez Cáceres, E.A., González Anta, G., López, J.R., Di Ciocco, C.A., Pacheco Basurco, J.C., and Parada, J.L. 1996. Response of field-grown wheat to inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Bacillus polymyxa* in the semiarid region of Argentina. Arid Soil Research and Rehabilitation 10: 13-20.
- Safadoust, A., Mosadeghi, M.R., Mahboubi, A.A., Norouzi, A., and Asadian, G.H. 2007. Short-term tillage and manure influences on soil structural properties. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 11: 91-100. (In Persian with English Summary)
- Shi, Z.Y., Zhang, L.Y., Ii, X.L., Feng, G., Tian, C.Y., and Christie, P. 2006. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with desert ephemerals in plant communities of Junggar Basin, North West China. Applied Soil Ecology 35: 10-20.
- Yeasmin, T., Rahman, P., Absar, A.N., and Khanum, N.S. 2007. Arbuscular mycorrhizal fungus inoculum production in rice plants. African Journal of Agricultural Research 2: 463-467.
- Zargari, A. 1997. Medicinal Plant. Tehran University Press, Tehran, Iran. (In Persian)



Effects of Organic, Chemical Fertilizers and Mycorrhizae Inoculation on Yield and Yield Components of Dill (*Anethum graveolens* L.) in Different Cuttings

S.S. Zendebad¹, P. Rezvani Moghaddam^{2*}, R. Ghorbani² and R. Khorasani³

Submitted: 13-01-2014

Accepted: 16-04-2014

Zendebad, S.S., Rezvani Moghaddam, P., Ghorbani, R., and Khorasani, R. 2018. Effects of organic, chemical fertilizers and mycorrhizae inoculation on yield and yield components of dill (*Anethum graveolens* L.) in different cuttings. Journal of Agroecology. 10(3): 621-634.

Introduction

Dill (*Anethum graveolens* L.) is an annual medicinal plant belonging to the Apiaceae family and is native to the Southwest and Central Asia. This plant is not susceptible to cold and germination occurs at low temperatures. The vegetative period of this plant is short and from seed emergence till the fruit harvesting reaches 100 to 120 days. Based on long-term studies, excessive use of chemical fertilizers has a negative effect on plant yield resulting soil acidification, negative effect on soil biological activity and physical and chemical properties. In addition, application of chemical fertilizers mean while environmental impacts increases production costs in the long term. According to literatures, the use of organic or biological fertilizers to reduce the mentioned problems can be especially valued.

Materials and Methods

In order to investigate the effects of organic, chemical fertilizers and mycorrhizae inoculation on yield and yield components of dill in different cuts, an experiment was carried out in the Research Station, College of Agriculture, the Ferdowsi University of Mashhad, in 2013. The experiment was carried out in a factorial experiment based on randomized complete block design with three replications. The treatments were all combination of organic and chemical fertilizers in four levels (cow manure, vermicompost, chemical fertilizer and control) and three levels of Mycorrhiza inoculation (*Glomus mosseae*, *Glomus intraradices* and no inoculation). The collected data were analyzed as split-plot design in time based on randomized complete block design (due to having three cuts during growing season). The 12 fertilizer treatments and three cuts were considered as main and sub plots, respectively.

Results and Discussion

The results showed that the highest (4259 kg.ha⁻¹) and the lowest fresh yield (2043 kg.ha⁻¹) were obtained in second cut and third cut, respectively. The results indicated that Leaf Area Index, fresh and dry matter yield, percentage and essential oil yield were significantly different between inoculated mycorrhizae treatments and control treatment. However, there was no significant difference ($p < 0.05$) between *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices* in terms of former mentioned criteria. Fresh and dry matter yield and essential oil yield of dill were significantly higher in organic fertilizers treatments (vermicompost and cow manure) compared with chemical fertilizer. The results showed that using organic fertilizers have a better performance than chemical fertilizers in growing dill both in quality and quantity. The effects of fertilizer and mycorrhiza on leaf/stem ratio, grain yield, dry matter yield and essential oil yield were significant. The results of the experiment showed that in each level of mycorrhizal application, the use of vermicompost increased the leaf/stem ratio, so that, under *Glomus intraradices* inoculum conditions, the use of this organic fertilizer resulted in an increase of 16% leaf/stem ratio compared to the control. Also, in the absence of mycorrhizal inoculation, vermicompost and animal manure application resulted in a significant increase in leaf/stem ratio. The results of the experiment showed that the fresh and dry yield of the vegetative parts of the dill were significantly higher than other treatments in inoculation of mycorrhizal and animal manure treatments, so that the application of the mentioned

1 and 2- MSc. Student of Agroecology and Professor, Department of Agrotechnology Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.

3- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

(*- Corresponding Author Email: rezvani@ferdowsi.um.ac.ir)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.30996

treatment, fresh and dry yield of the vegetative parts increased by two times compared with control treatment. In addition, the results of the experiment showed that the essential oil yield increased as a result of the combined application of animal manure and mycorrhizal treatments, so that the application of vermicompost fertilizer and *G. mosseae* compared to control treatment increased the essential oil yield by more than four times.

Conclusion

According to the results of the experiment, mycorrhizal application has an important role in improving the growth characteristics and dry matter yield, especially in cut II and III. In addition to mycorrhizal inoculation, application of livestock manure and vermicompost can play an important role in increasing the yield of drill at different cutting. Combined use of mycorrhiza inoculum and organic fertilizers can reduce the problems caused by the use of chemical fertilizers.

Keywords: Cutting, Essential oil, Vermicompost



بررسی اثر دامنه وسیع وزن بنه بر رشد و گلدهی زعفران (*Crocus sativus* L.)

علیرضا کوچکی^{۱*}، مهدی نصیری محلاتی^۱، عبدالله ملافیلابی^۲ و علی نوروزیان^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۱۰

کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م.، ملافیلابی، ع.، و نوروزیان، ع. ۱۳۹۷. بررسی اثر دامنه وسیع وزن بنه بر رشد و گلدهی زعفران (*Crocus sativus* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳): ۶۴۶-۶۳۵.

چکیده

به منظور بررسی اثر دامنه وسیع وزن بنه بر رشد و گلدهی زعفران (*Crocus sativus* L.)، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ انجام شد. ده وزن بنه شامل کمتر از ۲، ۱-۲/۱، ۱۰-۱۶/۱، ۱۲-۱۴/۱، ۱۴-۱۶/۱، ۱۸-۲۰/۱، ۲۴-۲۰/۱ و بیشتر از ۲۴ گرم زعفران به عنوان تیمار مدنظر قرار گرفتند. فاکتورهای مورد مطالعه شامل تعداد و وزن تر گل، وزن تر و خشک کلاله، درصد بنه‌های فاقد گل در گروه‌های مختلف وزنی، بنه‌های یک، دو، سه و چهار گل و بیشتر، تعداد کل بنه تولیدی دختر، تعداد بنه‌های تولید شده دختری در گروه‌های وزنی کمتر از ۴، ۴-۸، ۸-۱۲ و بیشتر از ۱۲ گرم بودند. نتایج نشان داد که اثر دامنه وسیع وزن بنه بر تمامی صفات مورد مطالعه زعفران در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین تعداد گل برای وزن بنه بیشتر از ۲۴ گرم برابر با ۱/۳۰۰/۰۰۰ گل در هکتار تولید شد. ۹۹/۳۴ درصد بنه‌های کمتر از ۲ گرم فاقد گل‌آوری بودند. بنه‌های ۱۶ گرم به بالا توان گل‌آوری نداشته و بنه‌های ۲۰/۱ تا ۲۴ گرم و بیشتر از ۲۴ گرم از بالاترین تعداد ۳ و ۴ گل و بیشتر برخوردار بودند. بیشترین عملکرد خشک کلاله نیز به همین تیمارها تعلق داشت که این برتری نسبت به تیمار وزن بنه ۶/۱ تا ۱۰ گرم، ۷۵ درصد افزایش داشت. کمترین و بیشترین تعداد بنه‌های دختری تولید شده به ترتیب مربوط به وزن کمتر از ۲ گرم با ۶۳۰۰۰ بنه، بیشتر از ۲۴ گرم به تعداد ۲۵/۵۵۰/۰۰۰ بنه در هکتار بود و وزن‌های ۱۶-۱۴/۱ گرم و کمتر از ۲ گرم به ترتیب با ۱۱۵ و ۲۵ عدد بنه دختری کمتر از ۴ گرم و وزن‌های بیشتر از ۲۴ تا ۱۰/۱ تا ۱۲ گرم بیشترین و کمترین بنه‌های ۸-۴ گرم را به خود اختصاص دادند. بیشترین بنه‌های ۸ تا ۱۲ گرم و بیشتر از ۱۲ گرم مربوط به وزن بنه بیشتر از ۲۴ گرم و کمترین آن‌ها به وزن کمتر از ۲ گرم و ۲/۱ تا ۶ گرم اختصاص داشت.

واژه‌های کلیدی: بنه دختری، تعداد گل، وزن تر کلاله، وزن خشک کلاله

مقدمه

زعفران گران‌ترین محصول کشاورزی و دارویی جهان از جایگاه ویژه‌ای در بین محصولات صنعتی و صادراتی ایران برخوردار است، به طوری که بیش از ۹۰ درصد از تولید زعفران دنیا به ایران تعلق دارد (Arsalan et al., 2006; Mohammad-Abadi et al., 2006). کابالرو- ارتگا و همکاران (Caballero-Ortega et al., 2000) اظهار داشتند که زعفران ایران، دارای بیشترین غلظت کروسین، پیکروکروسین و سافرانال می‌باشد. ایران بزرگ‌ترین تولیدکننده و صادرکننده زعفران در جهان است و بیش از ۹۵ درصد تولید جهانی این محصول گران‌بها به ایران اختصاص دارد (Kafi et al., 2002). استان‌های خراسان رضوی و جنوبی، دو قطب عمده

زعفران (*Crocus sativus* L.) به عنوان گیاهی ادویه‌ای، افزودنی و طعم‌دهنده در صنایع غذایی مورد استفاده است، علاوه بر آن دارای کاربردهای دارویی متعددی نیز می‌باشد (Hossienzadeh & Sadeghnia, 2005; Maggi et al., 2010; Siracusa et al.,

۱- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استادیار، گروه زیست فناوری مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، ایران
۳- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(*- نویسنده مسئول: Email: akooch@um.ac.ir)

که وزن بنه، اثر چشم‌گیری بر تولید بنه‌های دختره و متعاقب آن عملکرد گل در زعفران داشت (Kumar et al., 2009). نتایج برخی دیگر از مطالعات نیز مؤید بهبود گل‌آوری زعفران تحت تأثیر کاشت بنه‌های مادری درشت‌تر می‌باشد (Singh et al., 1994; Nassiri, 2008). بنابراین، کاشت بنه‌های با وزن بنه بیش از ۱۰ گرم برای دستیابی به عملکرد بالا در زراعت زعفران مورد تأکید برخی محققان می‌باشد (Sadeghi, 1993).

نتایج تحقیقات نشان داده است که با افزایش وزن بنه تعداد گل‌ها نیز اضافه می‌شود، به طوری که بیشترین گلدهی برای بنه‌های ۲۲/۵، ۲۳/۵، ۲۶/۵ گرم به ترتیب با تولید ۲/۲، ۳/۴، ۲/۶ گل به ازای هر بنه در سال‌های اول تا سوم به دست آمد (Mashayekhi et al., 2006). همچنین در تحقیق دیگری ثابت شده است که بنه‌های درشت‌تر از توان گل‌آوری بالاتری برخوردارند (Sadeghi, 2012). این موضوع در تحقیقات توسط دیگر محققان نیز مشخص شده است که با بیشتر شدن وزن بنه زعفران، پتانسیل گلدهی و عملکرد اقتصادی در سال اول بهبود می‌یابد (Mollafilabi, 2012; Benabaji et al., 2012; Gowhar et al., 2012). ملافیلابی (Mollafilabi, 2012) گزارش نمود که بنه‌های تا شش گرم در سال اول از توان گل‌آوری برخوردار نبوده و بیشترین گل و تعداد جوانه از بنه‌های با وزن ۳۰ گرم به بالا به ترتیب، به تعداد ۳/۶ و ۷/۳ جوانه از هر بنه به دست آمد. نتایج مطالعه رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2013) نیز نشان داد که افزایش وزن بنه‌های با کمتر از ۵ گرم به بیشتر از ۸ گرم باعث بهبود وزن کلاله در هر دو سال بیش از ۱۰۰ درصد شد. نتایج برخی دیگر از تحقیقات نیز با بررسی ارتباط بین وزن بنه مادری و عملکرد زعفران، تأثیر مثبت بنه‌های درشت‌تر در تولید بنه‌های دختره بزرگ‌تر و بهبود عملکرد را مورد تأیید قرار داده است (Badyiyala & Saroch, 1977; Kaushal & Upadhyay, 2002; Omidbaigi et al., 2002; Nassiri Mahallati et al., 2008). مولینا و همکاران (Molina et al., 2005) دلیل بهبود عملکرد را در شرایط استفاده از بنه‌های درشت‌تر به تقسیم سلولی سریع‌تر و در نتیجه تسریع در وقوع مراحل فنولوژیکی نسبت دادند.

همچنین به نظر می‌رسد که افزایش قطر بنه از طریق افزایش احتمال سبز شدن و تعداد برگ‌ها، درصد گل‌آوری و پتانسیل گلدهی زعفران را به طور مثبتی تحت تأثیر قرار دهد. در همین راستا، کاشت بنه‌هایی با قطر بیشتر از سه سانتی‌متر با وزن تقریبی ۱۰ گرم توصیه

تولید زعفران در کشور محسوب می‌شوند (Mollafilabi & Shoorideh, 2009). سطح زیر کشت این گیاه در ایران در سال ۱۳۹۰ بالغ بر ۷۲۱۶۲ هکتار بود که بیش از ۷۰۰۰۰ هکتار آن به دو استان‌های خراسان رضوی و جنوبی (۵۷۰۰۰ هکتار به خراسان رضوی و ۱۳۰۰۰ هکتار به خراسان جنوبی) اختصاص داشت (Jihad Keshavarzi Khorasan Razavi, 2012). بدیهی است که از طریق افزایش تولید و توسعه صادرات زعفران به روش صحیح می‌توان درآمد ارزی قابل اطمینانی را برای کشور تأمین کرد. شناخت عوامل افزایش‌دهنده کمیت و کیفیت محصول در بوم-نظام‌های زراعی، امری الزامی بوده که باید جهت دستیابی به عملکرد مطلوب مورد توجه قرار گیرد (Koocheki et al., 1997). عوامل زیادی نظیر اقلیم، علف‌های هرز، بیماری‌ها، آبیاری، تاریخ کاشت، کاربرد انواع کودها اعم از شیمیایی، بیولوژیک و حیوانی در تعیین کمیت و کیفیت محصول ارزشمند زعفران نقش به‌سزایی دارند. از جمله دلایل پایین بودن عملکرد در نواحی زعفران‌کاری سنتی ایران مربوط به استفاده از بنه‌های کوچک و با وزن کم می‌باشد (Hemmati-Kakhki & Hosseini, 2003)؛ در حالی که در اسپانیا از بنه‌های درشت، با وزن بالا و سالم استفاده می‌شود (Rashed-Mohassel et al., 1989).

از آن‌جا که در زعفران مرحله رشد زایشی قبل از رشد رویشی رخ می‌دهد (Kafi et al., 2002)، مشخص است که ذخیره اندام‌های زیرزمینی و به‌ویژه بنه می‌تواند نقش مؤثری بر گلدهی و در نتیجه عملکرد داشته باشد. رضوانی (Ramezani, 2000) با بررسی اثر وزن بنه بر عملکرد گل زعفران در نیشابور گزارش کرد که اثر وزن بنه بر عملکرد گل معنی‌دار بود، به طوری که استفاده از بنه‌های درشت‌تر تنها باعث بهبود تولید گل در سال اول شد، بلکه از طریق تولید تعداد بنه‌های دختره بیشتر نیز منجر به بهبود گلدهی و افزایش کارایی مزرعه در سال‌های بعدی گردید. تحقیقات نشان داده است که برای کاشت باید بنه‌های با وزن بیشتر از ۸ گرم انتخاب شوند، زیرا بنه‌های درشت‌تر تنها در سال اول از تولید و عملکرد مناسبی برخوردارند، بلکه از طریق تولید بنه‌های دختره بیشتر و درشت‌تر نیز ظرفیت گل‌آوری و عملکرد مزرعه را در سال‌های بعد افزایش می‌دهند (Ghasemi Rooshnava et al., 2009). نتایج تحقیقات مانا (Mana, 2003) نشان داد که وزن بنه زعفران به‌طور معنی‌داری گلدهی و عملکرد را تحت تأثیر قرار داد. همچنین گزارش شده است

ویژه‌های برخوردار است. بنابراین، این مطالعه با هدف بررسی اثر دامنه وسیع وزن بنه بر رشد و گلدهی زعفران در شرایط آب و هوایی مشهد انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح) در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ اجرا شد. قبل از کاشت جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری به صورت تصادفی انجام گرفت (جدول ۱).

شده است (Pandy & Srivastava, 1979). تفاوت یک سانتی‌متر در قطر بنه می‌تواند منجر به افزایش تولید زعفران تا سه برابر گردد (Molina et al., 2010). تمایز بین وزن‌های متفاوت بنه از طریق تغییر قطر، یکی دیگر از توصیه‌های زراعی مفید می‌باشد، زیرا افزایش قطر بنه، سایر خصوصیات رشد و عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Molina et al., 2010).

با توجه به جایگاه استراتژیک زعفران در کشاورزی ایران و نقش به‌سزای آن در صادرات جهانی، انجام مطالعه در زمینه بهبود و مدیریت زراعت این گیاه می‌تواند نقش مهمی در توسعه این محصول بومی ایران داشته باشد. به هرحال علی‌رغم این که وزن بنه مادری زعفران تأثیر به‌سزایی بر میزان عملکرد آن دارد، ولی تاکنون از وزن بنه مناسب و استاندارد جهت کشت برای گلدهی و بررسی خصوصیات رشد بنه تحقیق چندانی انجام نگرفته است، لذا هرگونه بررسی که در جهت بالا بردن میزان تولید محصول این گیاه انجام گیرد، از اهمیت

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Soil physical and chemical properties of soil

درصد آهک T.N.V (%)	درصد اشباع SP (%)	شن (درصد) Sand (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	رس (درصد) Clay (%)	نیترژن (درصد) N (%)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم (میلی- گرم بر کیلوگرم) K (mg.kg ⁻¹)	اسیدیته pH	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS.m ⁻¹)
17.66	36.77	30	47	43	0.054	33	270	8.15	0.599	1.638

گیری شده شامل تعداد بنه‌های فاقد گل، تعداد بنه‌های تک گل، دو گل، سه گل، چهار گل و بیشتر، تعداد کل بنه‌های دختری و تعداد بنه‌های دختری در گروه‌های وزنی کمتر از ۴، ۴-۸، ۸-۱۲ و بیشتر از ۱۲ گرم بود. در طی دوره گلدهی زعفران، تعداد و وزن گل و وزن تر کلاله به صورت روزانه اندازه‌گیری و در پایان دوره گلدهی نیز وزن خشک کلاله براساس روش هوا خشک در سایه با ترازوی ۰/۰۰۰۱ گرم حساسیت توزین و مشخص شد. تعداد کل بنه‌ها و عملکرد بنه‌های دختری گروه‌بندی شده به صورت تخریبی از مساحتی معادل ۰/۲۵ مترمربع تعیین شد. برای تعیین وضعیت چندگلی بنه‌ها، به جای قطع کردن گل‌ها از انتهای پایینی غلاف جام در هر برداشت، گل‌ها به وسیله ناخن از زیر جام گل قطع شدند. بدین ترتیب، میله غلاف گل به عنوان علامتی باقی گذاشته شد تا امکان ردیابی ظهور گل‌های جدید در برداشت‌های بعدی وجود داشته باشد. برای آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.1 استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

ده گروه وزنی بنه مادری شامل کمتر از ۲، ۲-۶، ۶-۱۰، ۱۰-۱۲، ۱۰/۱، ۱۲/۱-۱۴، ۱۴/۱-۱۶، ۱۶/۱-۱۸، ۱۸/۱-۲۰، ۲۰/۱-۲۴ و بیشتر از ۲۴ گرم به عنوان تیمار مدنظر قرار گرفتند. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم اولیه، دیسک و لولر انجام و سپس اقدام به کرت-بندی زمین به ابعاد ۱×۱ متر با فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر (تراکم ۵۰ بنه در مترمربع) شد. بین کرت‌ها ۴۰ سانتی‌متر و بین بلوک‌ها یک متر فاصله به عنوان راهرو در نظر گرفته شد. عملیات کاشت بنه‌ها در ۱۳ شهریور ماه در عمق ۱۵ سانتی‌متر خاک با استفاده از دست انجام گرفت. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و دومین آبیاری به صورت سبک یک هفته بعد از آبیاری اول با هدف تسهیل در خروج جوانه-های گل‌های زعفران از خاک انجام شد. در فاصله دو آبیاری نیز یک مرتبه سله‌شکنی صورت گرفت. عملیات مبارزه با علف‌های هرز نیز بنابر ضرورت در طول فصل رشد انجام شد. برداشت دستی گل‌ها در اواسط آبان ماه به صورت روزانه و عملیات برداشت بنه در نیمه اول خرداد ماه انجام شد. صفات اندازه-

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر دامنه وزن بنه‌ها بر خصوصیات کمی گل و بنه زعفران
 Table 2- Variance of analysis (mean of squares) for the effects of corm weight on quantitative characteristics of flower and corm of saffron

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	تعداد گل Flower number	تعداد بنه بدون گل Number of corm without flower	تعداد بنه تک گل Number of corm with one flower	تعداد بنه ۲ گل Number of corm with two flowers	تعداد بنه سه گل Number of corm with three flowers	تعداد بنه ۴ گل و بیشتر Number of corm with four and more flowerds	تعداد روزهای گلدهی Days of flowering
تکرار Replication	2	0.862	16.668	0.336	0.604	0.172	0.89	8.97
تیمار Treatment	9	53.368**	158.355**	12.456**	14.028**	3.645**	1.234**	145.458*
خطا Error	18	0.129	12.6	0.247	0.367	0.085	0.084	4.11

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

* and **: are significant at the 5 and 1 probability levels, respectively.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر وزن بنه بر خصوصیات کمی گل و بنه زعفران
 Continued Table 2- Variance of analysis (mean of squares) for the effect of corm weight on quantitative characteristics of flower and corm of saffron

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن تر گل Fresh weight of flower	وزن تر کلاه Fresh weight of Stigma	وزن خشک کلاه Dry weight of Stigma	تعداد بنه دختری Number of daughter corm	تعداد بنه کمتر از ۴ گرم Number of corms with <4 g	تعداد بنه ۴-۸ گرم Number of corms with 4-8 g	تعداد بنه ۸-۱۲ گرم Number of corms 8-12 g	تعداد بنه بیشتر از ۱۲ گرم Number of corms with >12 g
تکرار Replication	2	0.136	0.073	0.002	121.811	165.08	0.056	0.112	91.09
تیمار Treatment	9	21.856**	1.32**	0.134**	14903.533**	8987.028**	0.78**	0.67**	1693.305**
خطا Error	18	0.34	0.029	0.001	102.11	93.88	0.033	1.032	13.054

* و **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

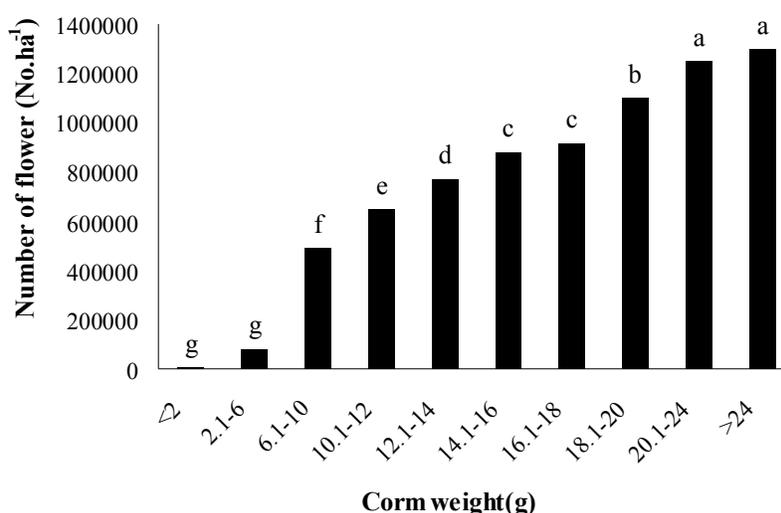
** : is significant at the 1 probability level.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر دامنه وزن بنه مادری بر خصوصیات رشد و عملکرد کمی زعفران در جدول ۲ ارائه شده است.

تعداد گل: بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تعداد گل زعفران به طور معنی داری تحت تأثیر دامنه وزنی بنه مادری قرار گرفت ($p \leq 0.01$) (جدول ۲). همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده است،

با افزایش وزن بنه تعداد گل زعفران نیز افزایش یافت، به طوری که بنه های کمتر از ۲ گرم کمترین میزان گل را تولید نمودند و بیشترین تعداد گل مربوط به بنه های با ۲۴-۲۰/۱ و بیشتر از ۲۴ گرم به ترتیب با ۱/۳۵۰/۰۰۰ و ۱/۳۰۰/۰۰۰ گل در هکتار بود (شکل ۱).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر وزن بنه بر تعداد گل زعفران

Fig. 1- Mean comparisons for the effect of corms weight on flower number of saffron

میانگین های دارای حروف متفاوت، بر اساس آزمون دانکن دارای تفاوت معنی داری می باشند ($p \leq 0.05$).

Means with the different letters have significant difference according to Duncan's test ($p \leq 0.05$).

آوری تأثیر داشته و بنه های درشت تر تعداد گل های بیشتری تولید می نمایند، مطابقت دارد. پاندی و همکاران (Pandy et al., 1973) نیز خاطر نشان ساختند که با افزایش قطر بنه، رشد، عملکرد و تعداد گل زعفران افزایش یافت.

تعداد بنه های فاقد گل، تک گل، دو گل، سه گل، چهار

گل و بیشتر: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر وزن های مختلف بنه بر تعداد گل در بنه زعفران معنی دار ($p \leq 0.01$) بود (جدول ۳)، به طوری که در وزن بنه کمتر از دو گرم، ۹۹/۳۴ درصد بنه ها فاقد گل و وزن های ۲۴-۲۰/۱ و بیشتر از ۲۴ گرم دارای صد درصد گلدهی بودند (جدول ۴).

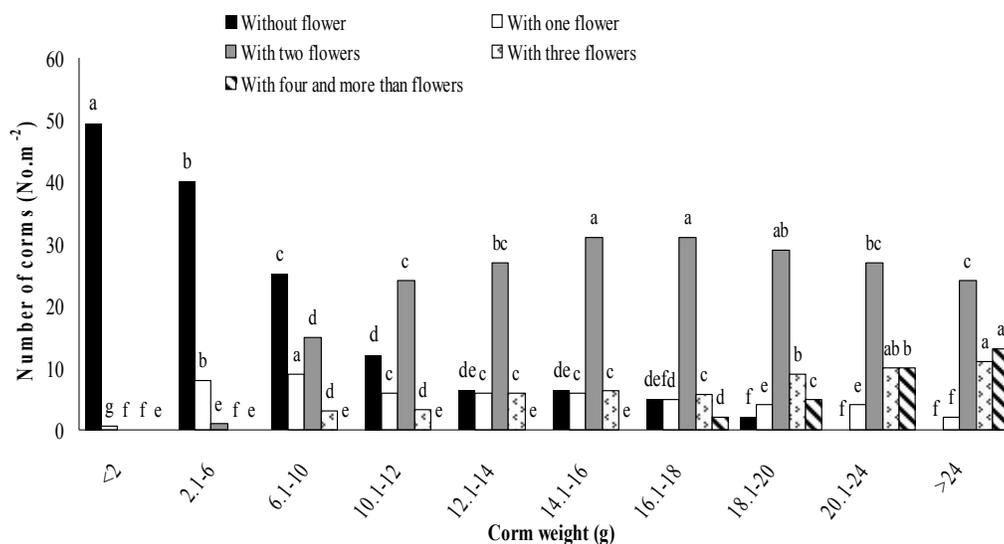
از آن جا که وزن بنه یکی از عوامل اصلی تعیین کننده ظرفیت گلدهی زعفران می باشد (Kafi et al., 2002; Molina et al., 2005)، لذا با افزایش وزن بنه مادری، تعداد گل نیز بهبود یافت. بدیهی است هرچه بنه های مادری از ذخیره غذایی بیشتری برخوردار بوده و درشت تر باشند، احتمال وجود جوانه های فعال نیز افزایش یافته که در نتیجه افزایش گلدهی را به دنبال خواهد داشت، به عبارت دیگر، مواد غذایی اندوخته شده در بنه های مادری به عنوان منشأ اصلی مواد ذخیره ای برای تشکیل و تکوین گل ها به عنوان سازنده مواد فتوسنتزی مطرح می باشند. این نتیجه با نتایج دیماستر و روتا (Demaastro & Ruta, 1993) که اعلام نمودند اندازه بنه بر گل-

جدول ۴- درصد بنه‌های با و بدون گل زعفران در وزن‌های مختلف بنه
Table 3- Percentage of saffron corms with and without flower affected by different weights

تعداد بنه (تعداد در مترمربع) Corm number (No.m ⁻²)	وزن بنه (گرم) Corm weight (g)									
	>2	2.1-6	6.1-10	10.1-12	12.1-14	14.1-16	16.1-18	18.1-20	20.1-24	>24
با گل With flower	0.66	18	66	81.5	83	89.5	93.5	93.5	100	100
بدون گل Without flower	99.34	82	34	18.5	17	10.5	6.5	6.5	0	0

مشخص شد که بنه‌های درشت‌تر، تعداد گل بیشتری تولید کرده و از عملکرد اقتصادی بالاتری نیز برخوردار بودند (Mashayekhi, 2006; Molina et al., 2010). نتایج مطالعه صادقی (Sadeghi, 1993) مؤید این مطلب است که پتانسیل گلدهی بنه‌های با وزن پایین محدود می‌باشد. نتایج مطالعه مشایخی و همکاران (Mashayekhi et al., 2006) نیز نشان داد که وزن بنه مادری، پتانسیل گلدهی و به تبع آن تعداد گل را به‌طور مثبتی تحت تأثیر قرار داد.

همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌گردد، با افزایش وزن بنه مادری، درصد گلدهی بنه‌ها نیز افزایش یافت، به طوری که گلدهی برای بنه‌های با وزن کمتر از ۲ و ۲/۱-۶ گرم به ندرت رخ داد، در حالی که کاشت بنه‌های ۱۸-۱۶/۱ گرم، باعث تولید سه گل و بیشتر شد (جدول ۴). این موضوع بیانگر آن است که کاشت بنه‌های مادری درشت‌تر از طریق افزایش وجود جوانه‌های فعال و در نتیجه بهبود درصد بنه‌های گل‌آور موجب افزایش تعداد گل می‌شود (شکل ۲). با مقایسه اثر وزن بنه بر تعداد بنه‌های دو، سه، چهار گل و بیشتر



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر دامنه وسیع وزن بنه مادری بر تعداد بنه‌های فاقد گل، دارای یک، دو، سه، چهار گل و بیشتر زعفران
Fig. 2- Mean comparisons for the effect of different corm weights on corm number without flower and with one, two, three, four and more flowers of saffron

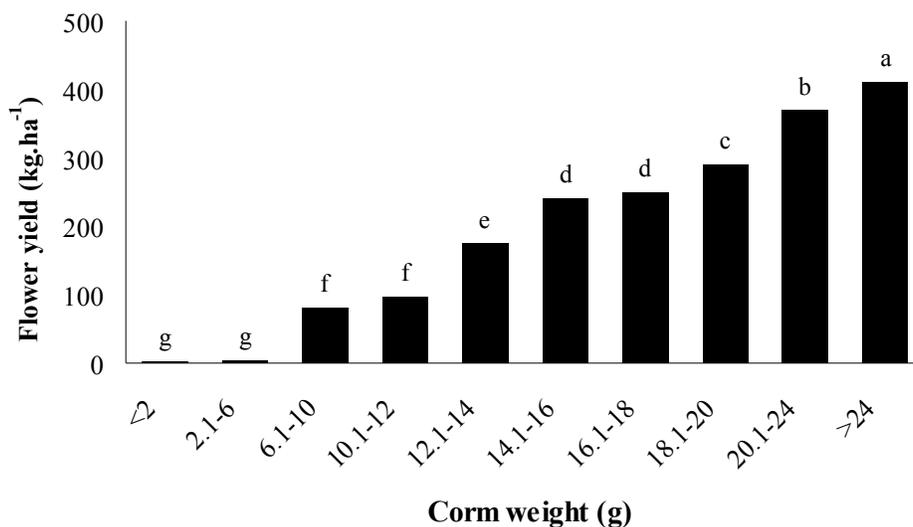
میانگین‌های دارای حروف متفاوت برای هر جزء، بر اساس آزمون دانکن دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند ($p \leq 0.05$).
Means with the different letters for each component have significant difference according to Duncan's test ($p \leq 0.05$).

بنه قرار گرفت ($p \leq 0.01$) (جدول ۲). به طوری که بنه‌های با وزن ۲۰-۱۸/۱، ۲۴-۲۰/۱ و بیشتر از ۲۴ گرم از نظر وزن گل، وزن تر و خشک

وزن تر گل و وزن تر و خشک کلاله: وزن تر گل و وزن تر و خشک کلاله زعفران به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر وزن‌های مختلف

به طوری که عملکرد گل این گروه وزنی نسبت به گروه وزنی ۱۰-۱۶/۱ گرم، ۷۵ درصد افزایش عملکرد نشان داد (شکل ۳).

کلاله نسبت به گروه‌های وزنی با وزن کمتر برتری داشتند (شکل‌های ۳ و ۴). به طور کلی، وزن‌های ۲۴-۲۰/۱ و بیشتر از ۲۴ گرم از وزن خشک کلاله بیشتری نسبت به سایر گروه‌های وزنی برخوردار بودند.

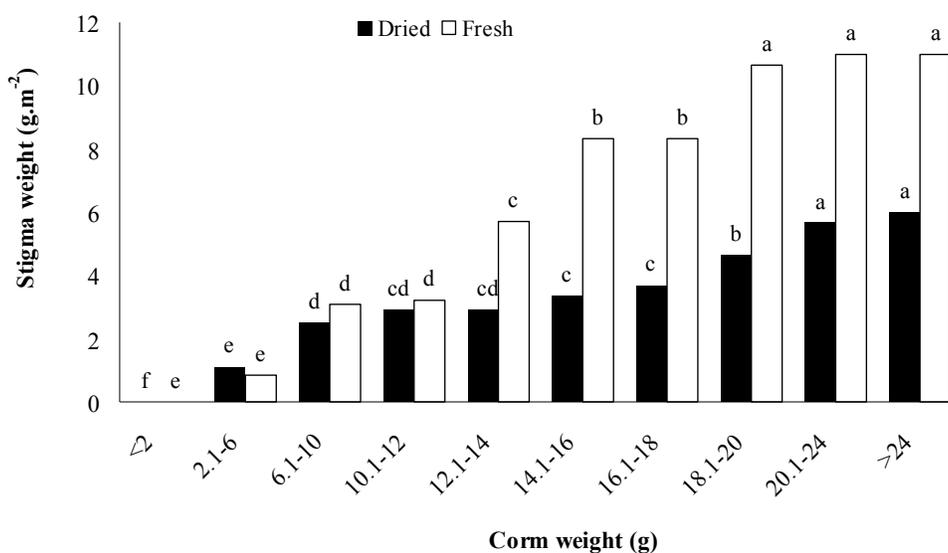


شکل ۳- مقایسه میانگین اثر دامنه وسیع وزن بنه بر عملکرد گل زعفران

Fig. 3- Mean comparisons for the effect of different corm weights on flower yield of saffron

میانگین‌های دارای حروف متفاوت، بر اساس آزمون دانکن دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند ($p \leq 0.05$).

Means with the different letters have significant difference according to Duncan's test ($p \leq 0.05$).



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر دامنه وسیع وزن بنه بر وزن تر و خشک کلاله زعفران

Fig. 4- Mean comparisons for the effect of different corm weights on fresh and dried stigma weights of saffron

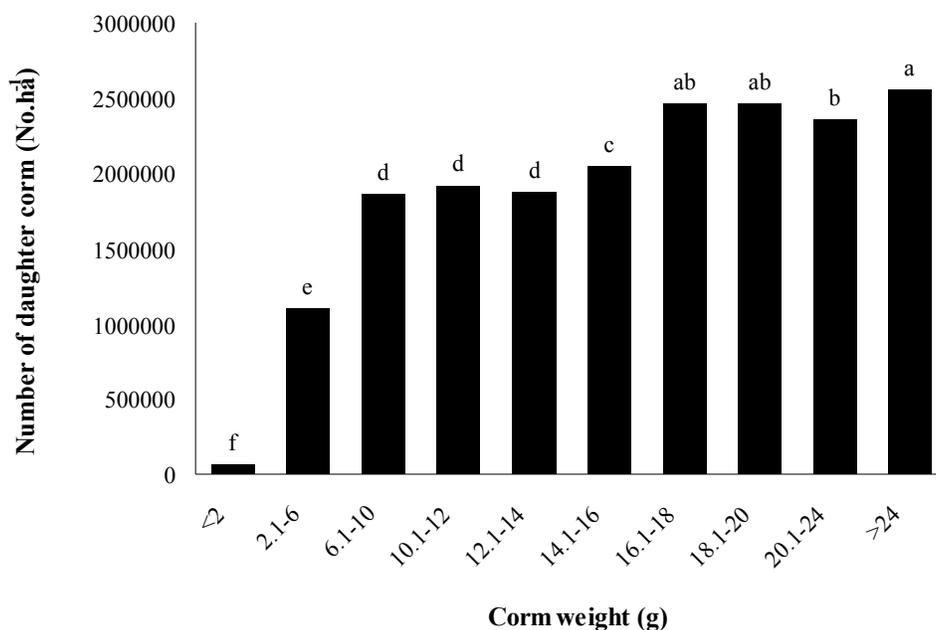
میانگین‌های دارای حروف متفاوت، بر اساس آزمون دانکن دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند ($p \leq 0.05$).

Means with the different letters have significant difference according to Duncan's test ($p \leq 0.05$).

شکل ۵ نشان داده شده است، افزایش وزن بنه موجب افزایش تولید بنه‌های دختره شد، به طوری که تعداد بنه دختره برای وزن بنه ۶-۲ گرم ۲/۱ برابر تعداد بنه دختره بنه مادری با وزن کمتر از ۲ گرم نسبت بود. وزن بنه، اثر معنی‌داری بر تولید بنه‌های دختره و متعاقب آن عملکرد گل در زعفران داشت (Kumar et al., 2009)، به طوری که استفاده از بنه‌های مادری درشت‌تر از طریق افزایش تولید بنه دختره بر تولید گل در گیاه زعفران اثر مثبت می‌گذارد (Demastor & Ruta, 1993). بررسی‌ها نیز نشان داده است که بنه‌های بزرگ‌تر و درشت‌تر از طریق تقسیم سلولی بیشتر و سریع‌تر، تولید بنه دختره بیشتری دارند (McGimpsey et al., 1997).

نتایج مطالعات مختلف مولینا و همکاران (Molina et al., 2002; Molina et al., 2005) نشان داد که اندازه بنه مادری به‌ویژه در سال اول تأثیر به‌سزایی را بر بهبود عملکرد دارد. این موضوع با تحقیقات انجام شده دیگران مطابقت دارد (Sadeghi, 2012; Mollafilabi, 2012; Benabaji et al., 2012; Daneahvar & Jamalpour, 2012).

تعداد کل بنه‌های دختره: اثر وزن بنه مادری بر تعداد بنه‌های دختره تولید شده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش وزن بنه، تعداد بنه‌های دختره تولید شده افزایش یافت، به گونه‌ای که وزن‌های بنه کمتر از ۲ و بیشتر از ۲۴ گرم به ترتیب با ۲۵۵۵۰۰ و ۶۳۰۰۰ بنه دختره در هکتار بیشترین و کمترین میزان بنه دختره را تولید نمودند (شکل ۵). همان‌گونه که در



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر دامنه وسیع وزن بنه بر تعداد بنه دختره زعفران
Fig. 5- Mean comparisons for the effect of different corm weight on number of daughter corm of saffron

میانگین‌های دارای حروف متفاوت، بر اساس آزمون دانکن دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند ($p \leq 0.05$).

Means with the different letters have significant difference according to Duncan's test ($p \leq 0.05$).

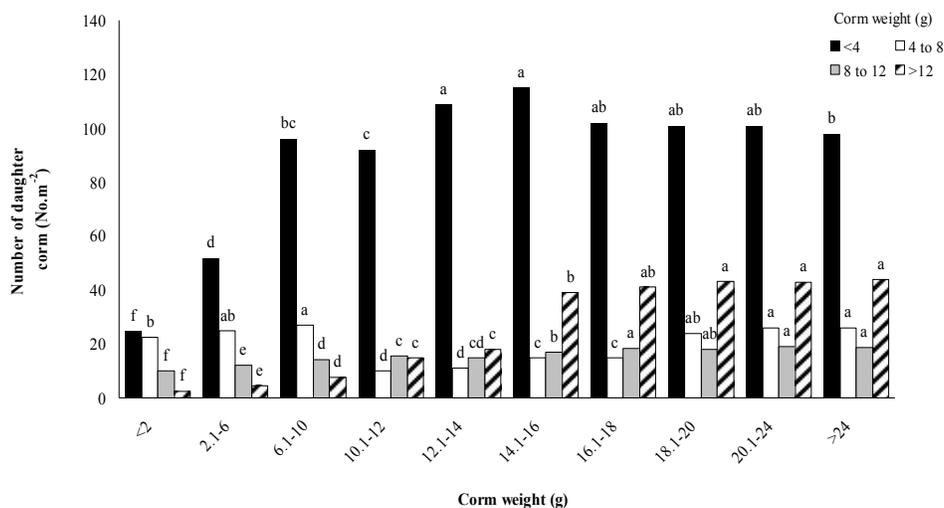
۲). به طوری که وزن‌های ۱۶-۱۴/۱ و کمتر از ۲ گرم به ترتیب با ۱۱۵ و ۲۵ بنه دختره بیشترین و کمترین تعداد بنه دختره کمتر از چهار گرم را به خود اختصاص دادند. بیشترین و کمترین بنه‌های دختره با وزن ۸-۴ گرم به ترتیب مربوط به وزن‌های بیشتر از ۲۴ و ۱۲-۱۰/۱

تعداد بنه‌های دختره در گروه‌های مختلف وزنی: اثر

وزن بنه مادری بر تعداد بنه‌های دختره تولید شده زعفران در گروه‌های مختلف وزنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول

۲ و ۶-۱/۲ اختصاص داشت (شکل ۶).

گرم بود. بالاترین تعداد بنه‌های دختری ۸-۱۲ گرم و بیشتر از ۱۲ گرم به وزن بیشتر از ۲۴ گرم و پایین‌ترین تعداد به وزن‌های کمتر از



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر دامنه وسیع وزن بنه بر تعداد بنه‌های دختری در گروه‌های مختلف وزنی بنه زعفران

Fig. 6- Mean comparisons for the effect of different corm weights on number of daughter corms in different weight groups of saffron

میانگین‌های دارای حروف متفاوت، بر اساس آزمون دانکن دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشند ($p \leq 0.05$).

Means with the different letters have significant difference according to Duncan's test ($p \leq 0.05$).

افزایش وزن بنه مادری بر تمام خصوصیات رویشی و زایشی زعفران تأثیر مثبت داشت.

سپاسگزاری

هزینه این طرح از محل پژوهش شماره ۱۶۴۹۶/۲ معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش وزن بنه مادری زعفران از طریق افزایش تعداد بنه دختری موجب افزایش تعداد و وزن تر گل شد که در نهایت، بهبود وزن تر و خشک کلاله را به دنبال داشت. بنه‌های با وزن بیشتر به دلیل برخورداری از مواد ذخیره‌ای بیشتر و پتانسیل بالاتر برای فعال نمودن جوانه‌های رویشی و زایشی، تعداد گل بیشتری تولید نمودند. به‌طور کلی، نتایج این مطالعه نشان داد که

منابع

- Arslan, N., Gubruz, B., Dpek, A., Ozcan, S., Sarthan, E., Daeshian, A.M., and Moghadassi, M.S. 2006. The effect of corm size and different harvesting times on saffron (*Crocus sativus* L.) regeneration. Proceedings of the 2nd International Symposium on Saffron Biology and Technology. 28-30 October, Mashhad, Iran p. 113-117.
- Badiyala, D., and Soroeh, K. 1997. Effect of seed corm size and planting geometry on saffron (*Crocus sativus* L.) under dry temperate conditions of Himachal Pradesh. Iranian Journal of Perfumer 41: 147-169. (In Persian with English Summary)
- Benabaji, M.H., Mokhtarian, A., and Tavakoli-Kakhki, H. 2012. The effects of Plant density and corms size on saffron (*Crocus sativus* L.) corm production in nursery. In: 4th International Saffron Symposium. October 22-25. Kashmir, India.
- Caballero-Ortega, H., Pereda-Miranda, R., Riverón-Negrete, L., Hernández, J.M., Medécigo-Ríos, M., Castillo-

- Villanueva, A., and Abdullaev, F.I. 2000. Chemical composition of saffron (*Crocus sativus* L.) from four countries. ISHS Acta Horticulturae 650. 1st International Symposium on Saffron Biology and Biotechnology, Spain, Albacete p. 321-326.
- Daneshvar, M.H., and Jamalpure, Z. 2012. Study of corm size and planting depth effectiveness on flowering index and leaf number of saffron (*Crocus sativus* L.) in Mollasani (Khouzestan) climatic condition, Iran. In: 4th International Saffron Symposium. October 22-25, Kashmir, India.
- De Mastor, G., and Ruta, C. 1993. Relation between corm size and saffron (*Crocus sativus* L.) flowering. Acta Horticulture 344: 510-517.
- Ghasemi-Rooshnavand, R., Hashemiyeh, M., and Afzalian, M. 2009. Planting, conservation and harvesting stages of saffron. Yazd Agriculture Organization, Iran 132, P33. (In Persian)
- Gowhar, A., Nehvi, F.A., Ameetue, A., Naseeri, S., Iqbal, A.M., and Sammer, R. 2012. Effect of corm size and weight on daughter corm for motion in saffron (*Crocus sativus* L.). In: 4th International Saffron Symposium. October 22-25. Kashmir, India.
- Hemmati-Kakhki, A., and Hosseini, M. 2003. A review: An saffron researches in institute of research for developing technology. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian)
- Hosseinzadeh, H., and Sadeghnia, H.R. 2005. Safranal: a constituent of *Crocus sativus* (saffron), attenuated cerebral ischemia induced oxidative damage in rat hippocampus. Journal of Pharmacy and Pharmaceutical, Science 8(3): 394-399.
- Jihad Keshavarzi Khorasan Razavi. 2012. Report on agronomic research for saffron. (In Persian)
- Kafi, M., Rashed Mohassel, M.H., Koocheki, A., and Mollafilabi, A. 2002. Saffron: Production and Processing. Ferdowsi University of Mashhad Publication, Mashhad, Iran 244 pp. (In Persian)
- Kaushal, S.K., and Upadhyay, R.G. 2002. Studies on variation in corm size and effect on corm production and flowering in saffron (*Crocus sativus* L.) under mid-hill conditions of Himachal Pradesh. Research on Crops 3: 126-128.
- Koocheki, A., Soltani, A., and Azizi, M. 1997. Plant Eco-physiology. Iranian Academic Center for Education, Culture and Research, Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian)
- Kumar, R., Virendra, S., Kivan, D., Sharma, M., Singh, M.K., and Ahuya, P.S. 2009. State of art saffron (*Crocus sativus* L.) agronomy, a comprehensive review. Food Reviews International 25: 44-85.
- Maggi, L., Carmona, M., Zalacain, A.D., K anakis, C., Anastasaki, E.A., Tarantilis, P.G., Polissiou, M.L., and Alonso, G. 2010. Changes in saffron volatile profile according to its storage time. Food Research International 43: 1329-1334.
- Mana, K.R. 2003. Growing saffron the world, As most expensive spice. New Zealand. In: Statute for Crop and Food Research Ltd a Crown Research Institute.
- Mashayekhi, K., Soltani, A., and Kamkar, B. 2006. The relationship between corm weight and total flower and leaf numbers in saffron. Proceedings of the 2nd International Symposium on Saffron Biology and Technology. Mashhad, Iran 28-30 October, p. 93-96.
- Mc Gimpsey, J.A., Douglas, M.H., and Wallace, A.R. 1997. Evaluation of saffron (*Crocus sativus* L.) production in New Zealand. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 25: 159-168.
- Mohammad-Abadi, A.A., Rezvani Moghaddam, P., and Sabori, A. 2006. Effect of plant distance on flower yield and qualitative and quantitative characteristics of forage production of saffron (*Crocus sativus* L.) in Mashhad conditions. Proceedings of the 2nd International Symposium on Saffron Biology and Technology. Mashhad, Iran 28-30 October, p. 151-153.
- Molina, R.V., Renav-Morata, B., Nevauer, S.G., Garcia-Lusi, A., and Guardial, Y.L. 2010. Green house saffron culture temperature effects on flower emergence and regenerative growth the plants. Acta Horticulturae 850: 91-94.
- Molina, R.V., Valero, M., Navarro, Y. J., Guardiola, L., and Garcia-Luice, A. 2005. Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativa*). Scientia Horticulture 103: 361-379.
- Mollafilabi, A. 2012. Effect of extensive range of corm weight on yield components and Flowering characters of saffron (*Crocus sativus* L.) under greenhouse conditions. In: 4th International Saffron Symposium. October 22-25. Kashmir, India.
- Mollafilabi, A., and Shoorideh, H. 2009. The new methods of saffron production. The 4th National Festival of Saffron, Khorasan- Razavi, 27-28 October, Mashhad, Iran. (In Persian)

- Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Boroumand Rezazade, Z., and Tabrizi, L. 2008. Effect of corm size and storage Period on allocation of assimilates in different parts of saffron Plant (*Crocus sativus* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 5(1): 155-166. (In Persian with English Summary)
- Omidbaigi, R., Betti, G., Sadeghi, B., and Ranezani, A. 2002. Influence of the bulb weight on the productivity of saffron (*Crocus sativus* L.) results of a cultivation study on Khorasan (Iran). Journal of Medicinal and Spice Plant 7: 38-40. (In Persian with English Summary)
- Pandy, D., and Srivastava, R.P. 1979. A note on the effect of size of corms on the sprouting and flowering of saffron. Progressive Horticulturae 6: 89-92.
- Ramezani, A. 2000. Study the effects of corm weight on saffron yield at Neyshabour condition. PhD Thesis in Agronomy (Crop Ecology), Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian)
- Rashed-Mohassel, M.H., Hemmati-Kakhi, A., Bagheri, A.R., and Sadehi, B. 1991. The mission report of Iranian experts to Spain. IROST, Mashhad Center. Mashhad, Iran. (In Persian)
- Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., Shabahang, J., and Amin Ghafouri, A. 2013. Evaluation of planting method, corm weight and density on growth characteristics and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Agroecology 3(1): 52-68. (In Persian with English Summary)
- Sadeghi, B. 1993. Effect of corm weight on saffron flowering. IROST, Mashhad Center. Mashhad, Iran. (In Persian)
- Sadeghi, B. 2012. Effect of corm weight on saffron (*Crocus sativus* L.) flowering (Research II). In: 4th International Saffron Symposium. October 22-25, Kashmir, India.
- Singh, C., Ram, G., and Kaul, B.L. 1994. Saffron studies in Kishtwar: effect of corm size at planting on control production and flowers yield in saffron (*Crocus sativus* L.). Indian Perfumer 38: 82-84.
- Siracusa, L., Gresta, F., Avola, G., Lombardo, G.M., and Ruberto, G. 2010. Influence of corm provenance and environmental condition on yield and apocarotenoid profiles in saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Food Composition and Analysis 23(5): 394-900.

Effects of Extensive Range of Corm Weights on Saffron (*Crocus sativus* L.) Growth and Flowering

A. Koocheki^{1*}, M. Nassiri Mahallati¹, A. Mollafilabi² and A. Noroozian³

Submitted: 18-02-2014

Accepted: 01-09-2014

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Mollafilabi, A., and Noroozian, A. 2018. Effects of extensive range of corm weights on saffron (*Crocus sativus* L.) growth and flowering. Journal of Agroecology. 10(3): 635-646.

Introduction

Saffron (*Crocus sativus* L.) as a spice crop, additive, and flavoring is applied in food industries. Saffron also is applied in medicine as a drug. It has a specific site in Iran exports, so that 90% of saffron production belongs to Iran. In 2016 Iran has been the largest producer of saffron with 336 ton and cultivation area of 105270 ha. Provinces of Khorasan-Razavi and Southern Khorasan are the two main centers of saffron production in Iran. Environmental factors have considerable effects on quantitative and qualitative characters of saffron. Low yield of saffron in traditional farming systems can be due to application of small size corms. Corm size or corm weight is one of the most important factors affecting saffron yield. Research in this regard and finding out a standard size for planting saffron are among research directions for saffron research and development.

Materials and Methods

This experiment was arranged as randomized complete block design (RCBD) with 10 treatments and three replicates at the research farm of college of agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (latitude 36 and 16 north and longitude 59 and 36 east and altitude 985m) in cropping year of 2012-2013. Ten weight groups of mother corms were as follows: <2, 2.1-6, 6.1-10, 10.1-12, 12.1-14, 14.1-16, 16.1-18, 18.1-20, 20.1-24 and >24 g as treatments. Land preparation included primary plough, disc and leveler and then to plot the land as 1×1 m with between rows 20 cm as plant density of 50 corms.m⁻². Picking saffron flowers occurred in late October as daily basis and corm lifting occurred in June. Measured characters were, number of corms without flowers, number of one flower corms, number of double flower corms, number of three flower corms, four flower corms and higher ones, total number of sister corms, number of sister corms in weight groups of <4, 4-8, 8-12, and >12 g. Data analysis was performed with SAS 9.1 and mean comparisons with duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

Results and Discussion

Corm weight is very important in flowering capacity of saffron. So, by increasing weight of mother corm, number of flowers may improve. Based on results obtained from variance analysis, number of saffron flowers was affected significantly by weight corms of mother corms ($p \leq 0.01$). By increasing corm weight number of saffron flowers increased so that corms less than 2 g produced least flowers and highest number of flowers related to 20.1-24 and 24 g corms with 1250000 and 1300000 flowers.ha⁻¹. These findings have been confirmed another place. Findings of this research showed that the most critical factor affecting saffron flowering is corm weight that is among the few factors affect flowering. We know that there is a positive relationship between corm diameter and corm weight. Some authors apply corm diameter and some other use corm weight but most authors use corm weight.

Conclusion

It was concluded that increasing weight of mother corms through increasing number of sister corms caused to increase number of flowers that finally was followed by improvement of dry stigma. Increasing mother corm weight had positive effects on all vegetative and reproductive characters of saffron.

Keywords: Daughter corm, Dry weight of stigma, Fresh weight of stigma, Number of flower

1- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

2- Assistant Professor at Department of Food Biotechnology, Research Institute of Food Science and Technology (RIFST), Iran.

3- PhD student in Agroecology, of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

(*- Corresponding author Email: akooch@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.32435

بهینه‌سازی مصرف کود در گندم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از شاخص تغذیه نیتروژن

مهدی نصیری محلاتی^{۱*} و علیرضا کوچکی^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۵/۰۱

نصیری محلاتی، م.، و کوچکی، ع. ۱۳۹۷. بهینه‌سازی مصرف کود در گندم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از شاخص تغذیه نیتروژن. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳): ۶۴۷-۶۶۵.

چکیده

به منظور تعیین شاخص تغذیه نیتروژن برای ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) آزمایشی مزرعه‌ای با آرایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. دو فاکتور آزمایش عبارت بودند از سه رقم گندم (چمران، گاسکوژن و سایونز) و چهار سطح مصرف نیتروژن (صفر، ۵۵، ۱۱۰ و ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار). میزان ماده خشک و درصد نیتروژن قسمت‌های هوایی طی پنج نوبت در دوره رشد رویشی اندازه‌گیری شد. با استفاده از این داده‌ها غلظت‌های بحرانی و منحنی بحرانی رقیق شدن نیتروژن محاسبه و با منحنی رقیق شدن مرجع برای گندم مقایسه شد. منحنی حاصل از این تحقیق غلظت‌های بحرانی را کمتر از منحنی مرجع برآورد کرد، البته ضرایب معادله به ضرایب منحنی مرجع نزدیک و با آن قابل مقایسه بود. به‌طور کلی، منحنی رقیق شدن و جذب بحرانی نیتروژن کمبود، کفایت و بیش بود نیتروژن در قسمت‌های هوایی گندم را در سطوح مختلف مصرف این نهاده به‌خوبی توصیف کرد. در تیمارهای شاهد و 55 kg N.ha^{-1} هر سه رقم گندم در شرایط محدودیت نیتروژن قرار داشتند. در حالی که در تیمار 170 kg N.ha^{-1} مقدار نیتروژن تجمع یافته در گیاه بیشتر از نیاز رشدی بود، در تیمار 110 kg N.ha^{-1} جذب نیتروژن در ارقام تحت بررسی به مقادیر بحرانی بسیار نزدیک بود. شاخص تغذیه نیتروژن (NNI) از نسبت غلظت اندازه‌گیری شده نیتروژن در قسمت هوایی به نسبت بحرانی آن محاسبه شد. در تیمارهای شاهد و 55 kg N.ha^{-1} مقدار NNI در تمام دوره رویشی کمتر از یک بود در حالی که در تیمار 110 kg N.ha^{-1} در حدود یک و در تیمار 170 kg N.ha^{-1} بین ۱ تا $1/3$ قرار داشت. شاخص تغذیه نیتروژن در مرحله گلدهی رابطه معنی‌داری با عملکرد نسبی ارقام گندم داشت و حداکثر عملکرد هر سه رقم تحت بررسی در NNI بین ۱-۰/۹ حاصل شد. بین پروتئین دانه و NNI در مرحله گلدهی نیز رابطه خطی معنی‌داری وجود داشت. بر اساس یافته‌های این تحقیق با استفاده از شاخص تغذیه نیتروژن که بر مبنای منحنی رقیق شدن این نهاده محاسبه می‌شود می‌توان برآورد دقیقی از سرعت رشد محصول، تولید ماده خشک، عملکرد و تا حدودی پروتئین دانه به‌دست آورد و مقدار بهینه کود نیتروژن را برای دستیابی به هر سطحی از عملکرد دانه تعیین نمود.

واژه‌های کلیدی: پروتئین دانه، جذب بحرانی نیتروژن، عملکرد دانه، غلظت بحرانی نیتروژن، منحنی رقیق شدن بحرانی نیتروژن

مقدمه

مهم‌ترین این اهداف می‌باشند (Dobermann & Cassman, 2004; Singh, 2005). از سوی دیگر در میان انواع نهاده‌های شیمیایی مورد استفاده در نظام‌های رایج، کودهای نیتروژنی بیشترین سهم را در افزایش تولید محصولات زراعی در طی قرن گذشته داشته‌اند. در طی ۴۰ سال گذشته مصرف کودهای نیتروژن در سطح جهان هفت برابر و به موازات آن تولید غذا از بوم‌نظام‌های کشاورزی دو برابر شده است (Eickhout et al., 2006). در ایران نیز در فاصله سال‌های ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ مصرف کودهای نیتروژنی در بوم‌نظام‌های تولید گندم نه برابر و عملکرد گندم حدود ۳/۵ برابر افزایش یافته (Nassiri Mahallati

کشاورزی که در قرن گذشته صرفاً بر تولید بیشتر متمرکز بود امروزه علاوه بر عملکرد، اهداف زیست‌محیطی و اکولوژیکی دیگری را نیز دنبال می‌کند. پیامدهای روش مدیریت سیستم‌های زراعی، عواقب زیست‌محیطی مصرف نهاده‌ها، کیفیت محصول تولید شده، کارایی استفاده از نهاده‌ها و به‌طور کلی، پایداری نظام تولید از جمله

۱- استاد، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(Email: mnassiri@um.ac.ir

*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jag.v10i3.32578

معادل غلظت بحرانی آن حفظ شود، منحنی رقیق شدن اصطلاحاً منحنی رقیق شدن بحرانی نیتروژن^۴ نامیده می‌شود (Gastal & Lemaire, 2002). در واقع غلظت بحرانی نیتروژن، غلظت مینا در هر مرحله‌ای از رشد و در هر شرایط محیطی است و مقایسه نیتروژن موجود در قسمت هوایی با مقادیر بحرانی آن، کمبود، کفایت و به‌طور کلی وضعیت نیتروژن در گیاه را با دقتی بالا مشخص می‌سازد (Houles et al., 2007). محققین مختلف با استفاده از این مفهوم بررسی‌های جامعی را برای تعیین نیازهای کودی محصولات زراعی و پیش‌بینی سرعت رشد بر اساس وضعیت نیتروژن ارائه کرده‌اند (Olesen et al., 2002; Mills et al., 2009; Cassman et al., 2002).

شاخص تغذیه نیتروژن^۵ که عبارتست از نسبت غلظت واقعی نیتروژن گیاه به غلظت بحرانی آن شاخصی است که سرعت تجمع ماده خشک را در مرحله‌ای از رشد بر اساس میزان جذب نیتروژن توصیف کرده و به کمک آن می‌توان عملکرد ماده خشک مورد انتظار در هر مقدار مصرف نیتروژن را به‌صورت کمی برآورد کرد و از آن به‌عنوان ابزاری برای توصیه‌های کودی استفاده نمود (Lemaire & Gastal, 1997; Gastal & Lemaire, 2002).

بخش عمده پژوهش‌های انجام شده در ایران بر توصیه‌های کودی در جهت افزایش عملکرد تمرکز یافته است و خلاء مطالعات کاربردی در مورد الگوهای بهینه مصرف کودها کاملاً محسوس می‌باشد. مطالعات انجام شده در مورد مصرف کودهای نیتروژنی در گیاهان زراعی از جمله گندم در ایران عمدتاً به اجرای آزمایشات توصیه کودی محدود می‌باشد. اجرای این نوع آزمایشات که در سایر کشورها نیز متداول می‌باشند به‌منظور مقایسه عملکرد در تیمارهای مختلف کودی و در نهایت توصیه مقدار مناسب کود برای حصول عملکرد بالا صورت می‌گیرد. نتایج این آزمایشات بسیار متغیر بوده (Koocheki et al., 2013) و تصمیم‌گیری بر اساس یافته‌های این پژوهش‌ها دشوار است. ارزیابی وضعیت نیتروژن گیاه از طریق تعیین منحنی رقیق شدن نیتروژن به‌ندرت در تحقیقات انجام شده در ایران بررسی شده است. رستمی (Rostami, 2009) در آزمایشی این منحنی را برای ارقام ذرت (*Zea mays* L.) برآورد نمود تا به‌عنوان

(Koocheki, 2013) با این حال آلودگی‌های محیط زیست نظیر پرغذایی^۱ آب‌های شیرین و اکوسیستم‌های آبی و مسائل مرتبط با تغییر اقلیم از یک سو و تضمین امنیت غذایی از سوی دیگر، بهبود کارایی مصرف نیتروژن در بوم‌نظام‌های زراعی را به چالش مهمی پیش روی محققین تبدیل کرده است (Lemaire et al., 2008a; Fageria & Baligar, 2005).

ارزیابی واکنش گیاهان زراعی به نیتروژن معمولاً با برآورد کارایی مصرف نیتروژن و نیز بر اساس منحنی‌های بازده نزولی بین عملکرد و میزان مصرف کودهای نیتروژن صورت می‌گیرد (Cassman et al., 2002) ولی هر دو روش تابع محیط بوده، بسیار متغیرند و به‌مقدار مصرف، زمان مصرف و نوع کود نیتروژن بستگی دارند. تصمیم نتایج این آزمایشات به‌دلیل اختلافات محیطی در میزان بارندگی، درجه حرارت و تشعشع ناشی از محل و سال، باعث برآورد بیش از اندازه نیاز کودی گیاه به نیتروژن خواهد شد (Scharf, 2001). بنابراین برای بهینه‌سازی مصرف این نوع کود به‌منظور حصول حداکثر بهره‌وری، به روش‌هایی نیاز است که از قطعیت بیشتری برخوردار باشند.

تحقیقات انجام شده در طی ۳۰ سال گذشته منجر به ارائه رهیافتی کاربردی بر اساس اکوفیزیولوژی جذب و توزیع نیتروژن در گیاهان زراعی شده است (Lemaire & Gastal, 1997; Lemaire & Gastal, 2009). گرین وود و همکاران (Greenwood et al., 1990) نشان دادند که در شرایط عرضه کافی نیتروژن، وضعیت این نهاده در گیاه در طی فصل رشد تابع تجمع ماده خشک می‌باشد، به‌عبارت دیگر جذب نیتروژن از طریق سرعت رشد محصول تنظیم می‌شود. بر اساس این نظریه نیتروژن موجود در قسمت‌های هوایی گیاهان با افزایش وزن خشک رقیق می‌شود و این رابطه آلومتری را می‌توان به‌وسیله مدلی ریاضی که به‌منحنی رقیق شدن^۲ موسوم است به‌صورت کمی توصیف کرد (Greenwood et al., 1991). بنا به تعریف غلظت بحرانی نیتروژن^۳ حداقل درصد نیتروژن در قسمت هوایی است که حداکثر ماده خشک را تولید می‌کند و در بالاتر از این غلظت، جذب بیشتر نیتروژن باعث افزایش وزن خشک نخواهد شد (Lemaire & Gastal, 1997). چنان‌چه عرضه نیتروژن در طی دوره رشد گیاه به اندازه‌ای باشد که درصد نیتروژن قسمت هوایی همواره

1- Eutrophication

2- Dilution curve

3- Critical nitrogen concentration

4- Critical nitrogen dilution curve

5- Nitrogen nutrition index

معیاری جهت کود دهی مناسب مورد استفاده قرار گیرد، ولی در حال حاضر اطلاعات منتشر شده‌ای در مورد شاخص تغذیه نیتروژن گندم در ایران در اختیار نمی‌باشد.

در این تحقیق منحنی‌های رقیق شدن و جذب بحرانی نیتروژن برای گندم (*Triticum aestivum* L.) برآورد و یا استفاده از آن شاخص تغذیه نیتروژن در ارقام مختلف محاسبه شده و امکان به-کارگیری این شاخص به‌منظور بهینه‌سازی مصرف نیتروژن در این گیاه مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

محل و نحوه اجرای آزمایش

پژوهش حاضر در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ اجرا شد. زمین محل آزمایش در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ به‌ترتیب زیر کشت جو (*Hordeum vulgare* L.) و در آیش قرار داشت. خاک محل آزمایش دارای بافت سیلت لومی و میزان ماده آلی آن ۰/۳ درصد بود. نمونه-گیری خاک جهت تعیین خصوصیات شیمیایی آن پیش از کاشت در تاریخ ۱۳ مهرماه ۱۳۷۸ از دو عمق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتی‌متری

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil chemical properties of the experimental field

عمق (سانتی-متر) Depth (cm)	نیتروژن (درصد) N (%)	نیتروژن آمونیومی (درصد) NH ₄ -N (%)	نیتروژن نیتراتی (درصد) NO ₃ -N (%)	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم) P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم) K (mg.kg ⁻¹)	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) BD (g.cm ⁻³)
0-20	0.084	39×10 ⁻⁴	4.18×10 ⁻⁴	9.0	125	1.57
20-40	0.070	35×10 ⁻⁴	4.03×10 ⁻⁴	6.4	100	1.98

اندازه‌گیری‌ها

دو سوم مساحت هر کرت آزمایشی برای نمونه‌گیری‌های تخریبی در طی دوره رشد و باقیمانده برای تعیین عملکرد اختصاص یافت. نمونه‌گیری‌ها از مرحله پنجه‌زنی آغاز و در طی دوره رشد رویشی ادامه یافت. بدین صورت که در پنج نوبت به ترتیب ۱۳۰، ۱۵۵، ۱۷۷، ۱۸۹ و ۲۰۸ روز پس از کاشت هر بار ۰/۲ مترمربع از گیاهان هر کرت برداشت شدند. در انتهای دوره رشد و رسیدگی کامل (۲۸ خرداد ۱۳۸۷) کل ماده خشک تولید شده (دانه و کاه) در یک سوم هر کرت پس از حذف حاشیه‌ها برداشت شد.

صورت گرفت (جدول ۱).

کاشت به‌صورت ردیفی و با تراکم ۳۵۰ بوته در مترمربع در تاریخ ۱۷ و ۱۸ مهر ماه ۱۳۷۸ انجام شد. هر کرت آزمایشی دارای ۱۰ ردیف کاشت به‌طول پنج متر و با فاصله ۲۵ سانتی‌متر بین ردیف‌ها بود و در نتیجه مساحتی معادل ۱۲/۵ مترمربع داشت. فاصله بین کرت‌ها و بین بلوک‌ها به‌ترتیب ۱ و ۲/۳ متر در نظر گرفته شد.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل چهار سطح نیتروژن (صفر، ۵۵، ۱۱۰ و ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص) و سه رقم گندم پاییزه (چمران CHA، گاسکوئن GAS، و سایونز SIO) بود، سطوح نیتروژن با مصرف کود اوره (۴۶٪ N) تأمین شد. دو سوم از هر یک از سطوح نیتروژن همراه با ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات در هنگام کاشت و باقیمانده نیتروژن در اوایل اردیبهشت ۱۳۸۸ در کرت‌ها توزیع شد. برای جلوگیری از بروز تنش خشکی کرت‌های آزمایشی با انجام پنج نوبت آبیاری در شرایط مطلوب رطوبتی حفظ شدند. مزرعه آزمایشی در تاریخ ۱۷ اردیبهشت ۱۳۷۸ بر علیه شته یک نوبت سمپاشی شد.

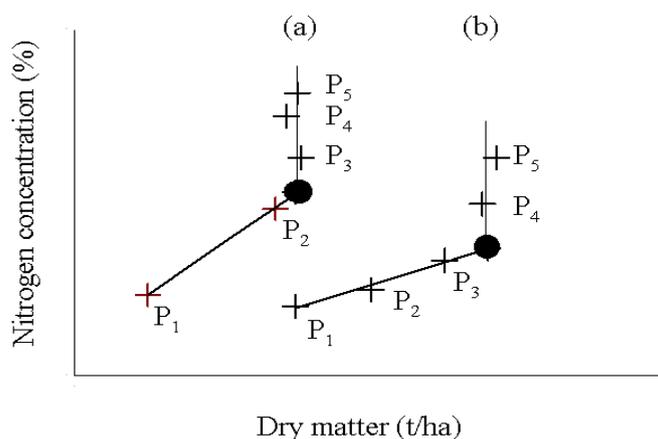
وزن خشک نمونه‌ها پس از خشک شدن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت، تعیین گردید. مواد گیاهی خشک شده آسیاب و میزان کل نیتروژن قسمت‌های هوایی در طی دوره رویشی (پنجه‌زنی تا گلدهی) و نیز در محصول برداشت شده به‌روش کج‌لدال اندازه‌گیری و بر حسب درصد از وزن خشک محاسبه گردید. عملکرد دانه در هر کرت بر اساس ۱۴ درصد رطوبت تعیین شد. میزان پروتئین دانه با ضرب کردن درصد نیتروژن آن در ضریب ثابت ۶/۲۵ به‌دست آمد.

تعیین غلظت‌های بحرانی نیتروژن

غلظت نیتروژن در هر نقطه‌ای از منحنی رقیق شدن بحرانی حداقل غلظت نیتروژن مشاهده شده در یک تاریخ معین در بین تمام تیمارهای نیتروژن است که حداکثر ماده خشک را تا آن تاریخ تولید کرده است. این نقطه نشان دهنده غلظتی از نیتروژن است که در آن علی‌رغم مصرف مقادیر بالاتر نیتروژن و افزایش غلظت نیتروژن در قسمت‌های هوایی گیاه، عملکرد ماده خشک افزایش معنی‌داری نخواهد داشت.

روش آماری مربوط به تعیین منحنی رقیق شدن بحرانی نیتروژن توسط جاسته و همکاران (Justes et al., 1994) ارائه شده است. به این منظور در هر تاریخ نمونه‌گیری مقدار ماده خشک تولید شده (تن در هکتار) و نیز غلظت نیتروژن در ماده خشک قسمت‌های هوایی گیاه (%) در تیمارهای مختلف نیتروژن مورد مقایسه آماری قرار می‌گیرند. برای تعیین غلظت بحرانی در هر تاریخ نمونه‌گیری به سه نقطه اندازه‌گیری (یا بیشتر) نیاز خواهد بود، به طوری که حداقل در دو نقطه اندازه‌گیری، مقدار ماده خشک (DM) و غلظت نیتروژن (N) متناظر با آن نقاط به طور معنی‌داری افزایش یابد و حداقل در یک نقطه مقدار ماده خشک نسبت به نقطه قبل از خود افزایش معنی‌داری

نداشته باشد، ولی غلظت نیتروژن آن به طور معنی‌داری بیشتر باشد، نمایش ساده‌ای از موقعیت این نقاط در شکل ۱ ارائه شده است. غلظت بحرانی نیتروژن در هر تاریخ اندازه‌گیری محل تقاطع دو خط مایل و قائم است، خط مایل از طریق رگرسیون بین نقاطی که اختلاف ماده خشک و غلظت نیتروژن آن‌ها متفاوت است به دست می‌آید و خط قائم از بین نقاطی که ماده خشک آن‌ها تفاوت معنی‌داری ندارد عبور می‌کند (شکل ۱). در شرایط (a) مقدار ماده خشک و غلظت نیتروژن در نقاط P_1 و P_2 به طور معنی‌داری متفاوت است و در نقاط P_3 ، P_4 و P_5 غلظت نیتروژن اختلاف معنی‌داری نداشته ولی تفاوت بین مقادیر ماده خشک از نظر آماری بی‌معنی است. محل تقاطع خط رگرسیون بین نقاط P_1 و P_2 با خط قائم بین نقاط P_3 ، P_4 و P_5 غلظت بحرانی نیتروژن در این شرایط را مشخص می‌سازد. در شرایط (b) نقطه بحرانی محل تقاطع خط رگرسیون بین سه نقطه P_1 ، P_2 و P_3 با خط قائم بین نقاط P_4 و P_5 است، باید توجه داشت که برای برازش خط رگرسیون حداقل به دو نقطه و برای عبور خط قائم حداقل به یک نقطه اندازه‌گیری نیاز می‌باشد.



شکل ۱ - خصوصیات آماری داده‌های مورد نیاز (+) و روش تعیین غلظت‌های بحرانی نیتروژن (●) در هر یک از تاریخ‌های نمونه‌گیری، در دو شرایط (a) و (b)

(به نقل از جاسته و همکاران، (Justes et al., 1994)). جهت توضیحات بیشتر به متن مراجعه شود.

Fig. 1- Statistical criteria of required data points (+) for determination of critical nitrogen concentrations (●) for each sampling date in conditions (a) and (b) (adopted from Justes et al., 1994), see text for details.

تعیین منحنی رقیق شدن و شاخص تغذیه نیتروژن

پس از محاسبه غلظت‌های بحرانی نیتروژن، منحنی رقیق شدن با برازش معادله ۱ به این نقاط برآورد شد (Lemaire & Gastal, 1997). این معادله یک تابع نمایی منفی است که کاهش غلظت نیتروژن قسمت‌های هوایی گیاه با افزایش وزن خشک را توصیف می‌کند:

$$N_C = a \times DM^{-b} \quad (1)$$

که در آن، N_C : غلظت بحرانی نیتروژن (%)، DM : وزن خشک قسمت هوایی (تن در هکتار)، a : غلظت نیتروژن برای تولید ۱ تن ماده خشک و b : ضریبی است که شدت کاهش غلظت نیتروژن با افزایش وزن خشک را نشان می‌دهد. ضریب b نشان‌دهنده الگوی کاهش درصد نیتروژن با افزایش ماده خشک است. اگر $b=0$ باشد درصد نیتروژن در طی دوره رشد ثابت می‌ماند و اگر $b=1$ باشد تجمع ماده خشک و نیتروژن در گیاه به صورت یکسان پیش می‌رود، البته در عمل مقدار b همواره بین صفر و یک قرار دارد.

با ضرب کردن طرفین معادله ۱ در وزن خشک قسمت هوایی (DM) میزان جذب بحرانی نیتروژن (N_{UC}) کیلوگرم نیتروژن در هکتار) از معادله ۲ محاسبه شد (Lemaire & Gastal, 2008) در این معادله ضریب ۱۰ برای تبدیل واحد است:

$$N_{UC} = 10a \times DM^{1-b} \quad (2)$$

شاخص تغذیه نیتروژن (NNI) در هر تاریخ نمونه‌گیری از معادله ۳ تعیین گردید (Lemaire & Gastal, 2009):

$$NNI = \frac{N_a}{N_c} \quad (3)$$

که در آن N_a : درصد واقعی نیتروژن (اندازه گیری شده) در قسمت هوایی و N_c : درصد بحرانی نیتروژن می‌باشد که با استفاده از منحنی رقیق شدن بحرانی (معادله ۱) بر اساس مقدار وزن خشک در هر تاریخ نمونه‌گیری برآورد می‌شود.

داده‌های هر تاریخ نمونه‌گیری به‌طور جداگانه مورد تجزیه واریانس قرار گرفت و میانگین‌ها با اجرای آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. تجزیه‌های آماری با نرم‌افزار Minitab, ver. 16.0 و برازش معادلات با استفاده از نرم‌افزار Slide write, ver. 2.0 انجام شد.

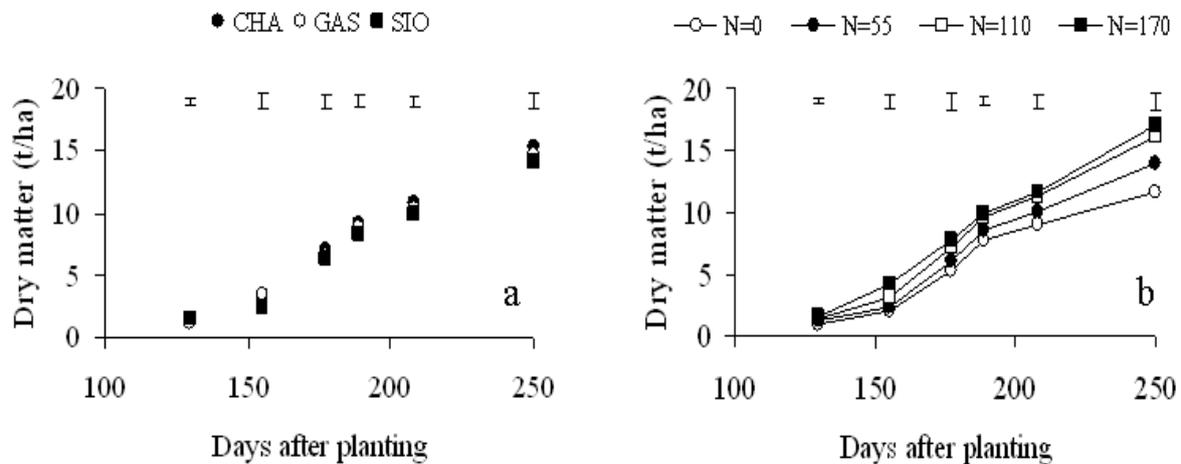
نتایج و بحث

تجمع ماده خشک و نیتروژن

نتایج نشان داد که روند تجمع ماده خشک در سه رقم گندم تحت بررسی تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۲-a) و میزان ماده خشک تولید شده در پایان دوره رشد بین ۱۵ تا ۱۶ تن در هکتار بود. مصرف نیتروژن تجمع ماده خشک را به‌طور معنی‌داری ($P < 0.05$) تحت تأثیر قرار داد، به‌طوری‌که تفاوت بین سطوح کودی از دومین نمونه‌گیری (۱۵۵ روز بعد از کاشت) آشکار شد (شکل ۲-b). به‌علاوه اثر متقابل معنی‌داری بین رقم و نیتروژن مشاهده نشد، به‌عبارت دیگر واکنش ارقام گندم تحت بررسی به سطوح نیتروژن یکسان بود. باراکلوگ و همکاران (Barraclough et al., 2010) نشان دادند که تفاوت در پاسخ به نیتروژن بین ارقام قدیم و جدید گندم معنی‌دار ولی در میان ژنوتیپ‌های جدید که برای شرایط پر نهاده اصلاح شده‌اند چندان بارز نمی‌باشد.

نتایج آزمایشات مربوط به عملکرد ماده خشک ارقام گندم کشور در واکنش به کود نیتروژن بسیار متنوع بوده و دامنه تغییرات آن زیاد است (Shahsavari & Saffari, 2005; Bahrani & Tahmasebi, 2010; Miran Zadeh & Emam, 2009; Naroki et al., 2006). کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2013) با اجرای فراتحلیل بر روی نتایج تحقیقات مرتبط با تأثیر نیتروژن بر غلات نشان دادند که به‌طور کلی تأثیر نیتروژن بر تولید ماده خشک گندم معنی‌دار بوده و بالاترین میزان ماده خشک قسمت هوایی با مصرف ۱۲۰-۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل می‌شود. نتایج تحقیق حاضر نیز حاکی از آن است که سطوح نیتروژن بالاتر از ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار تأثیر معنی‌داری بر تجمع ماده خشک گندم نداشت (شکل ۲-b).

اختلاف در جذب نیتروژن توسط قسمت هوایی از اولین نمونه-گیری بین سطوح کودی مشاهده شد و تا انتهای رشد رویشی (۲۰۸ روز پس از کاشت) مشهود بود، به‌علاوه تفاوت بین تیمارهای نیتروژن در طی رشد افزایش یافت (شکل ۳-a)، به‌طوری‌که در زمان گلدهی بیشترین (۲۴۳ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۱۰۷ کیلوگرم در هکتار) مقدار جذب این نهاده به‌ترتیب در نیمار ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و شاهد حاصل شد. ارقام گندم تحت بررسی در جذب نیتروژن تفاوت معنی‌داری نداشتند و تجمع نیتروژن در آن‌ها نیز در سطوح مختلف کودی یکسان بود.



شکل ۲- تجمع ماده خشک قسمت هوایی در ارقام گندم (a) و در سطوح مختلف مصرف نیتروژن (b). خطوط عمودی مقادیر LSD_{5%} برای مقایسه در هر تاریخ نمونه‌گیری می‌باشند. (CHA=چمران، GAS=گاسکوژن، SIO=سایونز، مقادیر N=کیلوگرم در هکتار) **Fig. 2- Dry matter accumulation in wheat cultivars (a) and in different nitrogen levels (b).** Vertical bars show LSD_{5%} for each sampling date. (CHA=Chamran, GAS=Gascogen, SIO=Sionez and N levels in kg.ha⁻¹)

تخصیص مواد بین اندام‌هاست، زیرا با افزایش ماده خشک معمولاً نسبت برگ به ساقه کاهش می‌یابد و بنابراین در طی رشد مقدار بیشتری کربن به ساقه‌ها تخصیص می‌یابد (Belanger & Richards, 2000). در نتیجه بافت‌های ساختمانی در مقایسه با بافت‌های متابولیکی وزن بیشتری می‌یابند و چون مقدار نیتروژن در بافت‌های ساختمانی کمتر است، لذا در مجموع با افزایش وزن گیاه، غلظت نیتروژن کاهش خواهد یافت (Gastal & Lemaire, 2002). اندازه‌گیری‌ها نشان داده است که کاهش غلظت نیتروژن با افزایش ماده خشک عمدتاً به دلیل کاهش (رقیق شدن) درصد نیتروژن در ساقه است و میزان نیتروژن برگ با افزایش ماده خشک تقریباً ثابت مانده یا به‌طور جزئی کاهش می‌یابد (Gastal & Lemaire, 1997).

منحنی بحرانی رقیق شدن نیتروژن

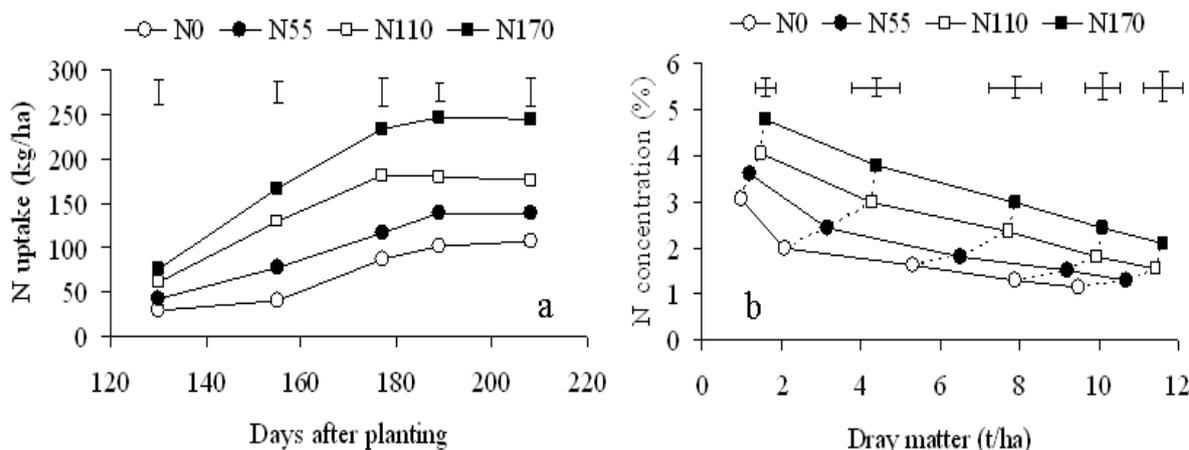
در شکل ۴-a نحوه تعیین غلظت‌های بحرانی نیتروژن بر اساس معیارهای مذکور در شکل ۱ نشان داده شده است. خطوط مایل حاصل رگرسیون بین نقاطی است که مقدار نیتروژن و ماده خشک آن‌ها اختلاف معنی‌داری دارند و خط عمودی از بین نقاطی عبور کرده که علی‌رغم افزایش درصد نیتروژن، ماده خشک آن‌ها تفاوت معنی‌داری ندارد. یادآوری می‌شود که این نقاط با انجام مقایسات آماری

با افزایش ماده خشک، در تمام سطوح کودی غلظت نیتروژن قسمت‌های هوایی کاهش یافت (شکل ۳-b). با وجودی که تفاوت بین مقادیر ماده خشک در دو نمونه‌گیری اول چندان بارز نبود (شکل ۲-b) ولی اختلاف در درصد نیتروژن قسمت هوایی بین سطوح نیتروژن از اولین تاریخ نمونه‌گیری معنی‌دار شد. این امر نشان می‌دهد اگرچه نیتروژن عامل اصلی اختلاف در تجمع ماده خشک می‌باشد، ولی کاهش غلظت نیتروژن در بافت‌های گیاه به‌مراتب سریع‌تر از کاهش رشد آغاز می‌شود. با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی از صفر به ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار، غلظت نیتروژن و مقدار ماده خشک تولید شده در تمام تاریخ‌های نمونه‌گیری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (خطوط نقطه‌چین در شکل ۳-b)، در حالی که با افزایش مقدار نیتروژن مصرفی به ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار باوجودی که درصد نیتروژن قسمت هوایی افزایش یافت، ولی تفاوت معنی‌داری در تولید ماده خشک با تیمار ۱۱۰ کیلوگرم نیتروژن مشاهده نشد. این نتایج به‌وضوح نشان می‌دهد که حتی در صورت عرضه کافی نیتروژن نیز با افزایش وزن خشک درصد نیتروژن قسمت‌های هوایی گیاه کاهش می‌یابد، به‌عبارت دیگر نوعی رقیق شدن نیتروژن در بافت‌های گیاهی صورت می‌گیرد.

رقیق شدن نیتروژن در قسمت‌های هوایی عمدتاً ناشی از الگوی

نتیجه منحنی رقیق شدن بحرانی نیتروژن با برآزش تابع توانی منفی (معادله ۱) به این نقاط به‌دست آمد و نتایج با منحنی ارائه شده توسط جاسته و همکاران (Justes et al., 1994) مقایسه شد (شکل ۴-b).

جداگانه در هر تاریخ نمونه‌گیری بر روی میانگین ارقام گندم در سطوح مختلف مصرف نیتروژن انتخاب شده‌اند. غلظت‌های بحرانی، رقیق شدن نیتروژن با افزایش وزن خشک را به‌خوبی توصیف کرده در



شکل ۳- a) روند تغییرات جذب نیتروژن در قسمت‌های هوایی گندم در سطوح مختلف مصرف کود، خطوط عمودی مقادیر LSD_{5%} برای مقایسه در هر تاریخ نمونه‌گیری می‌باشند. b) تغییرات درصد نیتروژن قسمت هوایی بر حسب تجمع ماده خشک در سطوح مختلف مصرف کود خطوط نقطه چین داده‌های مربوط به هر تاریخ نمونه‌گیری را مشخص می‌کنند. خطوط عمودی و افقی به‌ترتیب مقادیر LSD_{5%} برای مقایسه بین درصد نیتروژن و ماده خشک در هر تاریخ نمونه‌گیری می‌باشند.

Fig. 3- a) Changes in nitrogen uptake by shoot at different N fertilizer levels, vertical bars show LSD_{5%} for each sampling date. b) Changes in nitrogen concentration of shoots with dry matter accumulation at different N fertilizer levels, dotted lines indicate data points for each sampling date.

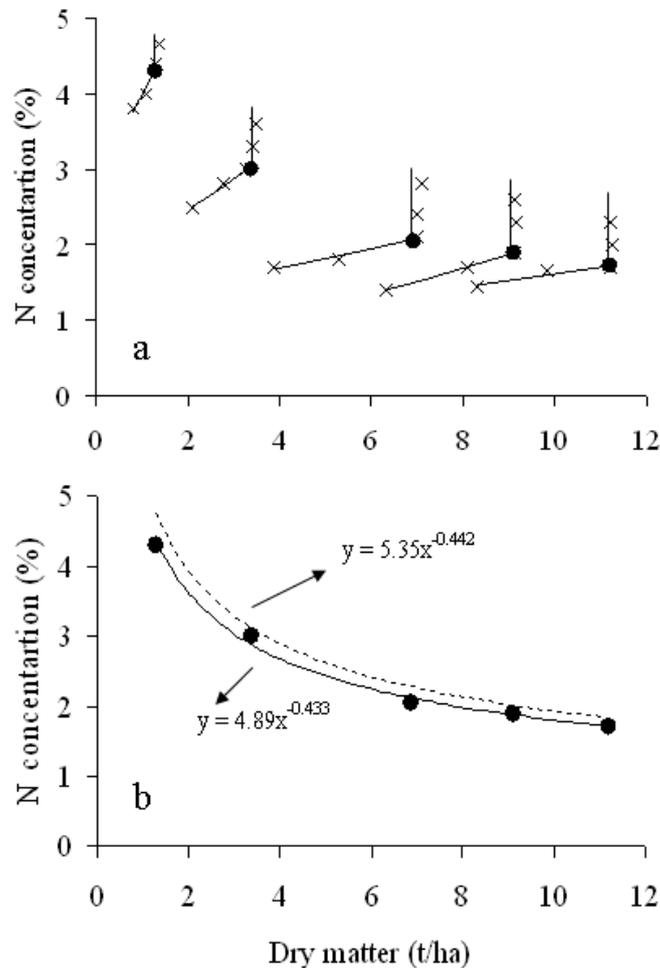
Vertical and horizontal bars show LSD_{5%} respectively, for N concentration and dry matter at each sampling date.

فرانسه و در سطوح مختلف نیتروژن اجرا شده بود انتخاب کردند و در نتیجه منحنی مرجع ارائه شده توسط این محققین دامنه وسیع‌تری از شرایط اقلیمی و عرضه نیتروژن را در بر دارد.

منحنی رقیق شدن بحرانی نشان می‌دهد که میزان جذب نیتروژن توسط گیاه تنها تابع نیتروژن موجود در محیط ریشه نبوده بلکه از طریق سرعت رشد محصول (تجمع ماده خشک) نیز کنترل می‌شود و هر دو به‌طور همزمان سرعت جذب این نهاده را تنظیم می‌کنند (Dordas, 2011). گرین وود و همکاران (Greenwood et al., 1990) معادله رقیق شدن بحرانی را برای گیاهان C3 و C4 به‌ترتیب $N_c(\%) = 4.1 \times DW^{-0.5}$ و $N_c(\%) = 5.7 \times DW^{-0.5}$ به‌دست آوردند و بیان داشتند غلظت کمتر نیتروژن در برگ گونه‌های C4 باعث کمتر بودن ضریب a در این گیاهان (۴/۱) نسبت به گونه‌های C3 (۵/۷) است.

غلظت‌های بحرانی محاسبه شده در این تحقیق منحنی رقیق شدن بحرانی نیتروژن در گندم را کمتر از منحنی مرجع جاسته و همکاران (Justes et al., 1994) برآورد کرد. ضریب a به‌دست آمده در این تحقیق (۴/۸۹) کمتر از مقدار ۵/۳۵ در منحنی مرجع بود بنابراین، غلظت نیتروژن مورد نیاز برای تولید یک تن ماده خشک حدود ۰/۴۶ درصد کمتر برآورد شده است، در حالی که تفاوت ضریب b محاسبه شده در این مطالعه و منحنی مرجع (به‌ترتیب ۴۳۳/ و ۴۴۲/۰) ناچیز می‌باشد در نتیجه الگوی کاهش غلظت نیتروژن با افزایش ماده خشک مشابه و دو منحنی موازی بودند (شکل ۴-b).

اختلاف مشاهده شده بین ضرایب دو منحنی ناشی از تعداد نقاط انتخاب شده برای برآزش تابع است. جاسته و همکاران (Justes et al., 1994) داده‌های درصد نیتروژن و ماده خشک را از نتایج ۱۱ آزمایش مختلف که در فاصله سال‌های ۹۳-۱۹۸۴ در مناطق مختلف



شکل ۴- a) مقادیر اندازه‌گیری شده غلظت نیتروژن و ماده خشک قسمت هوایی (X) که بر اساس معیارهای آماری ذکر شده در متن انتخاب شده اند و غلظت بحرانی نیتروژن (●) در هر تاریخ نمونه‌گیری. b) برازش منحنی رقیق شدن به غلظت‌های بحرانی محاسبه شده (منحنی توپر) و مقایسه آن با منحنی مرجع برای رقیق شدن نیتروژن در گندم (منحنی نقطه چین)

Fig. 4- a) Measured values of nitrogen concentration and shoot dry matter (X) selected based on statistical criteria mentioned in the text and the critical N concentration (●) for each sampling date. b) Nitrogen dilution curve fitted to the calculated critical concentrations (solid curve) compared with the reference N dilution curve for wheat (dotted curve)

Colnenne et al., 1998) تا ۰/۵۲ در کتان (*Linum usitatissimum* L. (Flenet et al., 2006) و برنج (*Oryza sativa* L. (Sheehy et al. 1998) متغیر است و در اغلب گیاهان زراعی بین ۰/۴-۰/۳ قرار دارد، به‌علاوه بین گونه‌های C₃ و C₄ و نیز تک لپه‌ای‌ها و دو لپه‌ای‌ها اختلاف قابل توجهی دیده نشده است. میانگین مقدار ضریب a در گیاهان C₃ معادل ۴/۷۵ و دامنه آن بین ۵/۳۵ در گندم (Justes et al., 1994) تا ۴/۵ در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) (Tei et al., 2002) قرار دارد. در

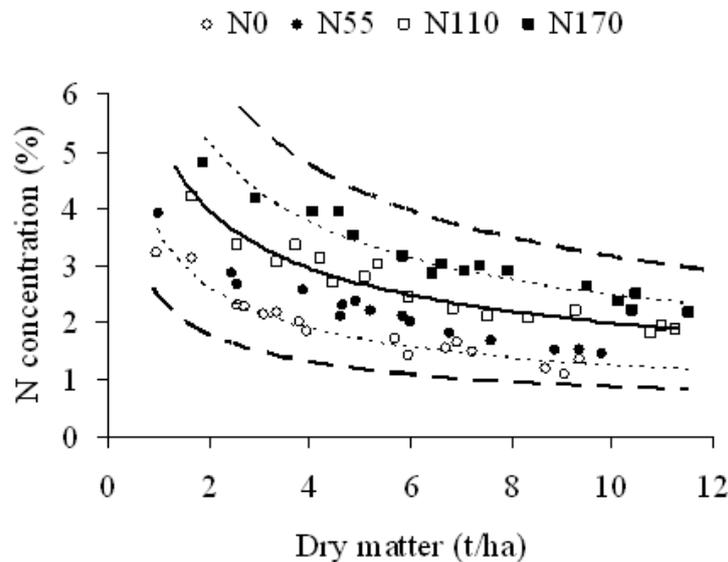
مطالعات بعدی نشان داد که ضرایب معادله رقیق شدن بحرانی در بین گونه‌های C₃ نیز تفاوت‌های زیادی دارد (Lemaire et al., 2008b). این معادله برای گونه‌های مختلف زراعی از جمله یونجه (*Medicago sativa* L.) (Lemaire & Gastal, 1997) نخود (*Cicer arietinum* L.) (Ney et al., 1997) پنبه (*Gossypium herbaceum* L. (Xiaoping et al., 2007) آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) (Debaeke et al., 2012) برآورد شده است. ضریب b بین ۰/۲۵ در کلزا (*Brassica napus* L.)

در فاصله بین منحنی بحرانی و حد بالایی آن درصد بیشتر نیتروژن باعث رشد بیشتر نخواهد شد و در نتیجه جذب ب‌صورت تجملی^۱ صورت می‌گیرد (Houles et al., 2007). در زیر منحنی رقیق شدن بحرانی گیاه در شرایط محدودیت یا کمبود نیتروژن قرار دارد و در نتیجه با کاهش رشد مواجه خواهد شد، حد پایین منحنی رقیق شدن نشان‌دهنده حداقل غلظت نیتروژن قسمت هوایی برای تداوم رشد است (Lemaire et al., 2008a).

بر این اساس منحنی رقیق شدن بحرانی توصیف دقیقی از وضعیت نیتروژن در این آزمایش را به‌دست می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که رشد گندم در شاهد و تیمار ۵۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار دارای محدودیت نیتروژن بوده، در حالی‌که در تیمار ۱۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار دارای بیش بود نیتروژن می‌باشد و مصرف ۱۱۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار میزان این نهاده در قسمت هوایی گیاه را در حد بحرانی حفظ کرده است (شکل ۵).

حالی‌که ضریب a در گیاهان C₄ کمتر و برای ذرت (Plenet & Lemaire, 1999) و سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) (Plenet & Cruz, 1997) به‌ترتیب ۳/۴ و ۳/۹ برآورد شده است. مطالعات نشان داده که مقادیر a و b در منحنی رقیق شدن بحرانی در دامنه وسیعی از شرایط اقلیمی و بین واریته‌های یک گونه زراعی ثابت می‌باشند. برای مثال لمایر و همکاران (Lemaire et al., 2007) نشان دادند که برای گندم، ذرت و کلزا ضرایب محاسبه شده در مناطق معتدله در شرایط نیمه‌گرمسیری نیز صادق هستند و بنابراین، ضرایب a و b را می‌توان به‌عنوان خصوصیات ذاتی گیاهان زراعی در نظر گرفت.

در شکل ۵ پراکنندگی درصد نیتروژن قسمت هوایی و وزن خشک اندازه‌گیری شده در نمونه‌گیری‌های مختلف نسبت به منحنی رقیق شدن بحرانی نشان داده شده است. حد بالای منحنی رقیق شدن بحرانی حداکثر تثویک جذب نیتروژن را در مقادیر مختلف ماده خشک نشان می‌دهد. در بالای منحنی بحرانی جذب نیتروژن تابع ماده خشک نبوده و به نیتروژن موجود در خاک بستگی دارد در واقع



شکل ۵- منحنی استاندارد رقیق شدن بحرانی نیتروژن در گندم (منحنی توپر) و پراکنش نقاط اندازه‌گیری شده در تاریخ‌های مختلف نمونه‌گیری منحنی‌های نقطه چین حد بالا و پایین منحنی رقیق شدن را بر اساس نتایج این تحقیق و منحنی‌های خط چین این حدود را بر اساس منحنی مرجع نشان می‌دهند.

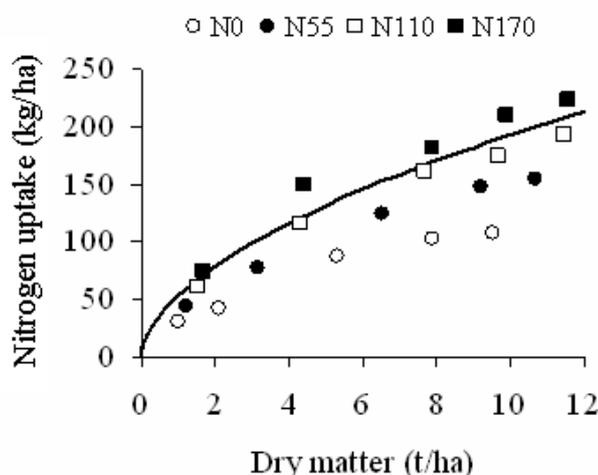
Fig. 5- Critical nitrogen dilution curve of wheat (solid curve) and distribution of measured values in different sampling dates Dotted curves indicate upper and lower range of the dilution curve obtained in this study, broken curves are upper and lower range of reference dilution curve.

منحنی بحرانی جذب نیتروژن

منحنی جذب بحرانی نیتروژن (شکل ۶) که با برازش معادله ۲ به داده‌های وزن خشک و جذب نیتروژن به‌دست آمده نیز به‌وضوح نشان دهنده محدودیت نیتروژن برای رشد ارقام گندم تحت بررسی در سطوح صفر و ۵۵ و جذب مطلوب این نهاده با مصرف ۱۱۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار است، در حالی که در تیمار ۱۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مقدار نیتروژن جذب شده بیشتر از میزان بحرانی آن (جذب تجملی) بوده است.

لمایر و گاستال (Lemaire & Gastal, 2009) بیان داشتند که ضریب 1-b در معادله جذب بحرانی (معادله ۲) بیان‌کننده نسبت سرعت نسبی تجمع نیتروژن $(\frac{dN}{dt} \cdot \frac{1}{N})$ به سرعت رشد نسبی گیاه $(\frac{dW}{dt} \cdot \frac{1}{W})$ می‌باشد، بنابراین چون مقدار این ضریب کمتر از یک است، حتی اگر نیتروژن به میزان کافی در اختیار گیاه باشد، سرعت

تجمع نیتروژن از سرعت تجمع ماده خشک کمتر بوده و در نتیجه درصد نیتروژن در گیاه کاهش یافته، ولی مقدار نیتروژن جذب شده به دلیل افزایش وزن خشک افزایش می‌یابد. در واقع جذب و تجمع نیتروژن در گیاهان به‌طور هم‌زمان هم به میزان نیتروژن فراهم شده توسط خاک و هم به سرعت رشد محصول (سرعت تجمع ماده خشک) بستگی دارد (Gastal & Lemaire, 2002). نتایج ارائه شده در شکل ۶ نشان می‌دهد که جذب نیتروژن به‌ازای واحد ماده خشک با افزایش ماده خشک کاهش می‌یابد به‌عبارت دیگر، با افزایش وزن خشک، گیاه برای حصول حداکثر سرعت رشد به مقدار کمتری نیتروژن نیاز دارد و در نتیجه میزان تقاضای روزانه نیتروژن کاهش خواهد یافت.



شکل ۶- منحنی جذب بحرانی نیتروژن در گندم و مقایسه آن با مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاه در سطوح مختلف مصرف نیتروژن داده‌ها میانگین ۳ رقم گندم تحت بررسی می‌باشند.

Fig. 6- Critical nitrogen uptake curve of wheat compared with the actual nitrogen uptake by plant at different N application rates

Data points are average of 3 wheat cultivars.

میزان مصرف نیتروژن، مقدار NNI افزایش یافت و در تیمار ۱۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در تمام تاریخ‌های نمونه‌گیری کمتری داشت و به‌طور

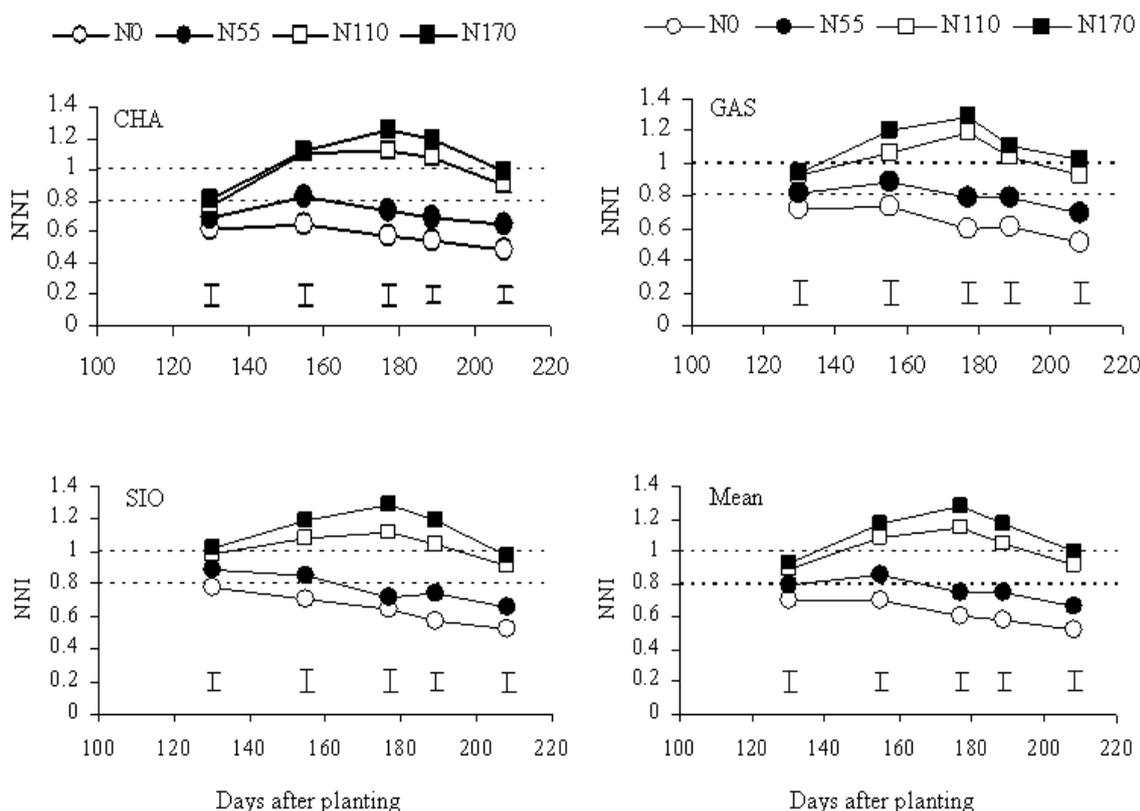
شاخص تغذیه نیتروژن

طی دوره رشد رویشی تغییرات شاخص تغذیه نیتروژن (NNI) در سه رقم گندم تحت بررسی الگوی مشابهی داشت، در نتیجه میانگین سه رقم نیز این روند را به‌خوبی آشکار ساخت (شکل ۷). با افزایش

۰/۳۴-۱/۴۳ در گندم بهاره (Debaeke et al., 2006) و ۰/۲۵-۱/۵ (Ziadi et al., 2010) و در کتان بین ۰/۴۶-۱/۱۶ (Dordas, 2011) بوده است.

با توجه به تعریف غلظت بحرانی، $1 = NNI$ نشان می‌دهد که سرعت رشد محصول معادل سرعت رشد پتانسیل (حداکثر سرعت رشد در شرایط عرضه کافی نیتروژن) می‌باشد و مقادیر $NNI < 1$ کمتر از یک شدت کاهش سرعت رشد در اثر محدودیت نیتروژن را مشخص می‌سازد (Debaeke et al., 2012).

معنی‌داری کمتر از سطوح بالاتر مصرف نیتروژن بود. شاخص تغذیه نیتروژن تابع مقدار نیتروژن عرضه شده بوده به-علاوه در طی فصل رشد نیز تغییرات قابل‌توجهی دارد. نتایج این تحقیق نیز نشان داد که میانگین این شاخص در ارقام گندم تحت بررسی بین ۰/۵ تا ۱/۳ قرار دارد (شکل ۷). این تغییر در سایر محصولات نیز گزارش شده است برای مثال دامنه تغییرات NNI در طی فصل رشد در رای گراس بین ۰/۴-۱/۶ (Marino et al., 2004)، در ذرت ۱/۳-۰/۲۳ (Ziadi et al., 2008) در گندم دوروم



شکل ۷- تغییرات شاخص تغذیه نیتروژن (NNI) طی دوره رشد رویشی در ارقام گندم تحت بررسی و در میانگین ارقام خطوط عمودی نشان‌دهنده مقادیر $LSD_{5\%}$ در هر تاریخ نمونه‌گیری می‌باشند.
(CHA = چمران، GAS = گاسکوژن، SIO = سایونز، مقادیر N = کیلوگرم در هکتار)

Fig. 7- Nitrogen nutrition index (NNI) during the vegetative growth period in the studied wheat cultivars and averaged over cultivars

Vertical bars show $LSD_{5\%}$ for each sampling date.
(CHA=Chamran, GAS=Gascogen, SIO=Sionez, N levels in $kg \cdot ha^{-1}$).

کاهش فتوسنتز به دلیل نقش نیتروژن در ساختمان شیمیایی آنزیم‌های فتوسنتزی است (Gastal & Lemaire, 2002). لمایر و همکاران

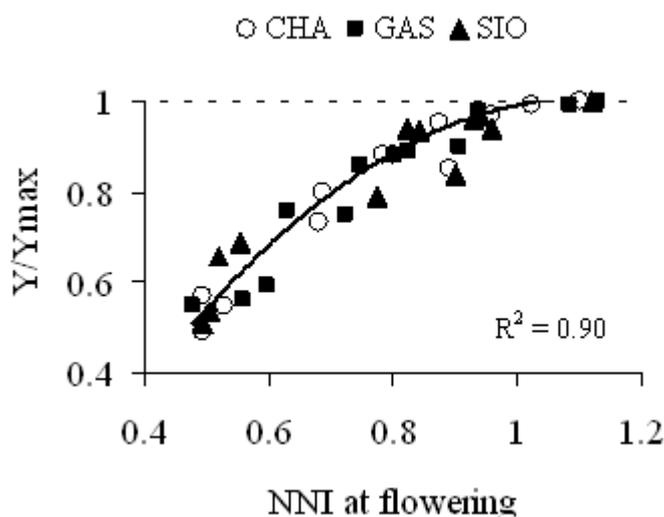
کاهش سرعت رشد محصول در شرایط کمبود نیتروژن هم ناشی از کاهش سطح برگ و در نتیجه جذب کمتر تشعشع و هم از طریق

(Jeuffroy et al., 1999; Stöckle & Debaeke, 1997).

شاخص تغذیه نیتروژن و عملکرد

عملکرد نسبی (عملکرد هر رقم نسبت به حداکثر عملکرد آن) با مقدار NNI در مرحله گلدهی رابطه‌ای غیر خطی داشت و در هر سه رقم گندم تحت بررسی حداکثر عملکرد دانه زمانی حاصل شد که شاخص تغذیه نیتروژن در مرحله گلدهی معادل یک بود (شکل ۸). در هر سه رقم گندم با افزایش NNI عملکرد نسبی ابتدا به سرعت افزایش یافت و در مقادیر $NNI > 0.95$ تقریباً ثابت شد، به طوری که تجمع بیشتر نیتروژن در قسمت هوایی ($NNI > 1$) تأثیری بر افزایش عملکرد نداشت.

(Lemaire et al., 2008b) بیان داشتند که گیاهان ممکن است الگوهای مختلفی از نظر تخصیص نیتروژن موجود بین رشد برگ‌ها و تداوم فتوسنتز داشته باشند، ولی این الگوها به درستی شناخته نشده است. کاهش کارایی مصرف نور به عنوان مهم‌ترین واکنش گیاهان به کمبود نیتروژن مورد توافق محققین است (Olesen et al., 2002; Muirinen & Peltonen-Sainio, 2006). برای مثال، جاسته و همکاران (Justes et al., 2000) رابطه خطی معنی‌داری بین کارایی مصرف نور کلزا و شاخص تغذیه نیتروژن به دست آوردند و نشان دادند که حداکثر کارایی مصرف نور در $NNI=1$ حاصل می‌شود و در این صورت سرعت رشد محصول نیز به پتانسیل خود می‌رسد. توصیف کارایی مصرف نور و سرعت رشد بر اساس NNI در مدل‌های شبیه‌سازی رشد گندم نیز به کار رفته است (Brisson et al., 2003;).



شکل ۸- رابطه بین شاخص تغذیه نیتروژن (NNI) در مرحله گلدهی با عملکرد نسبی در ارقام گندم تحت بررسی (CHA = چمران، GAS = گاسکوژن، SIO = سایونز)

Fig. 8- Relation between nitrogen nutrition index (NNI) at flowering and relative yield in the studied wheat cultivars (CHA=Chamran, GAS=Gascogen, SIO=Sienez)

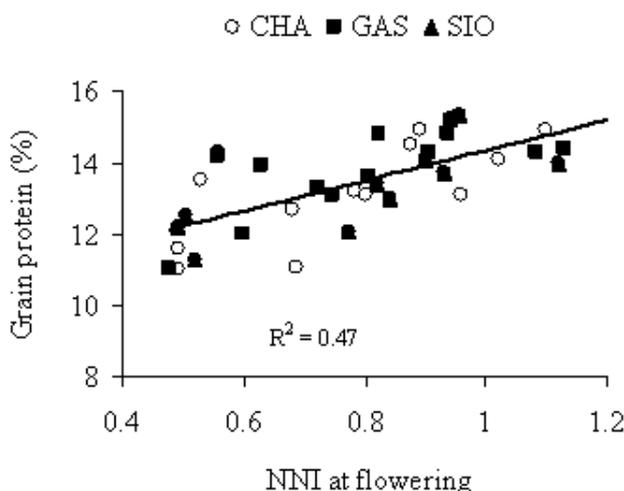
همکاران (Debaeke et al., 2006) در گندم دوروم و زیادی و همکاران (Ziadi et al., 2010) در گندم بهاره بیشترین عملکرد نسبی را در $NNI=1$ مشاهده کردند. دیباک و همکاران (Debaeke et al., 2012) با بررسی رابطه عملکرد دانه با شاخص تغذیه نیتروژن در آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) بیان داشتند که اگر چه حداکثر عملکرد دانه در $NNI=1$ حاصل شد، ولی رشد زیاد گیاهان در این شرایط باعث شیوع بیماری‌های قارچی شده که ممکن است

میلز و همکاران (Mills et al., 2009) اظهار داشتند که در اغلب گیاهان زراعی سرعت رشد در $NNI=0.8$ به مقدار پتانسیل رسیده یا بسیار به آن نزدیک می‌باشد، به علاوه در $NNI=0.2$ رشد تقریباً متوقف خواهد شد (Lemaire et al., 2008a). در کلزا نیز رابطه غیر-خطی معنی‌داری بین عملکرد دانه و شاخص تغذیه نیتروژن در مرحله گلدهی گزارش شده و بر اساس نتایج این تحقیق عملکرد نسبی در $NNI=0.9$ معادل یک بود (Justes et al., 2000). البته دیباک و

بین ارقام گندم باشد. بعد از گلدهی نیتروژن از اندام‌های رویشی به دانه‌های در حال پر شدن انتقال می‌یابد و میزان انتقال در ژنوتیپ‌های مختلف گندم متغیر می‌باشد، بنابراین تفاوت بین ارقام یکی از عوامل ایجاد تنوع زیاد در داده‌های آزمایشی است (Oury et al., 2003). بخشی از تغییرات توصیف نشده به‌وسیله رگرسیون ممکن است ناشی از شرایط محیطی (تنش آب، درجه حرارت بالا و نظایر آن) در طی دوره پر شدن دانه باشد. بروز این شرایط باعث کاهش وزن دانه شده و در نتیجه درصد پروتئین افزایش می‌یابد. شدت تأثیر این عوامل در ژنوتیپ‌های گندم متفاوت بوده و باعث تنوع درصد پروتئین بین ارقام می‌شود (Kramer, 1979; Pask et al., 2012).

عملکرد را تا حدودی کاهش دهد بنابر این $NNI=0/9$ را برای این گیاه توصیه کردند.

میزان پروتئین دانه در ارقام گندم تحت بررسی بسته به مقدار نیتروژن مصرف شده بین ۱۲ تا ۱۵ درصد در تغییر بود و رابطه‌ای خطی با شاخص تغذیه نیتروژن در مرحله گلدهی داشت البته علی‌رغم معنی‌دار بودن این رابطه ضریب تبیین رگرسیون از $0/47$ تجاوز نکرد (شکل ۹). به بیان دیگر، شاخص تغذیه نیتروژن قادر بود تا ۴۷ درصد از تغییرات مشاهده شده در پروتئین دانه ارقام گندم را توصیف کند. جاسته و همکاران (Justes et al., 1997) نیز رابطه خطی بین این دو متغیر را در ارقام گندم با $r^2=0/38$ گزارش کرده‌اند. به‌نظر می‌رسد که پایین بودن ضریب تبیین در این رابطه به‌دلیل تنوع درصد پروتئین



شکل ۹- رابطه بین شاخص تغذیه نیتروژن (NNI) در مرحله گلدهی با درصد پروتئین دانه در ارقام گندم تحت بررسی (CHA = چمران، GAS = گاسکوزن، SIO = سایونز)

Fig. 8- Relation between nitrogen nutrition index (NNI) at flowering and grain protein content in the studied wheat cultivars (CHA=Chamran, GAS=Gascogen, SIO=Sionez)

نتیجه‌گیری

خشک در ارقام گندم در پاسخ به مقادیر مختلف مصرف نیتروژن را در طی دوره رشد به‌خوبی توصیف کرد و رابطه معنی‌داری با عملکرد دانه و درصد پروتئین ارقام گندم داشت. این رهیافت را می‌توان بر اساس نتایج آزمایشات مرتبط با مصرف کودهای نیتروژن در مورد سایر محصولات زراعی نیز بکار برد و از آن به‌عنوان ابزاری برای توصیه‌های کودی استفاده کرد. البته استفاده از این روش مستلزم اندازه‌گیری‌های مکرر نیتروژن در طی فصل رشد است که تا حدودی پرهزینه و وقت‌گیر می‌باشد. از آن‌جا که شاخص تغذیه نیتروژن با

درک فرآیندهای مربوط به جذب و توزیع نیتروژن در گیاهان زراعی و برآورد دقیق وضعیت نیتروژن در گیاه در ارزیابی کمبود این نهاده و مدیریت کوددهی در نظام‌های کشاورزی پایدار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نتایج این تحقیق نشان داد که بر اساس غلظت‌های بحرانی نیتروژن و منحنی رقیق شدن حاصل از آن می‌توان کمبود یا جذب بیش از نیاز نیتروژن در گندم را با دقت قابل قبولی ارزیابی نمود. شاخص تغذیه نیتروژن نیز تغییرات تجمع ماده

ق‌دردانی

بودجه این تحقیق از محل اعتبارات طرح پژوهش شماره ۱۳۵۶ مورخ ۱۳۸۷/۱۲/۱۲ توسط معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

میزان کلروفیل برگ رابطه قوی دارد (Debaeke et al., 2006; Prost & Jeuffroy, 2007) می‌توان با برآورد این رابطه و تخمین میزان کلروفیل برگ، روشی دقیق و در عین حال سریع و ارزان برای تعیین شاخص تغذیه نیتروژن در گیاهان زراعی طراحی نمود.

منابع

- Bahrani, A., and Tahmasebi Sarvestani, Z. 2006. Effects of rate and time of nitrogen fertilizer on yield, yield component, and dry matter remobilization efficiency in two winter wheat cultivars. *Journal of Agricultural Sciences Islamic Azad University* 12(2): 369-376. (In Persian with English Summary)
- Barracough, P.B., Howarth, J.R., Jones, J., Lopez-Bellido, R., Parmar, S., Shepherd, C.E., and Hawkesford, M.J. 2010. Nitrogen efficiency of wheat: genotypic and environmental variation and prospects for improvement. *European Journal of Agronomy* 33: 1-11.
- Belanger G., and Richards J.E. 2000. Dynamics of biomass and N accumulation of alfalfa under three N fertilization rates. *Plant and Soil* 219: 177-185.
- Brisson, N., Gary, C., Justes, E., Roche, R., Mary, B., Ripoche, D., Zimmer, D., Sierra, J., Bertuzzi, P., Burger, P., Bussi re, F., Cabidoche, Y.M., Cellier, P., Debaeke, P., Gaudill re, J.P., Maraux, F., Seguin, B., and Sinoquet, H. 2003. An overview of the crop model STICS. *European Journal of Agronomy* 18: 309-332.
- Casanova, D., Goudriaan, J., Forner, M.C., and Withagen, J.C.M. 2002. Rice yield prediction from yield components and limiting factors. *European Journal of Agronomy* 17: 41-61.
- Cassman, K.G., Dobermann, A., and Walters, D.I. 2002. Agroecosystems, nitrogen use efficiency and nitrogen management. *Ambio* 31: 132-140.
- Colnenne, C., Meynard, J.M., Reau, R., Justes, E., and Merrien, A. 1998. Determination of a critical N dilution curve for winter oilseed rape. *Annals of Botany* 81: 311-317.
- Debaeke, P., Rouet, P., and Justes, E. 2006. Relationship between the normalized SPAD index and the nitrogen nutrition index: application to durum wheat. *Journal of Plant Nutrition* 9: 75-92.
- Debaeke, P., van Oosterom, E.J., Justes, E., Champolivi re, L., Merrien, A., Aguirrezabal, L.A.N., Gonz lez-Dugo, V., Massignam, A.M., and Montemurro, F. 2012. A species-specific critical nitrogen dilution curve for sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Field Crops Research* 136: 76-84.
- Dobermann, D.I., and Cassman, K.G. 2004. Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production of United States and Asia. *Plant and Soil* 247: 153-175.
- Dordas, C.A. 2011. Nitrogen nutrition index and its relationship to N use efficiency in linseed. *European Journal of Agronomy* 34: 124-132.
- Eickhout, B., Bouwman, A.F., and van Zeijts, H. 2006. The role of nitrogen in world food production and environmental sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 116: 4-14.
- Fageria, N.K., and Baligar, V.C. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy* 88: 97-185.
- Flenet, F., Gu erif, M., Boiffin, J., Dorvillez, D., and Champolivier, L. 2006. The critical N dilution curve for linseed (*Linum usitatissimum* L.) is different from other C₃ species. *European Journal of Agronomy* 24: 367-373.
- Gastal, F., and Lemaire, G. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany* 370: 789-799
- Greenwood, D.J., Gastal, F., Lemaire, G., Draycott, A., Millard, P., and Neeteson, J.J. 1991. Growth rate and % N of field grown crops: theory and experiments. *Annals of Botany* 67: 181-190.
- Greenwood, D.J., Lemaire, G., Gosse, G., Cruz, P., Draycott, A., and Neeteson, J.J. 1990. Decline in percentage N of C₃ and C₄ crops with increasing plant mass. *Annals of Botany* 66: 425-436.
- Houles, V., Guerif, M., and Mary, B. 2007. Elaboration of a nitrogen nutrition indicator for winter wheat based on leaf area index and chlorophyll content for making nitrogen recommendations. *European Journal of Agronomy* 27: 1-11.

- Jeuffroy, M.H., and Recous, S. 1999. Azodyn: a simple model simulating the date of nitrogen deficiency for decision support in wheat fertilization. *European Journal of Agronomy* 10: 129–144.
- Justes, E., Jeuffroy, M.H., and Mary, B. 1997. The N requirement of major agricultural crops: wheat, barley, and durum wheat. In: Lemaire, G. (Ed.), *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops*. Springer-Verlag Publishers, Heidelberg, Germany p. 73–91.
- Justes, E., Mary, B., Meynard, J.M., Machet, J.M., and Thelier-Huche, L. 1994. Determination of a critical N dilution curve for winter wheat crops. *Annals of Botany* 74: 397–407.
- Justes, E., Denoroy, P., Gabrielle, B., and Gosse, G. 2000. Effect of crop nitrogen status and temperature on the radiation use efficiency of winter oilseed rape. *European Journal of Agronomy* 13: 165–177.
- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Bakhshae, S., and Davari, A. 2013. A meta analysis of nitrogen fertilizer experiments for cereal crops in Iran. *Journal of Agroecology* 9(2): 29-313. (In Persian with English Summary)
- Kramer, T. 1979. Environmental and genetic variation for protein content in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica* 28: 209-218.
- Lemaire, G., and Gastal, F. 1997. N uptake and distribution in plant canopies. In: Lemaire G, ed. *Diagnosis on the nitrogen status in crops*. Heidelberg: Springer-Verlag p. 3-43.
- Lemaire, G., and Gastal, F., 2009. Quantifying crop response to nitrogen deficiency and avenues to improve nitrogen use efficiency. In: Sadras, V., Calderini, D. (Eds.), *Crop Physiology*. Elsevier Inc. p. 171-211.
- Lemaire, G., Jeuffroy, M.H., and Gastal, F. 2008a. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage: theory and practices for crop N management. *European Journal of Agronomy* 28: 614-624.
- Lemaire, G., van Oosterom, E., Jeuffroy, M.H., Gastal, F., and Massignam, A. 2008b. Crop species present different qualitative type of response to N deficiency during their vegetative growth. *Field Crops Research* 105: 253-265.
- Lemaire, G., van Oosterom, E., Sheehy, J., Jeuffroy, M.H., Massignam, A., and Rossato, L. 2007. Is crop N demand more closely related to dry matter accumulation or leaf area expansion during vegetative growth. *Field Crops Research* 100: 91-106.
- Marino, M.A., Mazzanti, A., Assuero, S.G., Gastal, F., Echeverria, H.E., and Andrade, F. 2004. Nitrogen dilution curves and nitrogen use efficiency during winter-spring growth of annual ryegrass. *Agronomy Journal* 96: 601–607.
- Mills, A., Moot, D.J., and Jamieson, P.D. 2009. Quantifying the effect of nitrogen on productivity of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) pasture. *European Journal of Agronomy* 30: 63-69.
- Miran Zadeh, H., and Emam, Y. 2010. The effect of nitrogen and Chloro-macovot-chlorid on seed yield, dry matter and water efficiency on 4 cultivar of wheat. *Iranian Journal of Field Crops Research* 8(6): 636-645. (In Persian with English Summary)
- 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. *Field Crops Research* 96: 363-373.
- Naroki, F.A., Vaezi, B., and Bavi, V. 2009. Determination amount of Advisable nitrogen for improving quantity and quality characters of three new durum wheat lines. *Iranian Journal of Crop Sciences Journal* 41(3): 583-595. (In Persian with English Summary)
- Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2013. Trend analysis of nitrogen use and productivity in wheat production systems of Iran. *Journal of Agroecology* 9(2): 30-378. (In Persian with English Summary)
- Ney, B., Doré, T., and Sagan, M. 1997. The N requirement of major agricultural crops: grain legumes. In: Lemaire, G. (Ed.), *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops*. Springer-Verlag Publishers, Heidelberg, Germany p. 107-118.
- Olesen, G.E., Petersen, B.M., Bernsten, G., and Hansen, S. 2002. Comparison of methods for simulating effects of nitrogen on green area index and dry matter growth in winter wheat. *Field Crops Research* 74: 131-149.
- Oury, F.X., Berard, P., and Brancourt-Hulmel, M. 2003. Yield and grain protein concentration in bread wheat: a review and a study of multi-annual data from a French breeding program. *Journal of Genetics and Breeding* 57-59.
- Pask, A.J.D., Sylvester-Bradley, R., Jamieson, P.D., and Foulkes, M.J. 2012. Quantifying how winter wheat crops accumulate and use nitrogen reserves during growth. *Field Crops Research* 126: 104-118.
- Plenet, D., and Cruz, P. 1997. The N requirement of major agricultural crops: maize and sorghum. In: Lemaire, G. (Ed.), *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops*. Springer-Verlag Publishers, Heidelberg, Germany p. 93-106.
- Plenet, D., and Lemaire, G. 1999. Relationships between dynamics of N uptake and dry matter accumulation in maize

- crops. Determination of critical N concentration. *Plant and Soil* 216: 65-82.
- Prost, L., and Jeuffroy, M.H., 2007. Replacing the nitrogen nutrition index by the chlorophyll meter to assess wheat N status. *Agronomy for Sustainable Development* 27: 1-10.
- Rostami, M. 2009. Nitrogen use efficiency and nitrogen dynamics in corn varieties. PhD thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
- Scharf, P.C. 2001. Soil and plant tests to predict optimum nitrogen rates for corn. *Journal of Plant Nutrition* 24: 805-826.
- Shahsavari, N., and Saffari, M. 2005. The effect of different levels of nitrogen on the function and elements of the varieties of wheat in Kerman. *Pajouhesh and Sazandegi* 66(4): 82-87.
- Sheehy, J.E., Dionara, M.J.A., Mitchell, P.L., Peng, S., Cassman, K.G., Lemaire, G., and Williams, R.L. 1998. Critical concentrations: Implications for high-yielding rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in tropics. *Field Crops Research* 59: 31-41.
- Singh, U. 2005. Integrated nitrogen fertilization for intensive and sustainable agriculture. *Journal of Crop Improvement* 15: 259-287.
- Stöckle, C.O., and Debaeke, P. 1997. Modelling crop nitrogen requirements: a critical analysis. *European Journal of Agronomy* 7: 161-169.
- Tei, F., Benincasa, P., and Guidici, M. 2002. Critical nitrogen concentration in processing tomato. *European Journal of Agronomy* 18: 45-56.
- Xiaoping, X., Jianguo, W., Wenqi, G., and Zhiguo, Z. 2007. Determination of a critical dilution curve for nitrogen concentration in cotton. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 170: 811-817.
- Ziadi, N., Belanger, G., Claessens, A., Lefebvre, L., Cambouris, A.N., Tremblay, N., Nolin, M.C., and Parent, L.E. 2010. Determination of a critical nitrogen dilution curve for spring wheat. *Agronomy Journal* 102: 241-250.
- Ziadi, N., Brassard, M., Bélanger, G., Cambouris, A.N., Tremblay, N., Nolin, M.C., Claessens, A., and Parent, L. E. 2008. Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for corn in eastern Canada. *Agronomy Journal* 100: 271-276.



Optimizing Fertiliser Application Rates in Wheat using Nitrogen Nutrition Index

M. Nassiri Mahallati^{1*} and A. Koocheki¹

Submitted: 22-02-2014

Accepted: 23-07-2014

Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A. 2018. Optimizing fertiliser application rates in wheat using nitrogen nutrition index. *Journal of Agroecology*. 10(3): 647-665.

Introduction

Crop response to nitrogen (N) is usually evaluated by N use efficiency and diminishing return curves between yield and applied N fertilizers. However, both methods are highly variable due to environmental conditions and are dependent to the amount, timing and type of N fertilizers. Extending the results of such studies will led to overestimation of crop N requirements as a result of differences in precipitation, temperature and radiation across locations and years. Therefore optimizing fertilizer use for maximum productivity should be based on methods with higher certainty. Nitrogen nutrition index i.e. the ratio of actual N concentration in plant tissues to the critical N concentration is more reliable measure for fertilizer recommendation because of its stability over environmental fluctuations. However, for development of N nutrition index the critical dilution curve should be specifically established for each crop. In this papers N nutrition index is estimated for different wheat cultivars and tested for evaluation of grain yield in response to N application rates.

Materials and Methods

To determine N nutrition index for wheat cultivars, a field experiment was conducted with factorial arrangement based on complete randomized block design with three replications. Experimental factors included three wheat cultivars (Chamran, Gaskogen and Sionez) and four N application rates (0, 55, 110 and 170 kg N ha⁻¹). Shoot dry matter and N concentration was measured in five sampling during vegetative growth period. Using these data critical N concentrations and critical N dilution curves were calculated and compared with the previously established reference dilution curve for wheat crop. Nitrogen nutrition index (NNI) was then calculated as the ratio between measured shoot N (%) and the critical N concentration. Using NII grain yield and protein content of wheat cultivars was compared under different levels of N fertilizer.

Results and Discussion

Critical concentration of nitrogen was slightly underestimated by the curve obtained in this study compared to reference curve. However, estimated coefficients of the dilution curve were closed to those of reference curve of wheat crop. Overall, nitrogen deficiency, sufficiency and excess in shoot dry matter were properly described by the estimated critical dilution and critical uptake curves. All wheat cultivars were nitrogen limited in no fertilized control and with application of 55 kg N ha⁻¹ however, in 170 kg N ha⁻¹ shoot nitrogen content was more than amount required for optimal growth and in 110 kg N ha⁻¹ nitrogen uptake was closed to critical values. In unfertilized control and 55 kg N ha⁻¹ NNI was lower than 1 during the whole vegetative growth period. However, in 110 kg N ha⁻¹ NNI was almost 1 and in 170 kg N ha⁻¹ varied between 1-1.3. A significant relation was obtained between NNI at flowering and relative yield of wheat cultivars and grain yield of three cultivars reached to its maximum at NNI between 0.9-1. Grain protein was also linearly correlated with NII at flowering.

Conclusion

Based on the results nitrogen nutrition index calculated from critical dilution curve could be used as a

1- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

(*- Corresponding Author Email: mnassiri@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.32578

powerful tool for precise estimation of crop growth rate, dry matter accumulation, grain yield and protein and to optimize the amount of N fertilizer required for any predefined yield level.

Keywords: Critical N concentration, Critical N dilution curve, Critical N uptake, Grain yield, Grain protein



بررسی خصوصیات علوفه‌ای کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) با خلر (*Lathyrus sativus* L.)، نخود علوفه‌ای (*Pisum avestum* L.)، ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.) و ماشک مجاری (*Vicia paninica* L.) تحت تأثیر تراکم کاشت در شرایط دیم

سرحد بهرامی^۱ و وریا ویسانی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۴/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۱۸

بهرامی، س.، و ویسانی، و. ۱۳۹۷. بررسی خصوصیات علوفه‌ای کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) با خلر (*Lathyrus sativus* L.)، نخود علوفه‌ای (*Pisum avestum* L.)، ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.) و ماشک مجاری (*Vicia paninica* L.) تحت تأثیر تراکم کاشت در شرایط دیم. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳): ۶۶۵-۶۷۸.

چکیده

کشت مخلوط با استفاده از عوامل زمان و مکان علاوه بر بهبود روش‌های تولید از جنبه زیست‌محیطی و سلامت انسان توان افزایش تولید محصولات کشاورزی را دارا می‌باشد. به‌منظور بررسی اثر تراکم بوته و نسبت‌های کشت مخلوط گیاهان علوفه‌ای یک ساله شامل: خلر، (*Lathyrus sativus* L.)، نخود علوفه‌ای (*Pisum avestum* L.)، ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.) و ماشک مجاری (*Vicia paninica* L.) بر عملکرد کمی و کیفی جو (*Hordeum vulgare* L.)، در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقاتی دیم کردستان در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام گرفت. تیمارهای مورد بررسی ترکیبی از پنج سطح تراکم ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰ بوته در مترمربع گیاهان علوفه‌ای و چهار نسبت بذور این گیاهان (۰:۱۰۰، ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰ و ۱۰۰:۰) در کشت مخلوط با جو بودند. نتایج نشان داد که بیشترین کمترین مقادیر عملکرد علوفه تر و خشک به ترتیب از تیمارهای کشت خالص جو و کشت خالص گیاه علوفه‌ای با تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع به دست آمد. نسبت‌های ۷۵ درصد نخود علوفه‌ای+۲۵ درصد جو در تراکم ۲۵۰ بوته در مترمربع و ۵۰ درصد ماشک گل خوشه‌ای+۵۰ درصد جو در تراکم ۳۰۰ بوته در مترمربع به ترتیب با ۰/۹۴ و ۰/۸۶ تن در هکتار بیشترین مقادیر پروتئین خام را دارا بودند. نسبت‌های کشت ۷۵ درصد خلر+۲۵ درصد جو در تراکم، ۷۵ درصد نخود علوفه‌ای+۲۵ درصد جو در تراکم، ۵۰ درصد ماشک گل خوشه‌ای+۵۰ درصد جو در تراکم و ۵۰ درصد ماشک مجاری+۵۰ درصد جو در تراکم به ترتیب با ۱/۱۹، ۱/۲۶، ۱/۱۶ و ۱/۱۳ نسبت برابری زمین نسبت به سایر نسبت‌های کشت برتری داشتند.

واژه‌های کلیدی: عملکرد، غلات، کیفیت علوفه، نسبت برابری زمین

مقدمه

زمان و مکان داشته باشد (Lithourgidis et al., 2006). از مزایای مهم کشت مخلوط مواردی مانند افزایش تولید، استفاده بیشتر از منابع محیطی، کنترل علف‌های هرز و کاهش خسارت آفات و بیماری‌ها را می‌توان نام برد. کشت مخلوط بقولات و غلات روشی متداول در کشاورزی سنتی کشورهای در حال توسعه به شمار می‌آید. استفاده مطلوب از منابع در دسترس و افزایش کارایی زمین (Dhima et al., 2007)، تولید علوفه باکیفیت و افزایش بهره‌وری (Al-Masri,

کشت مخلوط می‌تواند مزایای مشخصی را برحسب درجه تنوع در

۱- کارشناس مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کردستان
۲- استادیار، گروه زراعت، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
* - نویسنده مسئول: (Email: weria.wisany@gmail.com)
DOI: 10.22067/jag.v10i3.37021

۱۲۰، ۸۰ و ۱۰۰ کیلوگرم از بذور ماشک معمولی، ماشک گل خوشه‌ای و ماشک مجاری و قره داغ (Karadag, 2004) مقادیر ۱۰۰، ۸۰، ۸۰ و ۱۲۰ کیلوگرم از بذور ماشک معمولی، ماشک مجاری، ماشک گل خوشه‌ای و خلر را به ترتیب در کشت خالص مبنای مطالعات کشت مخلوط قرار دادند. تونا و اورک (Tuna & Orak, 2007) در ارزیابی کشت مخلوط ماشک معمولی با یولاف میزان بذر ماشک معمولی و یولاف را در کشت خالص به ترتیب ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفت استفاده از گیاهان علوفه‌ای یک ساله در تناوب زراعی به‌عنوان پشتوانه هر سیستم زراعی پایدار به‌شمار می‌آید.

با کشت گیاهان علوفه‌ای یکساله در سال‌های آیش دیم‌زارها، علاوه بر کنترل فرسایش و حفاظت خاک و آب، تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، افزایش مواد آلی، بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و جبران بخشی از کمبود علوفه، استفاده از کود سبز حاصله از این گیاهان ضمن کاهش تقاضا برای مصرف کودهای شیمیایی، در افزایش بهره‌وری محصولات و گیاهانی که متعاقب آن کشت می‌گردد، مؤثر می‌باشد. با عنایت به این‌که تاکنون تحقیقات چندانی در ارتباط با تأثیر کشت مخلوط و تراکم کشت بر خصوصیات علوفه‌ای خلر، نخود علوفه‌ای (*Cicer arietinum* L.)، ماشک گل خوشه‌ای و ماشک مجاری (*Vicia paninica* L.)، در شرایط دیم در کشور انجام نگرفته و همچنین با در نظر گرفتن مزایای متعدد کشت مخلوط در بهبود کمی و کیفیت عملکرد گیاهان علوفه‌ای، تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر تراکم بوته و نسبت‌های مختلف تراکم بوته بر عملکرد کمی و کیفی علوفه در زراعت مخلوط گیاهان علوفه‌ای یکساله با جو انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر تراکم بوته و نسبت‌های مختلف تراکم بوته بر عملکرد کمی و کیفی علوفه در زراعت مخلوط گیاهان علوفه‌ای یکساله با جو، آزمایشی در ایستگاه تحقیقاتی دیم قاملو، شهر قروه استان کردستان انجام گرفت. در آزمایش چهار گیاه علوفه‌ای خلر، ماشک مجاری، ماشک گل خوشه‌ای و نخود علوفه‌ای کشت گردید. آزمایش در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با ۱۶ تیمار در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی ترکیبی از پنج سطوح پنج سطح تراکم ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰ بوته در مترمربع گیاهان علوفه‌ای

(1998)، پایداری عملکرد (Lithourgidis et al., 2011) و کنترل آفات و علف‌های هرز (Balabanli & Turk, 2006; Vasilakoglou et al., 2008) از مزایای کشت مخلوط بقولات و غلات در مقایسه با کشت خالص این گیاهان به‌شمار می‌رود. کشت مخلوط خلر (*Lathyrus sativus* L.) و ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.) با غلات، به‌ویژه در مورد گونه‌هایی که دارای ساقه‌های ضعیف هستند مفید بوده و از ورس آن‌ها جلوگیری می‌کند (Tan & Serin, 1996; Soya et al., 1996; Sebahttin et al., 2004). کشت خلر و ماشک گل خوشه‌ای با جو (*Hordeum vulgare* L.)، یولاف (*Avena sativa* L.)، گندم (*Triticum aestivum* L.)، چاودار (*Secale montanum* L.) و تریتیکاله (*Triticosecale wittmack* L.) ضمن حفاظت فیزیکی بوته‌ها از خطر ورس، در کنترل رشد علف‌های هرز، کاهش زمان رسیدگی و افزایش عملکرد بذور این گیاهان به‌دلیل جلوگیری از خوابیدگی مؤثر می‌باشد (Mueller & Troup-Kristensen, 2001; Ceglarek et al., 2004). مخلوط علوفه غلات و بقولات در مقایسه با مصرف خالص آن‌ها از مواد معدنی، پروتئین‌ها، ویتامین‌ها و کربوهیدرات‌های کافی برخوردار بوده و به‌دلیل ارزش غذایی بالا، رجحان‌پذیری بیشتری برای دام دارد که این امر نقش مهمی را افزایش فرآورده‌های دامی ایفا می‌نماید (Serin et al., 1999). در مطالعات یو و همکاران (Yau et al., 2003) که به مدت شش سال در شمال لبنان اجرا گردید، در بین گیاهان علوفه‌ای مورد بررسی در تناوب با کشت جو، ماشک معمولی به‌دلیل تولید بیشترین مقدار علوفه خشک و دانه، مناسب‌ترین گیاه علوفه‌ای معرفی گردید. لیسورگیدس و همکاران (Lithourgidis et al., 2006) مصرف ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار بذر ماشک معمولی در کشت خالص را، مبنای بررسی‌های خود در نسبت‌های کشت مخلوط با جو و تریتیکاله منظور نمود. قره داغ (Karadag, 2004) در مطالعات خود، کشت گیاهان علوفه‌ای یکساله را جایگزینی مناسب، برای تناوب رایج غلات - آیش در مناطق خشک و نیمه‌خشک دیم‌زارهای ترکیه معرفی که می‌تواند نقش مهمی را در جبران بخشی از کمبود علوفه دام ایفا نماید.

استفاده از گیاهان علوفه‌ای یکساله در تناوب زراعی به‌عنوان پشتوانه هر سیستم زراعی پایدار به‌شمار می‌آید. یوکلو و همکاران (Yolcu et al., 2009) مقادیر ۱۰۰ کیلوگرم از بذور خلر و ماشک معمولی، صباح‌الدین و همکاران (Sebahttin et al., 2004) مقادیر

توصیه‌های بخش خاک و آب (۸۰ کیلوگرم کود اوره (NH_2CONH_2) ، ۱۲۰ کیلوگرم دی‌آمونیم فسفات $(NH_4)_2HPO_4$ ، ۸۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم (K_2SO_4)) مصرف گردید. مقادیر بذور مصرفی بر مبنای وزن صد دانه برای هر یک از کرت‌های آزمایشی محاسبه گردید.

و چهار نسبت کشت مخلوط تراکم بوته جو با این گیاهان (۰:۱۰۰، ۵۰:۵۰، ۷۵:۲۵) بودند. هر کرت آزمایشی شامل شش خط پنج‌متری به فواصل ۲۰ سانتی‌متر و به مساحت شش مترمربع بود. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. مقادیر کود مصرفی بر اساس آزمون خاک و

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Some physical and chemical properties of the soil in the experiment site

بافت Texture	pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زمینس بر متر)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)	منیزیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)	مس (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک)
		ECe ($dS.m^{-1}$)	K ($mg.kg^{-1}soil$)	P ($mg.kg^{-1}soil$)	Mg ($mg.kg^{-1}soil$)	Zn ($mg.kg^{-1}soil$)	Fe ($mg.kg^{-1}soil$)	Cu ($mg.kg^{-1}soil$)
شنی لومی Sandy lumi	7.5	0.81	450	10.5	222.1	1.02	9.74	1.3

کشت به صورت پاییزه و با استفاده از رقم جو پاییزه آبیذر (زودرس، مقاوم به تنش خشکی، متحمل به سرما، مقاوم به ریزش، دو ردیفه با متوسط ارتفاع ۵۷ سانتی‌متر و وزن هزار دانه بین ۳۳ الی ۴۳ گرم) با تراکم کاشت ۳۰۰ بوته در مترمربع انجام گرفت. برداشت علوفه تر زمانی که اولین غلاف‌های گیاهان علوفه‌ای به خوبی توسعه یافته که در این زمان جو در مرحله شیری و ابتدای خمیری بود، انجام گردید. در زمان برداشت، بوته‌های ۲ ردیف میانی با رعایت فاصله نیم‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای، از ارتفاع ۲ سانتی‌متری سطح زمین قطع و وزن تر آن‌ها توزین گردید. نمونه آزمایشگاهی از علوفه تر تیمارها به آزمایشگاه منتقل و به مدت ۷۲ ساعت در آون ۶۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از تعیین درصد رطوبت آن‌ها، درصد ماده خشک و عملکرد علوفه خشک محاسبه گردید (AOAC, 1980). از نمونه‌های ماده خشک تیمارها، جهت تعیین مقادیر درصد نیتروژن و پروتئین خام استفاده گردید. پس از تعیین درصد نیتروژن هر کدام از گیاهان با استفاده از دستگاه کجلدال (Kejeltec Auto Analyzer 1030)، مقادیر درصد نیتروژن جو در عدد ۵/۸۳ و برای گیاهان علوفه‌ای در عدد ۶/۲۵ ضرب و به این ترتیب مقادیر درصد پروتئین خام با استفاده از رابطه زیر تعیین گردید (AOAC, 1980).

کشت به صورت پاییزه و با استفاده از رقم جو پاییزه آبیذر (زودرس، مقاوم به تنش خشکی، متحمل به سرما، مقاوم به ریزش، دو ردیفه با متوسط ارتفاع ۵۷ سانتی‌متر و وزن هزار دانه بین ۳۳ الی ۴۳ گرم) با تراکم کاشت ۳۰۰ بوته در مترمربع انجام گرفت. برداشت علوفه تر زمانی که اولین غلاف‌های گیاهان علوفه‌ای به خوبی توسعه یافته که در این زمان جو در مرحله شیری و ابتدای خمیری بود، انجام گردید. در زمان برداشت، بوته‌های ۲ ردیف میانی با رعایت فاصله نیم‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای، از ارتفاع ۲ سانتی‌متری سطح زمین قطع و وزن تر آن‌ها توزین گردید. نمونه آزمایشگاهی از علوفه تر تیمارها به آزمایشگاه منتقل و به مدت ۷۲ ساعت در آون ۶۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از تعیین درصد رطوبت آن‌ها، درصد ماده خشک و عملکرد علوفه خشک محاسبه گردید (AOAC, 1980). از نمونه‌های ماده خشک تیمارها، جهت تعیین مقادیر درصد نیتروژن و پروتئین خام استفاده گردید. پس از تعیین درصد نیتروژن هر کدام از گیاهان با استفاده از دستگاه کجلدال (Kejeltec Auto Analyzer 1030)، مقادیر درصد نیتروژن جو در عدد ۵/۸۳ و برای گیاهان علوفه‌ای در عدد ۶/۲۵ ضرب و به این ترتیب مقادیر درصد پروتئین خام با استفاده از رابطه زیر تعیین گردید (AOAC, 1980).

معادله (۱)

معادله (۲)

عملکرد علوفه خشک = درصد پروتئین خام = عملکرد پروتئین خام

جهت ارزیابی مزیت کشت مخلوط بر کشت خالص از شاخص نسبت برابری زمین (LER) بر اساس فرمول زیر استفاده به عمل آمد (Mead & Willey 1980; Caballero et al., 1995).

معادله (۳)

$$LER = (Y_{ab} / Y_{aa}) + (Y_{ba} / Y_{bb})$$

Y_{ab} : عملکرد گونه a در کشت مخلوط

Y_{aa} : عملکرد گونه a در کشت خالص

Y_{ba} : عملکرد گونه b در کشت مخلوط

Y_{bb} : عملکرد گونه b در کشت خالص

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C انجام و میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج و یک درصد مقایسه شدند.

جدول ۲ - نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد مرغانس (میانگین مربعات) عملکرد خشک و علوفه تر، علوفه خشک و عملکرد پروتئین خام خلر، نخود علوفه‌ای، ماشک گل خوشه‌ای و ماشک مجاری تحت تأثیر تراکم بوته و نسبت تراکم بوته

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ماشک مجاری			ماشک گل خوشه‌ای			نخود علوفه‌ای			خلر		
		Hungarian vetch		Hairy vetch		Field pea		Green pea		Field pea		Green pea	
		علوفه خشک dry matter	پروتئین خام crude protein	علوفه تر fresh forage	علوفه خشک dry matter	پروتئین خام crude protein	علوفه تر fresh forage	علوفه خشک dry matter	پروتئین خام crude protein	علوفه تر fresh forage	علوفه خشک dry matter	پروتئین خام crude protein	علوفه تر fresh forage
تکرار Replication	2	7.01 ^{ns}	0.071 ^{ns}	27.49*	8.58 ^{ns}	0.002 ^{ns}	1.67 ^{ns}	0.042 ^{ns}	37.55*	3.14 ^{ns}	0.042 ^{ns}	8.05 ^{ns}	
تیمار Treatment	15	23.25 ^{**}	0.041*	49.96 ^{**}	17.42 ^{**}	0.066 ^{**}	12.82 ^{**}	0.015 ^{ns}	23.47 ^{**}	19.07 ^{**}	0.015 ^{ns}	53.42 ^{**}	
خطا Error	30	2.22	0.023	6.26	2.9	0.023	1.79	0.014	8.13	3.32	0.014	13.52	
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)		14.1	16.58	10.3	20.42	14.82	12.52	14.72	13.7	23.3	14.72	22.0	

^{ns} و ^{**} به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم وجود تفاوت معنی دار می‌باشند.
* ، ** and ns are significant at of 5%, 1% probability level and no significant difference, respectively.

نتایج و بحث

عملکرد علوفه تر

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) حاکی از آن است که تراکم بوته و نسبت‌های کشت مخلوط خلر با جو، به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، عملکرد علوفه تر گیاه خلر را تحت تأثیر قرار داد. همچنین نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان می‌دهد که تراکم بوته و نسبت‌های کشت مخلوط نخود علوفه‌ای با جو، به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد، عملکرد علوفه تر گیاه نخود علوفه‌ای، ماشک گل خوشه‌ای و ماشک مجاری را تحت تأثیر قرار داد.

بیشترین و کمترین مقادیر عملکرد علوفه تر را به‌ترتیب کشت خالص جو و کشت خالص خلر در تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع به خود اختصاص دادند (جدول ۳). در مقایسه نسبت‌های مشابه تیمارهای متعلق به کشت مخلوط جو + خلر با افزایش تراکم خلر، مقادیر عملکرد علوفه تر نیز افزایش نشان داد. به‌طوری‌که بیشترین مقادیر عملکرد علوفه تر از تراکم‌های خلر در سطوح ۲۵۰ بوته در مترمربع و ۳۰۰ بوته در مترمربع حاصل شدند (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین و کمترین مقادیر عملکرد علوفه تر به‌ترتیب در کشت مخلوط ۷۵٪ نخود علوفه‌ای + ۲۵٪ جو و کشت خالص نخود علوفه‌ای در تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع مشاهده گردید (جدول ۴). همچنین بیشترین و کمترین مقادیر عملکرد علوفه تر به‌ترتیب از تیمارهای کشت خالص جو و کشت خالص ماشک گل خوشه‌ای با تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع به‌دست آمد (جدول ۵). نتایج، گویای آن است که بیشترین و کمترین مقادیر عملکرد علوفه تر به‌ترتیب از تیمارهای کشت مخلوط ۵۰٪ مجاری + ۵۰٪ جو با تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع و کشت خالص ماشک مجاری با تراکم ۱۵۰ بوته در مترمربع به دست آمد (جدول ۶).

نتایج مطالعه دوساله آل بایراق و همکاران (Albayrak et al., 2004) روی ارزیابی عملکرد کمی و کیفی گیاهان ماشک گل خوشه‌ای، ماشک مجاری و ماشک معمولی در کشت خالص و مخلوط با تریتیکاله، نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد علوفه تر به‌ترتیب از کشت ماشک گل خوشه‌ای با ۳۰ تن در هکتار و مجاری با ۲۵ تن در هکتار حاصل شد. در یک تحقیق دیگر که توسط قره داغ (Karadag, 2004) انجام گرفت، دامنه تغییرات عملکرد علوفه تر

چهار گیاه خلر، ماشک گل خوشه‌ای، ماشک معمولی و مجاری در کشت مخلوط با جو متفاوت بود.

عملکرد علوفه خشک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که تراکم بوته و نسبت‌های کشت مخلوط خلر با جو، عملکرد علوفه خشک خلر را در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). بیشترین و کمترین مقادیر عملکرد علوفه خشک به‌ترتیب از کشت خالص جو و کشت خالص خلر با تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع به‌دست آمد (جدول ۳). بین تراکم‌های مختلف کشت خالص خلر از نظر عملکرد علوفه خشک، تفاوت معنی‌دار مشاهده نگردید. تراکم با نسبت‌های مشابه اختلاط بذور، میانگین عملکرد علوفه خشک حاصل از کشت مخلوط، تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد با کشت خالص این گیاه در تراکم‌های مشابه نشان داد. میانگین عملکرد علوفه خشک حاصل از نسبت کشت ۷۵٪ خلر + ۲۵٪ جو در تراکم‌های ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ بوته در مترمربع و در نسبت کشت ۵۰٪ خلر + ۵۰٪ جو بیشتر از کشت خالص این گیاه در تراکم‌های مشابه بود (جدول ۳). بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲)، تیمارهای آزمایشی به‌طور چشم‌پیری عملکرد علوفه خشک نخود علوفه‌ای، ماشک گل خوشه‌ای و ماشک مجاری را تحت تأثیر قرار دادند. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین مقادیر عملکرد علوفه خشک به‌ترتیب از کشت مخلوط ۵۰٪ نخود علوفه‌ای + ۵۰٪ جو و کشت خالص نخود علوفه‌ای حاصل شد (جدول ۴). به‌طوری‌که کشت مخلوط ۵۰٪ نخود علوفه‌ای + ۵۰٪ جو باعث افزایش ۱۲۷ درصدی عملکرد علوفه خشک نسبت به کشت خالص نخود علوفه‌ای شد (جدول ۴).

به‌طوری‌که در جدول ۵ مشاهده می‌گردد بیشترین و کمترین مقادیر عملکرد علوفه خشک به‌ترتیب از کشت خالص جو و کشت خالص ماشک گل خوشه‌ای با تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع مشاهده شد. کشت مخلوط ۵۰٪ ماشک گل خوشه‌ای + ۵۰٪ جو باعث افزایش ۱۵۸ درصدی عملکرد علوفه خشک نسبت به کشت خالص ماشک گل خوشه‌ای در تراکم کاشت ۳۰۰ بوته در مترمربع گردید. همچنان که در جدول ۶ مشاهده می‌گردد بیشترین و کمترین مقادیر عملکرد علوفه خشک به‌ترتیب از کشت مخلوط ۵۰٪ ماشک مجاری + ۵۰٪ جو و کشت خالص ماشک مجاری با تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع حاصل شدند (جدول ۶).

جدول ۳- مقایسه میانگین تراکم بوته و نسبت‌های کشت مخلوط خلر با جو بر میانگین عملکرد علوفه تر، علوفه خشک، نسبت برابری زمین و عملکرد پروتئین خام

Table 3- Effect of seed rate and the ratio of green pea intercropping with barley on forage yield, dry matter, LER and crude protein yield

تراکم بوته در مترمربع Plant density m ²	نسبت‌های تراکم بوته Plant density ratios	عملکرد علوفه تر (تن در هکتار) Fresh yield (t.ha ⁻¹)	عملکرد علوفه خشک (تن در هکتار) Dry matter (t.ha ⁻¹)	نسبت برابری زمین LER	عملکرد پروتئین خام (تن در هکتار) Crude protein yield (t.ha ⁻¹)
100	۱۰۰ درصد خلر Greenpea %100	6.22 ^{e*}	2.02 ^e	1.00 ^{ab}	0.44 ^h
100	۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو Barley %25 + Greenpea %75	10.81 ^d	5.74 ^{cd}	0.75 ^c	0.41 ^j
100	۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو Barley %50 + Greenpea %50	13.43 ^{bcd}	5.71 ^{cd}	0.72 ^c	0.39 ^l
-	۱۰۰ درصد جو Barley %100	18.56 ^a	9.48 ^a	1.00 ^{ab}	0.52 ^d
150	۱۰۰ درصد خلر Greenpea %100	6.10 ^e	2.1 ^e	1.00 ^{ab}	0.48 ^f
150	۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو Barley %25 + Greenpea %75	14.40 ^{bc}	7.09 ^{bc}	0.95 ^b	0.55 ^b
150	۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو Barley %50 + Greenpea %50	13.65 ^{bcd}	6.64 ^{bcd}	0.85 ^c	0.40 ^k
200	۱۰۰ درصد خلر Greenpea %100	6.42 ^e	2.19 ^e	1.00 ^{ab}	0.43 ⁱ
200	۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو Barley %25 + Greenpea %75	10.48 ^d	5.34 ^d	0.84 ^c	0.43 ⁱ
200	۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو Barley %50 + Greenpea %50	14.59 ^{bc}	7.49 ^b	0.94 ^b	0.54 ^c
250	۱۰۰ درصد خلر Greenpea %100	5.58 ^e	2.11 ^e	1.00 ^{ab}	0.46 ^g
250	۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو Barley %25 + Greenpea %75	16.6 ^{ab}	7.92 ^b	1.11 ^a	0.61 ^a
250	۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو Barley %50 + Greenpea %50	12.73 ^{cd}	7.77 ^b	0.96 ^b	0.50 ^e
300	۱۰۰ درصد خلر Greenpea %100	6.07 ^e	2.25 ^e	1.00 ^{ab}	0.48 ^f
300	۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو Barley %25 + Greenpea %75	14.44 ^{bc}	7.28 ^{bc}	1.19 ^a	0.61 ^a
300	۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو Barley %50 + Greenpea %50	13.19 ^{bcd}	6.35 ^{bcd}	0.87 ^c	0.41 ^j

*میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار به روش دانکن در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.

*Means with the same letter for each stage are not significantly different based on Duncan's Multiple Range test; P≤0.05.

در مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) نسبت برابری زمین بیش از واحد بوده، ولی هنگامی که از غده‌های تثبیت نیتروژن در لوبیا جلوگیری به عمل آمد هر دو گیاه برای جذب نیتروژن با یکدیگر رقابت کرده و مقدار نسبت برابری زمین از یک کمتر گردید. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایجیوسل و اوسی (Yucel & Avci, 2009)؛ و آتیس و همکاران، (Atis et al., 2012) مطابقت دارد. این محققین افزایش عملکرد علوفه خشک در تیمارهای کشت مخلوط را به کارایی بالا در استفاده مطلوب از شرایط محیطی و منابع قابل دسترس نسبت دادند.

قره‌داغ (Karadag, 2004) در آزمایشی عملکرد علوفه و دانه چهار گیاه خلر، ماشک گل خوشه‌ای، ماشک معمولی و مجاری را در کشت مخلوط با جو به مدت دو سال (۲۰۰۳-۲۰۰۱) مورد بررسی قرار داد. در نتایج حاصل، عملکرد گیاهان علوفه‌ای در کشت مخلوط به-شده تحت تأثیر گیاه جو قرار گرفت به طوری که درصد سهم عملکرد

افزایش محصول کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص را می‌توان به تفاوت در سیستم ریشه این گیاهان و استفاده مطلوب از شرایط محیطی نسبت داد. کشت گیاه جو با ریشه‌های سطحی و افشان در مجاورت گیاهان علوفه‌ای که دارای ریشه‌های عمیق می‌باشد که این امر موجب می‌شود ریشه این گیاهان در طبقات مختلف خاک پراکنده شده و در مجموع آب و مواد غذایی بیشتری از یک حجم معینی از خاک جذب گردد. تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط ریشه‌های گیاهان علوفه‌ای یکی دیگر از عوامل مؤثر در افزایش کارایی کشت مخلوط این گیاهان به‌شمار می‌آید. به طوری که می‌توان گفت گیاهان خلر، نخود علوفه‌ای، ماشک گل خوشه‌ای و ماشک مجاری در کشت مخلوط از نیتروژن اتمسفر و گیاه جو از نیتروژن موجود در خاک استفاده نموده و به این ترتیب از نظر جذب مواد غذایی به‌عنوان مکمل یکدیگر عمل نموده‌اند.

مظاهری (Mazaheri, 1993) در مطالعات خود بیان نمود، اگرچه

واقعی گیاهان علوفه‌ای از کل عملکرد علوفه خشک، به مراتب کمتر از عملکرد پیش بینی بود. لیتورگیدس و همکاران (Lithourgidis et al., 2007) جهت ارزیابی عملکرد کمی و کیفی علوفه ماشک معمولی در کشت خالص و مخلوط با گندم و جو آزمایشی را به مدت دو سال (۲۰۰۳-۲۰۰۵) در شرایط اقلیمی شمال یونان اجرا نمودند.

جدول ۴- مقایسه میانگین تراکم بوته و نسبت‌های کشت مخلوط علوفه تر نخود علوفه‌ای با جو بر میانگین عملکرد علوفه تر، علوفه خشک، نسبت برابری زمین و عملکرد پروتئین خام

Table 4-Effect of plant density and seed ratio of chickpea intercropped with barley on forage yield, dry matter, LER and crude protein yield and LER

تراکم بوته در مترمربع Plant density per m ²	نسبت‌های تراکم بوته Plant density ratio	عملکرد علوفه تر (تن در هکتار) Forage yield (t.ha ⁻¹)	عملکرد علوفه خشک (تن در هکتار) Dry matter (t.ha ⁻¹)	نسبت برابری زمین LER	عملکرد پروتئین خام (تن در هکتار) Crude protein yield (t.ha ⁻¹)
100	۱۰۰ درصد نخود علوفه ای Field pea %100	6.99 ^{e*}	2.55 ^f	1.00 ^{ab}	0.52 ^{defg}
100	۷۵ درصد نخود علوفه ای ۲۵+ درصد جو %25 + Field pea %75 Barley	13.44 ^{abcd}	7.5 ^{abc}	0.82 ^c	0.60 ^{cd}
100	۵۰ درصد نخود علوفه ای ۵۰+ درصد جو %50 + Field pea %50 Barley	13.38 ^{abcd}	7.21 ^{bc}	1.05 ^{ab}	0.48 ^{defg}
-	۱۰۰ درصد جو Barley %100	15.17 ^a	8.46 ^a	1.00 ^{ab}	0.41 ^g
150	۱۰۰ درصد نخود علوفه ای Field pea %100	8.12 ^{fg}	3.12 ^{ef}	1.00 ^{ab}	0.47 ^{efg}
150	۷۵ درصد نخود علوفه ای ۲۵+ درصد جو %25 + Field pea %75 Barley	15.45 ^a	7.79 ^{ab}	1.09 ^{ab}	0.71 ^{bc}
150	۵۰ درصد نخود علوفه ای ۵۰+ درصد جو %50 + Field pea %50 Barley	12.43 ^{bcde}	6.69 ^{bc}	0.96 ^b	0.53 ^{defg}
200	۱۰۰ درصد نخود علوفه ای Field pea %100	11.81 ^{de}	3.59 ^{ef}	1.00 ^{ab}	0.75 ^b
200	۷۵ درصد نخود علوفه ای ۲۵+ درصد جو %25 + Field pea %75 Barley	10.21 ^{ef}	5.53 ^d	1.26 ^a	0.59 ^{cde}
200	۵۰ درصد نخود علوفه ای ۵۰+ درصد جو %50 + Field pea %50 Barley	13.61 ^{abcd}	7.04 ^{bc}	1.13 ^a	0.55 ^{def}
250	۱۰۰ درصد نخود علوفه ای Field pea %100	7.93 ^{fg}	3.15 ^{ef}	1.00 ^{ab}	0.78 ^b
250	۷۵ درصد نخود علوفه ای ۲۵+ درصد جو %25 + Field pea %75 Barley	14.73 ^{ab}	7.75 ^{ab}	1.21 ^a	0.94 ^a
250	۵۰ درصد نخود علوفه ای ۵۰+ درصد جو %50 + Field pea %50 Barley	13.96 ^{abcd}	5.69 ^d	0.90 ^b	0.46 ^{fg}
300	۱۰۰ درصد نخود علوفه ای Field pea %100	8.61 ^{fg}	3.73 ^e	1.00 ^{ab}	0.80 ^b
300	۷۵ درصد نخود علوفه ای ۲۵+ درصد جو %25 + Field pea %75 Barley	12.23 ^{cde}	6.52 ^{cd}	0.93 ^b	0.57 ^{def}
300	۵۰ درصد نخود علوفه ای ۵۰+ درصد جو %50 + Field pea %50 Barley	14.42 ^{abc}	8.51 ^a	1.03 ^{ab}	0.56 ^{def}

*میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار به روش دانکن در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.

*Means with the same letter for each stage are not significantly different based on Duncan's Multiple Range test; P≤0.05.

فتوسنتزی (PAR)^۱ و همچنین جذب بالاتر عناصر غذایی و آب در کشت مخلوط می‌تواند دلیل اصلی افزایش وزن خشک در کشت

نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که عملکرد علوفه تر و خشک در شرایط کشت مخلوط افزایش پیدا کرد. جذب بیشتر تشعشعات فعال

Aslan & (Caballero et al., 1995) و اصلان و گل‌کن، (Basbag et al., 1999) و باس باگ و همکاران، (Gulcan, 1996) مطابقت داشت. محققان اخیر، نسبت کشت ۵۰٪ بقولات علوفه‌ای + ۵۰٪ غلات دانه ریز را جهت کشت مخلوط توصیه نمودند. از نظر رقابت چنین استنباط می‌شود که گونه‌های مختلف گیاهی در مجاورت یکدیگر برای جذب عنصر بخصوصی رقابت نمی‌نمایند یا به عبارت دیگر، اثر رقابت برون گونه‌ای مساوی و یا کمتر از رقابت درون گونه‌ای است. در چنین حالتی گیاهان نه تنها با یکدیگر رقابت نمی‌نمایند بلکه مکمل یکدیگر هم هستند. به علت استفاده مؤثر از منابع موجود، میزان کمیت و کیفیت در کشت مخلوط افزایش می‌یابد. جذب بیشتر تابش فعال فتوسنتزی، آب و تثبیت بیولوژیک نیتروژن در کشت مخلوط می‌تواند دلیل اصلی افزایش عملکرد آن نسبت به کشت خالص باشد به عبارت دیگر ثبات تولید در کشت مخلوط بیشتر است. در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص از آب و منابع به طور مطلوب‌تری استفاده می‌شود و عملکرد بیشتری تولید می‌کند.

پروتئین خام

تجمع پروتئین خام در بافت‌های گیاهی یکی از مهمترین ویژگی‌های کیفی گیاهان علوفه‌ای بوده که همواره برای ارزیابی کیفی علوفه به‌ویژه در سیستم کشت مخلوط مورد استفاده قرار می‌گیرد (Yolcu et al., 2009). نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، گویای آن است که بین سطوح مختلف تراکم بوته و نسبت‌های کشت مخلوط خلر و ماشک مجاری با جو از لحاظ پروتئین خام اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۲). در حالی که سطوح مختلف تراکم بوته و نسبت‌های کشت مخلوط نخود علوفه‌ای و ماشک گل خوشه‌ای با جو، عملکرد پروتئین خام را به‌طور معنی‌داری به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۲). کشت مخلوط ۷۵ درصد نخود علوفه‌ای + ۲۵ درصد جو در تراکم ۲۵۰ بوته در مترمربع باعث افزایش ۱۲۹ درصدی عملکرد پروتئین خام نسبت به کشت خالص جو گردید (جدول ۴). همچنین مقایسه میانگین داده‌ها حاکی از آن است که بیشترین و کمترین مقادیر عملکرد پروتئین خام به ترتیب از نسبت کشت ۵۰٪ ماشک گل خوشه‌ای + ۵۰٪ جو در تراکم ۳۰۰ بوته در متر مربع و کشت خالص ماشک گل خوشه‌ای در تراکم ۱۰۰ بوته در مترمربع به دست آمد (جدول ۵).

مخلوط نسبت به کشت خالص باشد. همچنین افزایش عملکرد ماده خشک در کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی را می‌توان به افزایش فراهمی نیتروژن از طریق تثبیت زیستی نیتروژن توسط خلر، نخود علوفه‌ای، ماشک گل خوشه‌ای و ماشک مجاری نسبت داد. از آنجا که نیتروژن یکی از عناصر غذایی مؤثر بر میزان فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی و در نتیجه میزان تجمع ماده خشک گیاهان است، بنابراین حضور خلر، نخود علوفه‌ای، ماشک گل خوشه‌ای و ماشک مجاری در کنار جو به افزایش تجمع ماده خشک کل در کانوپی کشت مخلوط منجر شده است.

نسبت برابری زمین (LER)

میانگین مقادیر نسبت برابری زمین، در تیمارهای نسبت تراکم بوته ۷۵٪ خلر + ۲۵٪ جو با تراکم‌های ۱۵۰ و ۲۵۰ بوته در مترمربع و همچنین نسبت تراکم بوته ۵۰٪ خلر + ۵۰٪ جو با تراکم‌های ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ بوته در مترمربع بیش از عدد یک بوده که بیانگر مزیت کشت مخلوط این دو گیاه نسبت به تک‌کشتی آن‌ها از نظر میانگین عملکرد علوفه خشک می‌باشد (جدول ۳). همچنین در تیمارهای نسبت تراکم بوته ۷۵٪ نخود علوفه‌ای + ۲۵٪ جو با تراکم‌های ۱۵۰ و ۲۰۰ بوته در مترمربع و در نسبت تراکم بوته ۵۰٪ نخود علوفه‌ای + ۵۰٪ جو با تراکم‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در مترمربع مقادیر نسبت برابری زمین بیش از عدد یک می‌باشد که بیانگر مزیت کشت مخلوط این دو گیاه نسبت به تک‌کشتی آن‌ها از نظر میانگین عملکرد علوفه خشک می‌باشد (جدول ۴).

نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که مقادیر نسبت برابری زمین، در تراکم‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ بوته در مترمربع با نسبت تراکم بوته ۷۵٪ ماشک گل خوشه‌ای + ۲۵٪ جو و تراکم‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در مترمربع با نسبت تراکم بوته ۵۰٪ ماشک گل خوشه‌ای + ۵۰٪ جو بیش از عدد یک می‌باشد که بیانگر مزیت کشت مخلوط این دو گیاه نسبت به تک‌کشتی آن‌ها از نظر میانگین عملکرد علوفه خشک می‌باشد (جدول ۵). میانگین مقادیر نسبت برابری زمین نشان داد که در تیمارهای نسبت تراکم بوته ۵۰٪ ماشک مجاری + ۵۰٪ جو با تراکم‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ بوته در مترمربع بیش از عدد یک بوده که بیانگر مزیت کشت مخلوط این دو گیاه نسبت به تک‌کشتی آن‌ها از نظر میانگین عملکرد علوفه خشک می‌باشد (جدول ۶). نتایج حاصل از این بررسی، با نتایج کابایرو و همکاران

جدول ۵- مقایسه میانگین تراکم بوته و نسبت‌های کشت مخلوط علوفه تر ماشک گل خوشه‌ای با جو بر میانگین عملکرد علوفه تر، علوفه خشک، نسبت برابری زمین و عملکرد پروتئین خام

Table 5- Mean comparisons of plant density and seed ratio of hairy vetch intercropped with barley on forage yield, dry matter, LER and crude protein yield

تراکم بوته در مترمربع Plant density per m ²	نسبت‌های تراکم بوته Plant density ratios	عملکرد علوفه تر (تن در هکتار) Forage yield (t.ha ⁻¹)	عملکرد علوفه خشک (تن در هکتار) Dry matter (t.ha ⁻¹)	نسبت برابری زمین LER	عملکرد پروتئین خام (تن در هکتار) Crude protein yield (t.ha ⁻¹)	
100	۱۰۰ درصد ماشک گل خوشه‌ای	Hairy %100 vetch	5.02 ^{fr}	1.55 ^d	1.00	0.33 ^h
100	۲۵+ درصد ماشک گل خوشه‌ای + درصد جو	Hairy vetch %75 Barley %25 +	15.28 ^{bc}	6.58 ^{bc}	1.02 ^{ab}	0.61 ^{cd}
100	۵۰ درصد ماشک گل خوشه‌ای + درصد جو	Hairy vetch %50 Barley %50 +	17.69 ^b	6.17 ^c	1.08 ^a	0.69 ^b
-	۱۰۰ درصد جو	Barley %100	21.06 ^a	9.28 ^a	1.00 ^b	0.61 ^c
150	۱۰۰ درصد ماشک گل خوشه‌ای	Hairy %100 vetch	6.54 ^{ef}	2.11 ^d	1.00 ^b	0.43 ^g
150	۲۵+ درصد ماشک گل خوشه‌ای + درصد جو	Hairy vetch %75 Barley %25 +	17.36 ^{bc}	6.95 ^{bc}	1.15 ^a	0.64 ^{bc}
150	۵۰ درصد ماشک گل خوشه‌ای + درصد جو	Hairy vetch %50 Barley %50 +	15.36 ^{bc}	7.42 ^{bc}	0.94 ^{bc}	0.51 ^{fg}
200	۱۰۰ درصد ماشک گل خوشه‌ای	Hairy %100 vetch	7.6 ^{ef}	2.37 ^d	1.00 ^b	0.50 ^{fg}
200	۲۵+ درصد ماشک گل خوشه‌ای + درصد جو	Hairy vetch %75 Barley %25 +	15 ^{bcd}	6.36 ^{bc}	1.00 ^b	0.53 ^{ef}
200	۵۰ درصد ماشک گل خوشه‌ای + درصد جو	Hairy vetch %50 Barley %50 +	17.17 ^{bc}	7.74 ^b	1.10 ^a	0.53 ^{def}
250	۱۰۰ درصد ماشک گل خوشه‌ای	Hairy %100 vetch	7.73 ^{ef}	2.77 ^d	1.00 ^b	0.58 ^{cdef}
250	۲۵+ درصد ماشک گل خوشه‌ای + درصد جو	Hairy vetch %75 Barley %25 +	12.41 ^d	6.05 ^c	0.89 ^c	0.51 ^{fg}
250	۵۰ درصد ماشک گل خوشه‌ای + درصد جو	Hairy vetch %50 Barley %50 +	16.16 ^{bc}	7.39 ^{bc}	0.95 ^{bc}	0.60 ^{cde}
300	۱۰۰ درصد ماشک گل خوشه‌ای	Hairy %100 vetch	8.7 ^e	2.89 ^d	1.00 ^b	0.61 ^{cd}
300	۲۵+ درصد ماشک گل خوشه‌ای + درصد جو	Hairy vetch %75 Barley %25 +	14.55 ^{cd}	6.43 ^{bc}	0.92 ^{bc}	0.50 ^{fg}
300	۵۰ درصد ماشک گل خوشه‌ای + درصد جو	Hairy vetch %50 Barley %50 +	17.62 ^b	7.47 ^{bc}	1.16 ^a	0.86 ^a

*میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار به روش دانکن در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.

*Means with the same letter for each stage are not significantly different based on Duncan's Multiple Range test; P≤0.05.

ناشی شده باشد. مکانیسم‌های احتمالی انتقال نیتروژن از لگوم به گیاه مجاور در کشت مخلوط عبارت از تراوش مستقیم، پوست‌اندازی گره‌ها و پوسیدگی ریشه‌ها، شستشوی برگ‌گی و تجزیه برگ‌های ریخته شده است (Marschner, 2003).

به طوری که کشت ۵۰٪ ماشک گل خوشه‌ای + ۵۰٪ جو در تراکم ۳۰۰ بوته در مترمربع باعث افزایش ۴۰ درصدی عملکرد پروتئین خام نسبت به کشت خالص ماشک گل خوشه‌ای گردید (جدول ۵). علت این افزایش می‌تواند از قدرت تثبیت نیتروژن بیشتر در خاک توسط گیاه لگوم و بهبود شرایط محیطی مناسب تر برای جزء دیگر مخلوط

جدول ۶- مقایسه میانگین تراکم بوته و نسبت‌های کشت مخلوط علوفه تر ماشک مجاری با جو بر میانگین عملکرد علوفه تر، علوفه خشک، نسبت برابری زمین و عملکرد پروتئین خام در منطقه تحت بررسی

Table 6- Mean comparisons of plant density and plant density ratio of hungarian vetch intercropped with barley on forage yield, dry matter, LER and crude protein yield

تراکم بوته در مترمربع Plant density per m ²	نسبت‌های تراکم بوته Plant density ratios	عملکرد علوفه تر (تن در هکتار) Forage yield (t.ha ⁻¹)	عملکرد علوفه خشک (تن در هکتار) Dry matter (t.ha ⁻¹)	نسبت برابری زمین LER	عملکرد پروتئین خام (تن در هکتار) Crude protein yield (t.ha ⁻¹)
100	۱۰۰ درصد ماشک مجاری Hungarian %100 vetch	7.05 ⁱ	2.35 ^g	1.00 ^{ab}	0.49 ^k
100	۷۵ درصد ماشک مجاری +۲۵ درصد جو Hungarian %75 Barley %25 + vetch	16.27 ^c	8.54 ^b	0.95 ^b	0.70 ^d
100	۵۰ درصد ن ماشک مجاری +۵۰ درصد جو Hungarian %50 Barley %50 + vetch	19.45 ^a	10.55 ^a	1.13 ^a	0.77 ^a
-	۱۰۰ درصد جو Barley %100	18.07 ^b	9.97 ^a	1.00 ^{ab}	0.57 ^e
150	۱۰۰ درصد ماشک مجاری Hungarian %100 vetch	6.61 ⁱ	2.72 ^g	1.00 ^{ab}	0.52 ^j
150	۷۵ درصد ماشک مجاری +۲۵ درصد جو Hungarian %75 Barley %25 + vetch	14.15 ^{def}	8.28 ^b	0.91 ^b	0.73 ^b
150	۵۰ درصد ن ماشک مجاری +۵۰ درصد جو Hungarian %50 Barley %50 + vetch	14.19 ^{def}	6.83 ^{de}	1.07 ^a	0.73 ^b
200	۱۰۰ درصد ماشک مجاری Hungarian %100 vetch	7.57 ^{hi}	2.65 ^g	1.00 ^{ab}	0.56 ^h
200	۷۵ درصد ماشک مجاری +۲۵ درصد جو Hungarian %75 Barley %25 + vetch	14.07 ^{def}	7.03 ^{cde}	0.89 ^c	0.71 ^c
200	۵۰ درصد ن ماشک مجاری +۵۰ درصد جو Hungarian %50 Barley %50 + vetch	13.07 ^{ef}	7.44 ^{cd}	0.82 ^c	0.55 ^j
250	۱۰۰ درصد ماشک مجاری Hungarian %100 vetch	7.48 ^{hi}	2.64 ^g	1.00 ^{ab}	0.52 ^j
250	۷۵ درصد ماشک مجاری +۲۵ درصد جو Hungarian %75 Barley %25 + vetch	12.91 ^f	6.63 ^e	0.79 ^c	0.68 ^e
250	۵۰ درصد ن ماشک مجاری +۵۰ درصد جو Hungarian %50 Barley %50 + vetch	14.32 ^{de}	7.81 ^{bc}	0.87 ^c	0.70 ^d
300	۱۰۰ درصد ماشک مجاری Hungarian %100 vetch	8.39 ^{gh}	2.51 ^g	1.00 ^{ab}	0.46 ^m
300	۷۵ درصد ماشک مجاری +۲۵ درصد جو Hungarian %75 Barley %25 + vetch	9.28 ^g	5.51 ^f	0.67 ^d	0.48 ^l
300	۵۰ درصد ن ماشک مجاری +۵۰ درصد جو Hungarian %50 Barley %50 + vetch	14.39 ^d	7.47 ^{cd}	0.93 ^b	0.58 ^f

*میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار به روش دانکن در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.

*Means with the same letter for each stage are not significantly different based on Duncan's Multiple Range test; P≤0.05.

دست آمد. اگرچه در بیشتر موارد کشت خالص جو عملکرد علوفه خشک بیشتری را نسبت به سایر تیمارها را دارا بود، با این وجود، علوفه مخلوط جو با گیاهان علوفه‌ای به دلیل تعادل بهتر عناصر غذایی و همچنین میزان پروتئین خام بیشتر نسبت به کشت خالص جو ترجیح داده می‌شود. همچنین در بیشتر موارد برتری کشت مخلوط جو با گیاهان علوفه‌ای با توجه به نسبت برابری زمین بیشتر از یک مشاهده گردید. بنابراین نسبت‌های تراکم بوته ۷۵٪ گیاه علوفه‌ای + ۲۵٪ جو و ۵۰٪ گیاه علوفه‌ای + ۵۰٪ جو از نظر عملکرد علوفه خشک و پروتئین خام توصیه می‌شود. به دلیل غالب بودن گیاه جو در رقابت با گیاهان علوفه‌ای و همچنین برای دستیابی به ترکیب علوفه متعادل از نظر عناصر غذایی مورد نیاز دام، بهتر است از نسبت کشت ۷۵٪ گیاه علوفه‌ای + ۲۵٪ جو در شرایط دیم استفاده گردد.

نتایج تحقیقی نشان داد که کشت مخلوط نخود با گندم در تمام تیمارها سبب افزایش نسبت برابری زمین LER و عملکرد شده است که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد (Jahansooz et al., 2007). کراوس و کراوس (Krause & Krause, 2003) اظهار داشتند که تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در گیاه خلر، حدود دو هفته بعد از جوانه‌زنی آغاز و بیشترین مقدار تثبیت در مرحله شروع گلدهی تا تشکیل غلاف اتفاق می‌افتد. دامنه تغییرات تولید نیتروژن در این گیاه ۲۰۰-۹۰ کیلوگرم در هکتار گزارش گردیده که حدود ۸۰ درصد نیتروژن تولیدی در اندام‌های هوایی گیاه ذخیره می‌شود.

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد که بیشترین و کمترین مقادیر عملکرد علوفه تر و خشک به‌ترتیب از تیمارهای کشت خالص جو و کشت خالص گیاه علوفه‌ای با تراکم ۱۰۰ بوته در متر مربع به

منابع

- Albayrak, S., Gular, M., and Tongel, O.M. 2004. Effects of rates on forage production and hay quality of vetch-triticale mixtures. *Asian Journal of Plant Sciences* 3(6): 752-756.
- Al-Masri, M.R. 1998. Yield and nutritive value of vetch (*Vicia sativa*) - barely (*Hordeum vulgare*) forage under different harvesting regimens. *Tropical Grasslands* 32: 201-206.
- AOAC. 1980. Official methods of analysis (13th Ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
- Aslan, A., and Gulcan, H. 1996. The effect of cutting time to herbage yield and some agricultural characters on the mixtures of common vetch and barley grown as fallow crop under southeaster Anatolia region Turkey. 3rd Rangeland and Forage crops Congress, Erzurum, Turkey. 17-19 June p. 341-354.
- Atis, I., Kakten, K., Hatipoglu, R., Yilmaz, S., Atak, M., and Can, E. 2012. Plant density and mixture ratio effects on the competition between common vetch and wheat. *Australian Journal of Crop Science* 6(3): 498-505
- Balabanli, C., and Turk, M. 2006. The effect of different harvesting periods in some forage crops mixture on herbage yield and quality. *Journal of Biological Sciences* 6(2): 256-268.
- Basbag, M., Gul, I., and Saruhan, V. 1999. The effect of different mixture rate on yield and yield components in some annual legumes and cereal in Diyarbakir Conditions. 3rd Field crops Congress, Adana, Turkey 15-18 November p. 69-74.
- Caballero, E., Golcochea, L., and Hernaiz, P.J. 1995. Forage yields and quality of common vetch and oat sown at varying seeding ratios and seeding rate of common vetch. *Field Crops Research* 41: 135-140
- Ceglarek, F., Rudzinski, R., and Buraczynska, D. 2004. The effect of the amount of seeds sown on the crop structure elements and seed yields of common vetch grown as pure and mixed crops with supporting plants. *Annales Universitatis Mariae Curie-Sklodowska, Sectio E, Agricultura* 59(3): 1147-1154.
- 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.
- Jahansooz, M.R., Yunusa, I.A.M., Coventry, D.R., Palmer A.R., and Eamus, D. 2007. Radiation- and water- use associated with growth and yields of wheat and chickpea in sole and mixed crops. *European Journal of Agronomy* 26(3): 275-282.

- Karadag, Y. 2004. Forage yields, seed yields and botanical compositions of some legume-barely mixtures under rainfed conditions in semi-arid regions of Turkey. *Asian Journal of Plant Sciences* 3: 295-299.
- Krause, D., and Krause, I. 2003. New green manuring *Lathyrus sativus* variety AC Greenfix available in USA. *Lathyrus Lathyrism Newsletter* 3: 31-14.
- Lithourgidis, A.S., Dhima, K.V., Vasiliakoglou, I.B., Dordas, C.A., and Yiakoulaki, M.D. 2007. Sustainable production of barley and wheat by intercropping common vetch. *Agronomy for Sustainable Development* 27: 95-99.
- Lithourgidis, A.S., Vlachostergios, D.N., Dordas, C.A., and Damalas, C.A. 2011. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea-cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy* 34: 287-294.
- 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.
- Marschner, H. 2003. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, San Diego, California, USA 889 pp.
- Mazaheri, D. 1993. *Intercropping*. Tehran University Press, Tehran, Iran. 262 pp. (In Persian)
- Mead, R., and Willey, R.W. 1980. The concept of a land equivalent ratio and advantages in yields for intercropping. *Experimental Agriculture* 16: 217-228.
- Mueller, K., and Kristensen, T. 001. N-fixation on selected green manure plants in an organic crop rotation. *Biological Agriculture and Horticulture* 18: 345-363.
- Sebahtin, A., Gular, M., and Ozgur Tongel, M. 2004. Effect of seed rates on forage production and hay quality of vetch-triticale mixtures. *Asian Journal of Plant Sciences* 3(6): 752-756.
- Sharif Nejad, M., Ghanbari, A., and Sirousmehr, A.R. 2018. Evaluation of the ecophysiological aspects and forage quality indices in the intercropping of maize (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Journal of Agroecology* 10(1): 267-280. (In Persian with English Summary)
- Soya, R.A., and H., Geren. 1996. Effect of barely as nurse crop and rate of mixtures and row spacing on the seed and yield and yield characteristics of common vetch. Turkey 7th Field Crops Congress of Turkey. 25-27 June, Erzurum, Turke p. 328-333.
- Tan, M., and Serin, Y. 1996. A research on determination of the most suitable mixture rates and harvest time for different vetch cereal mixtures. *Journal of the Faculty of Agriculture* 27: 475-489.
- Tuna, C., and Orak, A. 2007. The role of intercropping on yield potential of common vetch (*Vicia sativa* L.)/Oat (*Avena sativa* L.) cultivated in pure stand and mixtures. *Journal of Agricultural and Biological Science* 2(2): 14-19.
- Vandermeer, J. 1989. *The Ecology of Intercropping*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 220 pp.
- Vasilakoglou, I., Dhima, K., Lithourgidis, A., and Eleftherohorinos, I. 2008. Competitive ability of winter cereal-common vetch intercrops against sterile oat. *Experimental Agriculture* 44: 509-520.
- Yau, S.K., Bounejmate, M., Ryan, J., Nassar, A., Baalbaki, R., and Maacaroun, R. 2003. Barely-legumes rotations for semi-arid areas of Lebanon. *European Journal of Agronomy* 19: 599-610.
- Yolcu, H., Polat, M., and Aksakal, V. 2009. Morphologic, yield and quality parameters of same annual forage as sole crops and intercropping mixtures in dry conditions for livestock. *Journal of Food Agriculture and Environment* 7: 594-599.
- Yucel, C., and Avci, M. 2009. Effect of different ratios of common vetch (*Vicia sativa* L.) – triticale (*Triticosecale whatt*) mixtures on forage yield and quality in Cukurova plain in Turkey. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 15(4): 323-332.



Study of Forage Characterization of Barley (*Hordeum vulgare* L.) Intercropped with Grass Pea (*Lathyrus sativus* L.), Forage Peas (*Pisum avestum* L.), Vetch (*Vicia villosa* L.) and Common Vetch (*Vicia paninica* L.) Affected by Plant Density under Rainfed Conditions

S. Bahrami¹ and W. Weisany^{2*}

Submitted: 07-07-2014

Accepted: 09-07-2017

Bahrami, S., and Weisany, W. 2018. Study of forage characterization of barley (*Hordeum vulgare* L.) intercropped with grass pea, forage peas (*Lathyrus sativus* L.), vetch (*Vicia villosa* L.) and common vetch (*Vicia paninica* L.) affected by plant density under rainfed conditions. Journal of Agroecology. 10(3): 665-678.

Introduction

Cereals and legumes are considered as important forage crops, because of their nutritional value, especially protein content in legumes and crude fiber in cereals. Intercropping may be a useful strategy to grow crops simultaneously, offering to improve resource utilization such as solar radiation, nutrients and water during growth and development. This is also an important method for sustainable crop production, particularly when inputs are limited. Higher yields have been documented for intercropping of beans and maize, barley and peas, oats and vetches wheat and peas, and wheat and beans. Using time and space, in addition, improving plant production methods in terms of environmental and human health, intercropping can increase agricultural production. In order to increasing soil fertility and improving plant growth and quality, in medicinal plants cultivation, elimination or reduction of chemical fertilizers, is very important. In terms of competition, this means that the components are not competing for the same ecological niches and then the interspecific competition is weaker than the intraspecific competition for a given factor. Intercrops can be more effective than sole crops in preempting resources used by weeds and suppressing weed growth, because complementary patterns of resource use and facilitative interactions between intercrop components can lead to a greater capture of light, water, and nutrients. Several indices such as land equivalent ratio (LER), time equivalent ratio (ATER), and relative value total (RVT), land utilization efficiency (LUE), relative crowding coefficient (K), and aggressivity (A) are used to describe the competition and the economic advantage of intercropped plants.

Materials and Methods

In order to study the effect of plant density and intercropping ratio of annual forage legumes includes: grass pea (*Lathyrus sativus* L.), field pea (*Pisum avestum* L.), hairy vetch (*Vicia villosa* L.) and hungarian vetch (*Vicia pannonica* L.) on quantitative and qualitative barley performance in a randomized complete block design with three replications were conducted in Kurdistan Agricultural Research (Sanandaj) stations under rainfed condition during 2013 growing season. The treatments included five levels of legume seed densities (100, 150, 200, 250, 300 plant.m⁻²) and four seeding ratios (100% legume, 75% legume + 25% barley, 50% legume + 50% barley and 100% barley). In this experiment, fresh forage yield, dry matter, crude protein yield and land equivalent ratio (LER) were recorded. The crops were managed according to organic farming practices without pesticide or fertilizer use. No mechanical weeding was performed after sowing. Combined analysis of variance was performed using SAS version 9.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) (SAS Institute Inc. 1988). Means of the treatments were compared, using Generalized Linear Model (GLM) method and the least significant difference (LSD) test at the 5% probability level. The data showed normal distribution and no transformation was required.

Results and Discussion

Results showed that the highest and lowest fresh forage yield and dry matter yield were obtained from pure

1- Researcher of Research Center of Agriculture and Natural Resources of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

2- Assistant Professor of Department of Agricultural Sciences and Food Industry, Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

(*- Corresponding Author Email: Weria.wisany@gmail.com)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.37021

barley and pure legumes in 100 plant.m² seed density, respectively. Intercropping ratio of 75% field pea+ 25% barley at 250 plant.m² density and 50% hairy vetch+ 50% barley at 300 plant.m² density with 0.94 and 0.86 t.ha⁻¹ produced maximum crude protein yields, respectively. Intercropping ratio of 75% grass pea+25% barley at 300 plant/m² density, 75% field pea+ 25% barley at 200 plant.m² density, 50% hairy vetch+ 50% barley at 300 plant.m² density and 50% hungarian vetch+ 50% barley at 200 plant.m² density, with 1.19, 1.26, 1.16 and 1.13 LER values, respectively, performed the best efficiency in resources utilization in intercropping system.

Conclusion

Based on these results, it can be concluded that intercropping of annual forage legumes includes: grass pea, field pea, hairy vetch and hungarian vetch with barley is a way for increasing productivity per unit area.

Keywords: Forage quality, Land equivalent ratio, Poaceae, Yield



کاربرد نهاده‌های بوم‌سازگار در زراعت گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch. & Mey.) در

شرایط مشهد

محمد بهزاد امیری^۱، پرویز رضوانی مقدم^{۲*} و محسن جهان^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۰۶

امیری، م.ب.، رضوانی مقدم، پ. و جهان، م. ۱۳۹۷. کاربرد نهاده‌های بوم‌سازگار در زراعت گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch. & Mey.) در شرایط مشهد. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳): ۶۷۹-۶۹۸.

چکیده

به منظور بررسی اثر اسیدهای آلی، ریزوباکترهای محرک رشد گیاه و گونه‌های مختلف میکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch. & Mey.) پژوهشی در دانشگاه فردوسی مشهد در سه سال زراعی متوالی ۹۱-۱۳۹۰، ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ به صورت اسپلیت پلات در زمان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. هفت نوع اصلاح‌کننده خاک و کود بیولوژیک مختلف شامل ۱- اسید هیومیک، ۲- اسید فولویک، ۳- نیتروکسین (حاوی باکتری‌های *Azotobacter* spp. و *Azospirillum* spp.)، ۴- بیوسفور (حاوی باکتری‌های *Bacillus* sp. و *Pseudomonas* sp.)، ۵- بیوسولفور (حاوی باکتری *Thiobacillus* spp.)، ۶- میکوریزا (حاوی قارچ *Glomus mosseae*) و ۷- میکوریزا (حاوی قارچ *Glomus intraradices*) و عدم استفاده از کود به عنوان تیمار شاهد در کرت‌های اصلی و زمان (سال‌های زراعی دوم و سوم) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد گل خشک (۱۰۰۴ کیلوگرم در هکتار) در نتیجه کاربرد اسید هیومیک به دست آمد. کاربرد اسیدهای آلی هیومیک و فولویک وزن دانه در بوته را به ترتیب ۳۸ و ۲۵ درصد و تعداد دانه در بوته را به ترتیب ۱۹ و ۱۷ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. کودهای اسید فولویک، نیتروکسین، بیوسفور، بیوسولفور، میکوریزا (*Glomus mosseae*) و میکوریزا (*Glomus intraradices*) نیز به ترتیب افزایش ۲۷، ۲۰، ۴، ۲۶، ۳۰ و ۲۸ درصدی عملکرد گل خشک را در مقایسه با شاهد سبب شدند. بیشترین شاخص برداشت گل و دانه به ترتیب در نتیجه استفاده از میکوریزا (*Glomus intraradices*) و اسید هیومیک حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: اسید هیومیک، بیوسولفور، شاخص برداشت گل، میکوریزا، نیتروکسین

مقدمه

به‌ویژه جوامع کم درآمد به خدمات بهداشتی و درمانی، هزینه‌های زیاد تولید داروهای شیمیایی، کاهش اثرات درمانی داروهای شیمیایی به دلیل مقاومت عوامل بیماری‌زا به آن‌ها و ایجاد عوارض جانبی، منجر شده تا روز به روز رویکرد جوامع بشری به طب سنتی و درمان با گیاه مثبت‌تر شود. با توجه به سهم گیاهان دارویی در تولید داروهای مصرفی، محال است روزی بتوان همه مواد دارویی را از صنعت گرفت و از نقش و اهمیت مواد طبیعی در تهیه این داروها چشم‌پوشی کرد. گیاهان دارویی به دلیل ماهیت طبیعی و وجود ترکیبات دارویی با بدن سازگاری بهتری دارند و معمولاً فاقد عوارض ناخواسته داروهای شیمیایی هستند (Ghasemi, 2009).

گاوزبان ایرانی با نام علمی (*Echium amoenum* Fisch. & Mey.)

در عصر حاضر با وجود پیشرفت و توسعه چشمگیر کاربرد داروهای شیمیایی، هنوز گیاهان دارویی و انواع داروهای حاصل از آن‌ها در مقیاس وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند، به طوری که در برخی کشورها از اجزاء جدایی‌ناپذیر سیستم دارویی و درمانی محسوب می‌شوند (Ghasemi, 2009). عواملی نظیر عدم دسترسی اکثریت مردم،

۱- استادیار، مجتمع آموزش عالی گناباد
۲ و ۳- استاد و دانشیار گروه آگروتکنولوژی و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
* - نویسنده مسئول:
(Email: rezvani@ferdowsi.um.ac.ir
DOI: 10.22067/jag.v10i3.49639

بیولوژیک از تو باکتر^۳ و آزوسپیریلیوم^۴ و باکتری‌های حل‌کننده فسفات دارای اثر مثبت بر شاخص‌های رشدی و میزان اسانس گیاه دارویی مرزنجوش (*Origanum majorana* L.) بودند. سانچز گوین و همکاران (Sanchez Govin et al., 2005) در آزمایشی اثر کودهای بیولوژیک را در دو گیاه دارویی بابونه آلمانی (*Matricaria recutita* L.) و همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) بررسی و گزارش کردند که کاربرد این کودها در همیشه‌بهار باعث افزایش عملکرد و بهبود کیفیت گیاه شد، درحالی‌که در بابونه افزایش عملکرد را به همراه داشت، ولی اثری بر کیفیت آن نداشت. قریب و همکاران (Gharib et al., 2008) طی آزمایشی گلخانه‌ای در گیاه مرزنجوش گزارش کردند که کودهای آلی و بیولوژیک شامل کمپوست، *Azotobacter* و *Azospirillum* بر شاخص‌های رشدی و میزان اسانس گیاه اثرات قابل‌توجهی داشت. شالان (Shaalan, 2005) طی آزمایشی در گیاه دارویی گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) گزارش کرد که ارتفاع گیاه، تعداد شاخه فرعی، وزن تر و خشک گل و برگ، عملکرد بذر، درصد اسانس و آلفالینولنیک اسید با کاربرد باسیلوس^۵ (باکتری حل‌کننده فسفات) و آزوسپیریلیوم و سطوح مختلف کمپوست افزایش یافت و بهترین حالت از کاربرد توأم این تیمارها به‌دست آمد.

میکوریزا از مهم‌ترین موجودات همزیست با گیاهان هستند که به یک راسته مونوفیلتیک^۶ به نام گلومرومیکوتا^۷ تعلق دارند و تقریباً در تمام اکوسیستم‌های خشکی حضور دارند (Zhu et al., 2010). میکوریزاها همزیست‌های اجباری هستند و با ۷۰ تا ۹۰ درصد گونه‌های گیاهی کره زمین همزیستی نشان می‌دهند و کربن مورد نیاز برای تکمیل چرخه زندگی‌شان را از گیاه میزبان به‌دست می‌آورند (Zhu et al., 2010). میکوریزا ضمن بهبود جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر (Roesti et al., 2006)، باعث بهبود ساختار خاک (Rillig et al., 2006) و افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی (Marulanda et al., 2007) می‌شود. در آزمایشی، تلقیح ریحان (*Ocimum basilicum* L.) با گونه‌های مختلف میکوریزا باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع ساقه، تعداد و سطح برگ، زیست‌توده، طول و

گیاهی چند ساله و متعلق به خانواده گاوزبان^۱ می‌باشد و در طب سنتی ایران از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. عصاره گلبرگ‌های این گیاه تسکین‌دهنده، ضدالتهاب و ضد درد هستند و خاصیت ضد میکروبی دارند (Nooriyan Soroor et al., 2013) و منجر به افزایش ظرفیت ایمنی سلول‌ها می‌شوند (Heidari et al., 2006). در کتب دارویی ایران باستان مثل کتاب قانون و تحفه‌الحکیم از عصاره گل‌های این گیاه به‌عنوان ماده‌ای آرام‌بخش که در درمان اضطراب نقش دارند یاد شده است، ضمن اینکه امروزه ثابت شده است استفاده از این گیاه در درمان سرماخوردگی و وسواس نیز بسیار مؤثر است (Sayyah et al., 2009). این گیاه در مناطق شمالی کشور از گلستان تا اردبیل و استان قزوین و در دامنه‌های رشته کوه‌های البرز به‌صورت خودرو پراکنش دارد (Sayyah et al., 2009).

در سال‌های اخیر کاربرد فرآورده‌های زیستی در تغذیه گیاهان زراعی به‌عنوان راهکارهای بنیادین برای توسعه سیستم‌های مدیریت تلفیقی تغذیه گیاه و به‌منظور افزایش کمی و کیفی مواد غذایی در واحد سطح از طریق تلفیق روش‌های تغذیه معدنی و آلی گیاهان زراعی مورد توجه قرار گرفته است (Manafee & Kloepper, 1994). در سیستم‌های کشاورزی پایدار، استفاده از منابع تجدیدپذیری که حداکثر محاسن اکولوژیکی و حداقل مضرات زیست‌محیطی را دارا باشند، امری ضروری است (Kizilkaya, 2008). کودهای بیولوژیک ماده‌ای شامل انواع مختلف ریزموجودات آزادی بوده (Vessey, 2003) که توانایی تبدیل عناصر غذایی اصلی را از فرم غیرقابل‌دسترس به فرم قابل‌دسترس دارند (Rajendran & Devaraj, 2004). برخی از این ریزموجودات اثرات مفیدی در بهبود رشد گیاه دارند و از آن‌ها تحت‌عنوان ریزوباکترهای محرک رشد گیاه (PGPR^۱) یاد می‌شود (Abdul Jaleel et al., 2007). کودهای بیولوژیک از طریق مکانیسم‌های مختلفی نظیر افزایش دسترسی به نیتروژن به‌وسیله تثبیت نیتروژن (Sahin et al., 2004)، آزاد کردن متابولیت‌ها، تولید هورمون‌های گیاهی نظیر اکسین، افزایش جذب آب و مواد غذایی و کنترل بیولوژیک پاتوژن‌های خاک‌زاد (Egamberdiyeva, 2005) باعث بهبود رشد گیاه می‌شوند. فاتما و همکاران (Gharib et al., 2008) گزارش کردند که کودهای

3- *Azotobacter*4- *Azospirillum*5- *Bacillus*

6- Monophyletic Phylum

7- Glomeromycota

1- Boraginaceae

2- Plant growth promoting rhizobacteria

۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک به‌دست آمد (Mohammadipour et al., 2012).

با توجه به اهمیت و نقش گاو زبان ایرانی به‌عنوان یک گیاه دارویی، نکته حائز اهمیت در تولید این گیاه، بهبود خواص کمی و کیفی آن بدون کاربرد نهاده‌های مضر شیمیایی می‌باشد و از آنجایی که تحقیقات در زمینه اثرات کاربرد نهاده‌های اکولوژیک بر عملکرد و اجزای عملکرد این گیاه اندک است، این پژوهش با هدف بررسی کاربرد برخی نهاده‌های بوم‌سازگار در زراعت گاو زبان ایرانی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در زمینی به مساحت حدود ۵۰۰ متر مربع در سه سال زراعی متوالی ۹۱-۱۳۹۰، ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ به‌صورت اسپلیت پلات در زمان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. هفت نوع اصلاح‌کننده خاک و کود بیولوژیک مختلف شامل ۱- اسید هیومیک ۸۵٪ Bioactive (POW HUMUS®، WSG, HUMIN TECH, Germany, Fulvital® Plus)، ۲- اسید فولویک (www.humintech.com)، ۳- نیتروکسین (www.humintech.com)، حاوی باکتری‌های *Azotobacter spp.* و *Azospirillum spp.* با $CFU=10^8$ در میلی‌لیتر در زمان تولید کود، ۴- بیوفسفر (حاوی باکتری‌های *Bacillus sp.* و *Pseudomonas sp.* با $CFU=10^7$ کلونی در میلی‌لیتر در زمان تولید کود)، ۵- بیوسولفور (حاوی باکتری‌های *Thiobacillus spp.* با $CFU=10^8$ کلونی در میلی‌لیتر در زمان تولید کود)، ۶- میکوریزا (حاوی قارچ *Glomus mosseae*) و ۷- میکوریزا (حاوی قارچ *Glomus intraradices*) و عدم استفاده از کود به‌عنوان شاهد در کرت‌های اصلی و زمان (سال‌های زراعی دوم و سوم) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

قبل از انجام آزمایشات مزرعه‌ای، به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک محل آزمایش نمونه‌برداری انجام گرفت که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

میزان انشعابات جانبی ریشه و همچنین میزان اسانس گیاه در مقایسه با شاهد شد (Copetta et al., 2006). کاپور و همکاران (Kapoor et al., 2004) گزارش کردند که تلقیح بذر رازیانه (*Foeniculum vulgare Mill.*) با میکوریزا، به‌دلیل افزایش باروری فسفر خاک باعث افزایش معنی‌دار رشد و همچنین بهبود عملکرد اسانس گیاه شد. محفوز و شرف‌الدین (Mahfouz & Sharaf-Eldin, 2007) گزارش کردند که تیمار استفاده توأم از *آزوسپریلیوم* و میکوریزا منجر به تولید بیشترین عملکرد دانه گیاه دارویی رازیانه شد.

قسمت اعظم هوموس خاک‌های مناطق گرمسیری و معتدله راه، هیومین تشکیل می‌دهد. اسید هیومیک با وزن مولکولی ۳۰۰-۳۰ کیلودالتون و اسید فولویک با وزن مولکولی کمتر از ۳۰ کیلودالتون به ترتیب سبب تشکیل کمپلکس پایدار نامحلول و محلول با عناصر میکرو می‌گردند (Karr, 2001). اسید هیومیک دارای درصد کربن بیشتری نسبت به اسید فولویک بوده، ولی اسید فولویک، اکسیژن بیشتری نسبت به اسید هیومیک دارد (Samavat & Malakooti, 2005). کودهای هیومیکی با اکثر کودهای شیمیایی سازگار بوده و قابل اختلاط می‌باشند، در آب به‌خوبی حل شده و می‌توان آن‌ها را از طریق محلول‌پاشی، مصرف خاکی و سیستم‌های آبیاری تحت فشار مورد استفاده قرار داد. تأثیر این کودها بر رشد گیاه ممکن است به‌صورت مستقیم (افزایش کل وزن خشک گیاه) و یا به‌صورت غیرمستقیم (افزایش راندمان مصرف کود و کاهش فشردگی خاک) باشد (Samavat & Malakooti, 2005). اسید هیومیک با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، ظرفیت نگهداری آب در خاک و همچنین فعال کردن چرخه تنفس، فتوسنتز و تولید آمینواسید و آدنوزین تری فسفات، باعث افزایش رشد گیاهان می‌شود (Sidari et al., 2006). در یک پژوهش، اثر سطوح مختلف اسید هیومیک بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه سویا (*Glycine max L.*) مطالعه و گزارش شد که بیشترین عملکرد دانه در سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اسید هیومیک به‌دست آمد، ضمن این‌که کاربرد ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از این اسید آلی نیز بهبود ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و تعداد غلاف در بوته را نسبت به شاهد در پی داشت (El-Baz et al., 2012). در پژوهشی دیگر، اثر سطوح مختلف اسید هیومیک (صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی همیشه‌بهار بررسی و گزارش شد که بیشترین وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع و تعداد گل و برگ در بوته در اثر کاربرد تیمار

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه‌آزمایشی

Table 1- Physical and chemical characteristics of experimental field soil

بافت Texture	نیتروژن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) N (mg.kg ⁻¹)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) K (mg.kg ⁻¹)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS.m ⁻¹)
لوم سیلتی Silty loam	15.6	13.7	418	7.4	1.2

بیوسولفور، ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار (Thomas, 1984) به خاک کرت‌های مربوطه اضافه شد.

اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر هفت روز یک‌بار تا آخر فصل رشد به روش نشتی انجام شد. به دلیل کودی بودن ماهیت تیمارها و جلوگیری از اختلاط تیمارها با هم، برای هر بلوک آزمایشی یک لوله آبیاری جداگانه در نظر گرفته شد. کاربرد اسیدهای آلی در دو نوبت به صورت محلول‌پاشی روی برگ‌ها در مراحل شش تا هفت برگه و قبل از گلدهی انجام گرفت و در دومین و سومین سال زراعی (۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲) نیز همین میزان کود در اختیار گیاه قرار گرفت. محلول‌پاشی به هنگام غروب آفتاب و توسط پمپ دستی با حجم پاشش ۴۰۰ لیتر در هکتار انجام شد. اسید هیومیک و اسید فولویک مورد استفاده در آزمایش، به ترتیب با نام‌های تجاری پوهوموس و فولویتال، گرانول قابل حل در آب با منشاء معدنی (کشور آلمان) بودند (جدول ۲).

جهت آماده‌سازی زمین با تأکید بر عملیات زراعی اکولوژیک، خاک‌ورزی حداقل انجام شد، به این ترتیب که پس از انجام دیسک سبک، کرت‌های آزمایشی با ابعاد ۴/۸۰×۲/۵۰ متر ایجاد شدند. به منظور تلقیح میکوریزا، خاک حاوی این قارچ‌ها بر اساس توصیه شرکت سازنده به میزان ۲۰ گرم به ازای هر بوته در هنگام کاشت زیر بذور قرار داده شد. بذورهای گاوزبان ایرانی از مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه و اواخر فروردین‌ماه ۱۳۹۱ در ردیف‌هایی به فاصله ۵۰ سانتی‌متر و با فاصله روی ردیف ۴۰ سانتی‌متر از یکدیگر کشت شدند. همزمان با کاشت و به منظور اعمال کودهای بیولوژیک (نیتروکسین، بیوسففر و بیوسولفور)، میزان دو لیتر در هکتار از این کودها بر اساس توصیه شرکت سازنده با بذورهای هر یک از کرت‌های آزمایشی بسته به تیمار آزمایشی مربوطه آغشته شدند، ضمن این‌که در هر سه سال زراعی مورد مطالعه، این کودها در مرحله شش تا هفت‌برگی همراه با آب آبیاری به کرت‌های مربوطه اضافه گردیدند. لازم به ذکر است که برای افزایش کارایی

جدول ۲- خصوصیات اسید هیومیک و اسید فولویک مورد استفاده

Table 2- Characteristics of used humic acid and fulvic acid

اسید هیومیک Humic acid									
نام تجاری Trade name	اسید هیومیک (درصد) Humic acid (%)	اکسید پتاسیم (درصد) Potassium oxid (%)	نیتروژن آلی (درصد) Organic nitrogen (%)	آهن (درصد) Fe (%)	سایر مواد (درصد) Other materials (%)	اسیدیته pH			
پوهوموس WGS85%	85	12	1.1	0.8	1.1	9-10			
اسید فولویک Fulvic acid									
نام تجاری Trade name	اسید فولویک (درصد) Fulvic acid (%)	آهن (درصد) Fe (%)	منگنز (درصد) Mn (%)	مس (درصد) Cu (%)	روی (درصد) Zn (%)	منیزیم (درصد) Mg (%)	گوگرد (درصد) S (%)	سایر مواد (درصد) Other materials (%)	اسیدیته pH
فولویتال WGS75%	75	4	2.5	1	2.5	6-7	5-6	2	4-5

وزن خشک گل در بوته را نسبت به شاهد سبب شدند، کود بیولوژیک بیوسولفور و میکوریزا (*Glomus mosseae*) نیز به ترتیب از افزایش ۲۵ و ۲۷ درصدی وزن خشک گل در بوته در مقایسه با شاهد برخوردار بودند (جدول ۴).

تعداد گل در بوته به طور معنی‌داری تحت تأثیر اسیدهای آلی و کودهای بیولوژیک مختلف قرار گرفت (جدول ۳)، به طوری که اکثر کودهای مورد استفاده در آزمایش در هر دو سال زراعی منجر به افزایش تعداد گل در بوته نسبت به شاهد شدند (جدول ۵). استفاده از اسیدهای آلی هیومیک و فولویک تعداد گل در بوته را به ترتیب ۳۶ و ۳۴ درصد در سال زراعی دوم و به ترتیب ۳۳ و ۳۲ درصد در سال زراعی سوم نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۵). کود بیولوژیک بیوسولفور نیز به ترتیب افزایش ۳۱ و ۲۶ درصدی تعداد گل در بوته را در سال‌های زراعی دوم و سوم نسبت به شاهد سبب شد (جدول ۵).

تعداد گل در بوته تحت تأثیر دو گونه میکوریزای مورد مطالعه (*Glomus intraradices* و *Glomus mosseae*) به ترتیب ۳۱ و ۲۲ درصد در سال زراعی دوم و به ترتیب ۳۲ و ۲۱ درصد در سال زراعی سوم در مقایسه با شاهد افزایش یافت (جدول ۵). کودهای هیومیک با اکثر کودهای شیمیایی سازگار بوده و قابل اختلاط می‌باشند، در آب به خوبی حل شده و می‌توان آن‌ها را از طریق محلول‌پاشی، مصرف خاکی و سیستم‌های آبیاری تحت فشار مورد استفاده قرار داد. تأثیر این کودها بر رشد گیاه ممکن است به صورت مستقیم (افزایش کل وزن خشک گیاه) و یا به صورت غیرمستقیم (افزایش راندمان مصرف کود و کاهش فشردگی خاک) باشد (Samavat & Malakooti, 2005). باکتری‌های موجود در کودهای بیولوژیک در کنترل قارچ‌های بیماری‌زا مؤثر بوده (Pal et al., 2001) و از طریق ساز و کارهای مختلفی از جمله تولید سیدروفورها، سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها، تولید هورمون‌های گیاهی، افزایش جذب فسفر توسط گیاه، تثبیت نیتروژن و سنتز آنزیم‌هایی که مقدار اتیلن در گیاه را تنظیم می‌کنند، سبب تحریک رشد گیاه می‌گردند (Abdul Jaleel et al., 2007). بررسی اثر کودهای بیولوژیک مختلف بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea angustifolia* DC.) نشان داد که تمامی کودهای بیولوژیک مورد مطالعه (کاربرد جداگانه و ترکیبی نیتروکسین، بیوفسفر و بیوسولفور).

برای رسیدن به تراکم مناسب، پس از رسیدن گیاه به مرحله چهاربرگی عملیات تنک انجام گرفت. به منظور کنترل علف‌های هرز، تنها سه نوبت وجین دستی در سال اول (به ترتیب ۱۵، ۳۰ و ۴۵ روز پس از کاشت) و یک نوبت وجین دستی در هر یک از سال‌های دوم و سوم (۳۰ روز پس از رشد مجدد گیاه در سال دوم و سوم) انجام شد. در زمان آماده‌سازی زمین و در طول دوره رشد، هیچ‌گونه علف‌کش، آفت‌کش و قارچ‌کش شیمیایی استفاده نشد.

در سال‌های زراعی دوم و سوم (۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲)، از ابتدا تا انتهای فصل گلدهی، گل‌های تمام سطح کرت‌های آزمایشی به صورت روزانه برداشت و وزن تر و خشک گل‌ها اندازه‌گیری شد. مجموع وزن خشک گل‌ها در طی دوره گلدهی به عنوان عملکرد گل در هر کرت در نظر گرفته شد، ضمن این که سه بوته از هر کرت به طور تصادفی انتخاب و در طول مرحله گلدهی تعداد گل‌های آن‌ها شمارش شدند و وزن تر و خشک گل آن‌ها تعیین گردید. در اواخر فصل رشد، با آغاز مرحله رسیدگی دانه‌ها و خشک شدن اندام هوایی گیاه، یک مترمربع از هر کرت (تعداد سه بوته از هر کرت) به طور تصادفی انتخاب و صفاتی نظیر تعداد دانه در بوته، وزن دانه در بوته، عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک، شاخص برداشت گل و دانه آن‌ها اندازه‌گیری شد. برای تعیین عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک، بوته‌های تمام سطح کرت‌های آزمایشی با رعایت اثر حاشیه‌ای از سطح زمین برداشت و وزن دانه و عملکرد ماده خشک آن‌ها تعیین گردید. شاخص برداشت گل و دانه به ترتیب از درصد نسبت عملکرد گل و دانه به عملکرد ماده خشک به دست آمد.

تجزیه و تحلیل واریانس داده‌ها (ANOVA) و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS Ver. 9.1، MS Excel Ver. 11 و Slide Write Ver. 2 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. لازم به ذکر است که با توجه به چند ساله بودن گاو زبان ایرانی و جمع‌آوری اطلاعات در دو سال زراعی (۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲)، برای نشان دادن اثر سال در نتایج، آنالیز داده‌ها به صورت اسپلیت پلات در زمان انجام شد.

نتایج و بحث

وزن خشک گل و تعداد گل در بوته

اسید هیومیک و اسید فولویک به ترتیب افزایش ۳۵ و ۲۶ درصدی

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد گاو زبان ایرانی تحت تأثیر اسیدهای آلی و کودهای بیولوژیک مختلف در دو سال زراعی
 Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of some morphological characteristics and yield of Iranian Ox- affected by different organic acids and biofertilizers in two growing seasons

درجه آزادی df	عملکرد کل		تعداد گل در بوته Flower number per plant	وزن دانه در بوته Seed weight per plant	تعداد دانه در بوته Seed number per plant	عملکرد دانه		شاخص برداشت		شاخص برداشت دانه Seed harvest index
	خشک Dry flower yield	عملکرد خشک Dry matter yield				دانه Seed yield	خشک Dry matter yield	گل Flower harvest index	دانه Seed harvest index	
بلوک Block	2	1708.38 ^{ns}	194.85 ^{ns}	4.55 ^{ns}	47176 ^{ns}	1819.00 ^{ns}	3927 ^{ns}	1.74 ^{ns}	2.20 ^{ns}	
تیمارهای تغذیه‌ای Nutritional treatments	7	92563.36 ^{**}	269790 ^{**}	24.35 ^{**}	194274 ^{**}	83596.28 ^{**}	252915 ^{**}	59.97 ^{**}	41.12 [*]	
خطای یک Error 1	14	2553.70	10288.11	2.68	29979	3574.47	23892	10.87	15.25	
سال Year	1	28415.49 ^{**}	24450.45 [*]	17.70 [*]	42841 ^{ns}	12988.59 ^{ns}	73911 ^{**}	8.98 ^{ns}	0.78 ^{ns}	
تیمارهای تغذیه‌ای×سال Nutritional treatments×Year	7	4964.10 [*]	4071.08 [*]	3.57 [*]	13716 [*]	2932.65 [*]	12428 [*]	2.88 [*]	1.63 [*]	
بلوک×سال Block×Year	2	1472.13 ^{ns}	2439.33 ^{ns}	10.69 ^{ns}	2042 ^{ns}	8993.92 ^{ns}	3638 ^{ns}	3.03 ^{ns}	16.61 ^{ns}	
خطای دو Error 2	14	1904.82	4127.21	6.03	12799	3443.69	5037	4.84	5.78	
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)	-	15.26	14.83	18.87	14.92	17.34	12.87	16.56	17.42	

** , * and ns are significant at the 0.01 and 0.05 of probability level and non-significant, respectively.
 ** , * and ns به ترتیب معنی داری در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی داری.

جدول ۴- مقایسه میانگین برخی ویژگی‌های کمی گاو زبان ایرانی تحت تأثیر نهاده‌های بوم‌سازگار در سال‌های زراعی مختلف
 Table 4- Mean comparison of some quantitative characteristics of Iranian Ox-Tongue affected by eco-friendly inputs in different growing seasons

	نهاده‌های بوم‌سازگار Eco-friendly inputs							سال Year				
	اسید هیومیک Humic acid	اسید فولویک Fulvic acid	نیتروکسین Nitroxin	بیوفسفر Biophosphorous	بیوسولفور Biosulfur	موسه Glomus mosseae	گلاموس Glomus intraradices	شاهد Control	LSD	2	3	LSD
وزن گل خشک در بوته (گرم) Dry flower weight per plant (g)	20.00	17.45	15.64	13.71	19.86	17.85	14.08	12.95	2.82	16.89	15.99	1.41
تعداد گل در بوته Flower number per plant	1565	1531	1146	1097	1442	1496	1328	1028	79.55	1352	1306	39.77
شاخص برداشت گل (درصد) Flower harvest index (%)	35.64	32.99	33.82	27.58	34.70	36.65	36.41	30.32	2.72	33.95	33.08	1.36
شاخص برداشت دانه (درصد) Seed harvest index (%)	35.90	33.48	30.84	28.50	35.30	32.82	29.51	32.56	2.97	32.49	32.23	1.48

*در هر ردیف و برای هر عامل، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند.
 *In each row and for each factor, based on LSD test means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.05$), at 5% probability level.

جدول ۵ - مقایسه میانگین اثرات متقابل نهاده‌های بوم‌سازگار و سال زراعی بر برخی ویژگی‌های کمی و عملکرد گاو زبان ایرانی
 Table 5- Mean comparison of interaction effects of eco-friendly inputs and agronomic year on some quantitative characteristics and yield of Iranian Ox-Tongue

	وزن گل خشک Dry flower weight per plant (g)	تعداد گل در بوته Flower number per plant	وزن دانه در بوته (گرم) Seed weight per plant (g)	تعداد دانه در بوته Seed number per plant	سال دوم 2 Year		شاخص برداشت گل (درصد) Flower harvest index (%)	شاخص برداشت دانه (درصد) Seed harvest index (%)	
					عملکرد گل خشک (کیلوگرم در هکتار) Dry flower yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد ماده خشک (کیلوگرم در هکتار) Dry matter yield (kg.ha ⁻¹)			
اسید هیومیک Humic acid	21.40	1616	25.65	2579	1080.52	1030.13	2903.88	37.20	35.46
اسید فولویک Fulvic acid	17.63	1573	20.71	2486	901.23	932.04	2737.85	32.94	34.05
نیتروکسین Nitroxin	16.80	1161	17.77	2321	842.72	744.32	2409.45	35.01	30.98
نیوفسفر Biophosphorous	14.47	1098	17.11	2134	686.91	707.05	2426.33	28.32	29.12
بیوسولفور Biosulfur	21.41	1507	22.27	2266	879.92	905.22	2556.00	34.44	35.45
گلاموس موزه Glomus mosseae	17.06	1495	19.77	2488	912.70	792.94	2478.64	36.84	32.01
گلاموس اینترادایسه Glomus intraradices	13.71	1329	18.15	2257	857.69	702.75	2381.53	36.04	29.65
شاهد Control	12.68	1039	14.94	2083	658.79	712.67	2152.33	30.79	33.20
LSD	5.48	133.79	3.85	251.91	77.10	101.8	190.57	4.45	5.35

* In each column, based on LSD test means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.05$), at 5% probability level.
 *در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف یک حرف مشترک، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند.

ادامه جدول ۵ - مقایسه میانگین اثرات متقابل نهاده‌های بوم‌سازگار و سال زراعی بر برخی ویژگی‌های کمی و عملکرد گاو زبان ایرانی
 Table 5- Mean comparison of interaction effects of eco-friendly inputs and agronomic year on some quantitative characteristics and yield of Iranian Ox-Tongue

	وزن گل خشک Dry flower weight per plant (g)	تعداد گل در بوته Flower number per plant	وزن دانه در بوته (گرم) Seed weight per plant (g)	تعداد دانه در بوته Seed number per plant	سال سوم 3 Year سوم			شاخص برداشت دانه Seed harvest index (%)	
					عملکرد گل خشک (کیلوگرم در هکتار) Dry flower yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد دانه در هکتار (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد ماده خشک (کیلوگرم در هکتار) Dry matter yield (kg.ha ⁻¹)		شاخص برداشت گل (درصد) Flower harvest index (%)
اسید هیومیک Humic acid	18.61	1514	21.89	2425	927.23	988.41	2721.41	34.07	36.33
اسید فولویک Fulvic acid	17.28	1489	18.70	2423	838.94	833.44	2538.10	33.04	32.90
نیتروکسین Nitroxin	14.49	1132	16.80	2111	748.25	704.73	2298.33	32.64	30.70
نیوفسفر Biophosphorous	12.95	1097	16.01	2051	638.57	665.25	2384.52	26.84	27.88
بیوسولفور Biosulfur	18.32	1377	19.39	2315	850.96	856.32	2450.33	34.96	35.14
گلاموس موسه Glomus mosseae	18.63	1498	21.15	2522	918.59	842.91	2524.08	36.47	33.64
گلاموس اینترادیسه Glomus intraradices	14.45	1327	17.89	2298	889.60	707.27	2421.08	36.77	29.36
شاهد Control	13.22	1017	14.56	1990	619.03	661.59	2080.30	29.85	31.93
LSD	5.48	133.79	3.85	251.91	77.10	101.8	190.57	4.45	5.35

* In each column, based on LSD test means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.05$), at 5% probability level.
 *در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند.

۲۰۰ تا ۳۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک، عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک تولیدی ذرت (*Zea mays* L.) را به ترتیب ۲۵ و ۲۳ درصد نسبت به شاهد افزایش داد، ضمن این‌که در شرایط استفاده از این اسید آلی، وزن هزار دانه و تعداد دانه در بوته نیز در مقایسه با شاهد افزایش یافت (Sarir et al., 2005). قاسمی و همکاران (Ghasemi et al., 2013) اثر کودهای زیستی مختلف را بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata* Forssk.) بررسی و گزارش کردند که کاربرد جداگانه و ترکیبی از توپاکتر با میکوریزا بهبود خصوصیات کمی و کیفی گیاه را به همراه داشت، به طوری که تعداد دانه در سنبله در گیاهان تحت تأثیر از توپاکتر و از توپاکتر به علاوه میکوریزا به ترتیب ۱۸ و ۴۱ درصد بیشتر از شاهد بود.

عملکرد گل خشک و عملکرد دانه

اثر اسیدهای آلی و کودهای بیولوژیک مختلف بر عملکرد گل خشک معنی‌دار بود (جدول ۳)، به طوری که تمامی کودهای مورد استفاده در آزمایش منجر به افزایش عملکرد گل خشک نسبت به شاهد شدند که البته بیشترین مقدار عملکرد گل خشک (۱۰۰۴ کیلوگرم در هکتار) در نتیجه کاربرد اسید هیومیک به دست آمد (شکل ۲).

کودهای اسید فولویک، نیتروکسین، بیوفسفر، بیوسولفور، میکوریزا (*Glomus mosseae*) و میکوریزا (*Glomus intraradices*) نیز به ترتیب افزایش ۲۷، ۲۰، ۴، ۲۶، ۳۰ و ۲۸ درصدی عملکرد گل خشک را در مقایسه با شاهد سبب شدند (شکل ۲). عملکرد دانه به طور معنی‌داری تحت تأثیر اسیدهای آلی و کودهای بیولوژیک قرار گرفت، به طوری که کودهای اسید هیومیک، اسید فولویک، بیوسولفور و میکوریزا (*Glomus mosseae*) به ترتیب افزایش ۳۲، ۲۲، ۲۱ و ۱۶ درصدی عملکرد دانه را در مقایسه با شاهد به همراه داشتند (شکل ۲). به نظر می‌رسد که اسیدهای آلی مورد مطالعه از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک (Natesan et al., 2007) شرایط مساعدی را برای رشد مطلوب‌تر گیاه فراهم کردند، لذا افزایش عملکرد گل و دانه در شرایط کاربرد این کودها منطقی به نظر می‌رسد.

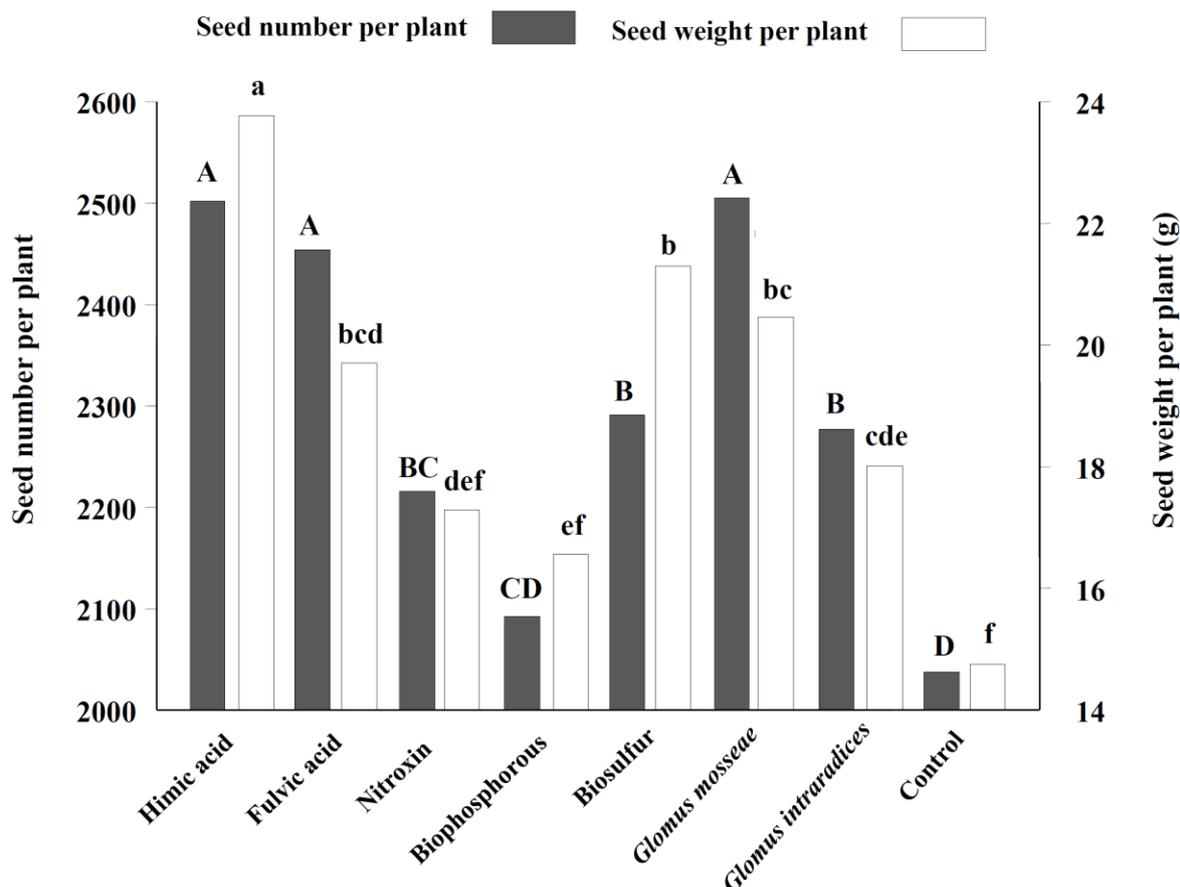
بهبود خصوصیات کمی و کیفی گیاه را به همراه داشتند، ولی بیشترین وزن خشک برگ، عملکرد ماده خشک، طول ریشه و تعداد گل در بوته در تیمار ترکیبی نیتروکسین و بیوفسفر مشاهده شد (Agha Alikhani et al., 2013). حسینی‌مزیانی و هادی‌پور (Hoseini Mazinani & Hadipoor, 2014) گزارش کردند که استفاده از کودهای نیتروکسین، سوپرنیتروپلاس و میکوریزا وزن خشک گل در بوته همیشه بهار را به ترتیب از افزایش ۱۹، ۱۴ و ۱۱ درصدی در مقایسه با شاهد برخوردار ساخت.

وزن و تعداد دانه در بوته

اثر اسیدهای آلی و کودهای بیولوژیک بر وزن دانه در بوته و تعداد دانه در بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). کاربرد اسیدهای آلی هیومیک و فولویک وزن دانه در بوته را به ترتیب ۳۸ و ۲۵ درصد و تعداد دانه در بوته را به ترتیب ۱۹ و ۱۷ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند (شکل ۱).

کودهای بیولوژیک نیتروکسین و بیوسولفور به ترتیب منجر به افزایش ۸ و ۱۱ درصدی تعداد دانه در بوته در مقایسه با شاهد شدند (شکل ۱). وزن دانه در بوته نیز در شرایط کاربرد بیوسولفور ۲۹ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۱). هر دو گونه میکوریزای مورد مطالعه افزایش وزن و تعداد دانه در بوته را نسبت به شاهد در پی داشتند، به طوری که وزن دانه در بوته تحت تأثیر کودهای میکوریزا (*Glomus mosseae*) و میکوریزا (*Glomus intraradices*) به ترتیب ۲۸ و ۱۸ درصد بیشتر از شاهد بود و تعداد دانه در بوته نیز در شرایط استفاده از کودهای میکوریزا (*Glomus mosseae*) و میکوریزا (*Glomus intraradices*) به ترتیب از افزایش ۱۹ و ۱۱ درصدی نسبت به شاهد برخوردار شد (شکل ۱).

به نظر می‌رسد که اسیدهای آلی از طریق کلات‌کنندگی عناصر غذایی (Verlinden et al., 2009) و کودهای بیولوژیک از طریق توسعه سیستم ریشه‌ای (Chen, 2006)، بهبود وزن و تعداد دانه در بوته را سبب شدند. در یک پژوهش گزارش شد که استفاده از نهاده‌های اکولوژیک مختلف (اسید هیومیک، نیتروکسین، میکوریزا و استفاده ترکیبی این کودها) منجر به بهبود خصوصیات کمی و کیفی به‌ویژه وزن و تعداد دانه در بوته گندم (*Triticum aestivum* L.) شد (Massoud et al., 2013). در پژوهشی دیگر، گزارش شد که کاربرد



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر نهاده‌های بوم‌سازگار بر وزن و تعداد دانه در بوته گاوزبان ایرانی

Fig. 1- Mean comparisons for the effect of eco-friendly inputs on seed weight and number of Iranian Ox-Tongue

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

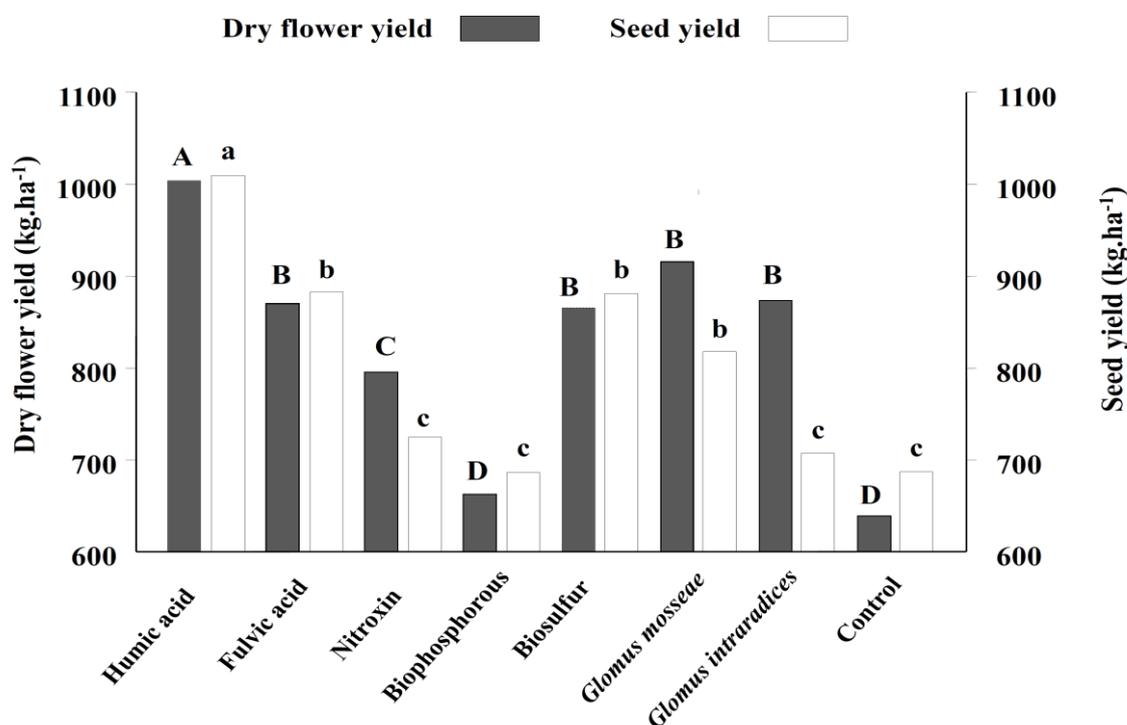
In each trait, means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.05$), at 5% probability level.

که کاربرد میکوریزا (*Glomus etunicatum*) نقش مؤثری در بهبود عملکرد دانه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) داشت. در یک پژوهش، گزارش شد که اثر میکوریزا (*Glomus intraradices*) بر اجزای عملکرد، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و محتوی و عملکرد اسانس رازیانه و زنیان (*Carum copticum* L.) معنی‌دار بود، به طوری که تلقیح با میکوریزا به ترتیب باعث افزایش ۳۵ و ۸۵ درصدی عملکرد این دو گیاه دارویی شد (Shabahang et al., 2013). در پژوهشی دیگر، اثر میکوریزا بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی کدو پوست‌کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) مورد مطالعه قرار گرفت و گزارش شد که در شرایط کاربرد این کود بیولوژیک، خصوصیات مورفولوژیکی گیاه و به‌ویژه رشد اندام‌های زایشی گیاه به‌طور چشمگیری افزایش یافت (Baghdadi et al., 2012). کودهای بیولوژیک از طریق مکانیسم‌های مختلفی نظیر افزایش

در یک پژوهش، اثر سطوح مختلف اسید هیومیک بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه سویا مطالعه و گزارش شد که بیشترین عملکرد دانه در سطح ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اسید هیومیک بدست آمد، ضمن این که کاربرد ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از این اسید آلی نیز بهبود ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و تعداد غلاف در بوته را نسبت به شاهد در پی داشت (El-Baz et al., 2012). گونه‌های مختلف میکوریزا احتمالاً از طریق تولید متابولیت‌ها و هورمون‌های گیاهی نظیر اکسین (Benabdellah et al., 2011) باعث بهبود عملکرد گل و دانه گیاه شدند. گزارش شد که تلقیح با میکوریزا (*Glomus mosseae*) خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی شویید (*Anethum graveolens* L.) و به‌ویژه عملکرد دانه این گیاه را ۳۲/۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (Hashemzadeh et al., 2013). برخی دیگر از محققین (Heidari & Karami, 2014) نیز گزارش کردند

دسترسی به نیتروژن به وسیله تثبیت نیتروژن (Sahin et al., 2004)، آزاد کردن متابولیت‌ها، تولید هورمون‌های گیاهی نظیر اکسین، افزایش جذب آب و مواد غذایی و کنترل بیولوژیک پاتوژن‌های خاک-زاد باعث بهبود رشد گیاه می‌شوند (Egamberdiyeva, 2005). اثرات مثبت کودهای بیولوژیک در بهبود کمی و کیفی برخی گیاهان دارویی از جمله شوید (Kapoor et al., 2002)، رازیانه (Kapoor et al., 2004)، سیاه‌دانه (al., 2004) (*Nigella sativa* L.) (Shaalan, 2005)، مرزنجوش، زیره سیاه اروپایی (*Carum carvi* L.) (Vestberg et al., 2005)، آویشن (*Thymus vulgaris* L.) (Richter et al., 2005) و ریحان (Copetta et al., 2006) و اسطوخودوس

گزارش شده است. آزاز و همکاران (Azzaz et al., 2009)، با بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک بر روی گیاه رازیانه گزارش کردند که استفاده از تیمار *ازتوباکتر* نسبت به شاهد، باعث افزایش ۱۸ درصدی عملکرد گیاه شد. سانچز گوین و همکاران (Sanches Govin et al., 2005) در آزمایشی اثر کودهای بیولوژیک را در دو گیاه دارویی بابونه آلمانی و همیشه‌بهار بررسی و گزارش کردند که کاربرد این کودها در همیشه‌بهار باعث افزایش عملکرد و بهبود کیفیت گیاه شد، درحالی‌که در بابونه افزایش عملکرد را به همراه داشت ولی اثری بر کیفیت آن نداشت.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر نهاده‌های بوم‌سازگار بر عملکرد گل خشک و عملکرد دانه گاوزبان ایرانی

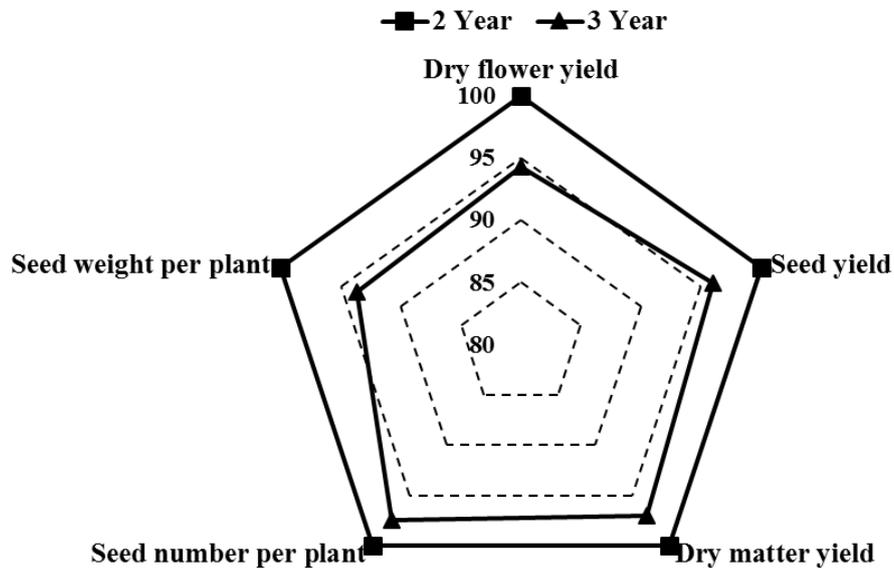
Fig. 2- Mean comparisons for the effect of eco-friendly inputs on dry flower yield and seed yield of Iranian Ox-Tongue

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

In each trait, means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.05$), at 5% probability level.

و نیتروکسین به ترتیب ۱۴ و ۱۱ درصد نسبت به کاربرد کودهای مشابه در سال زراعی سوم افزایش یافت (شکل ۳). به نظر می‌رسد که افزایش عملکرد گل خشک سال دوم نسبت به سال سوم به کاهش تعداد شاخه‌های گل‌دهنده در سال سوم نسبت به سال دوم مرتبط باشد.

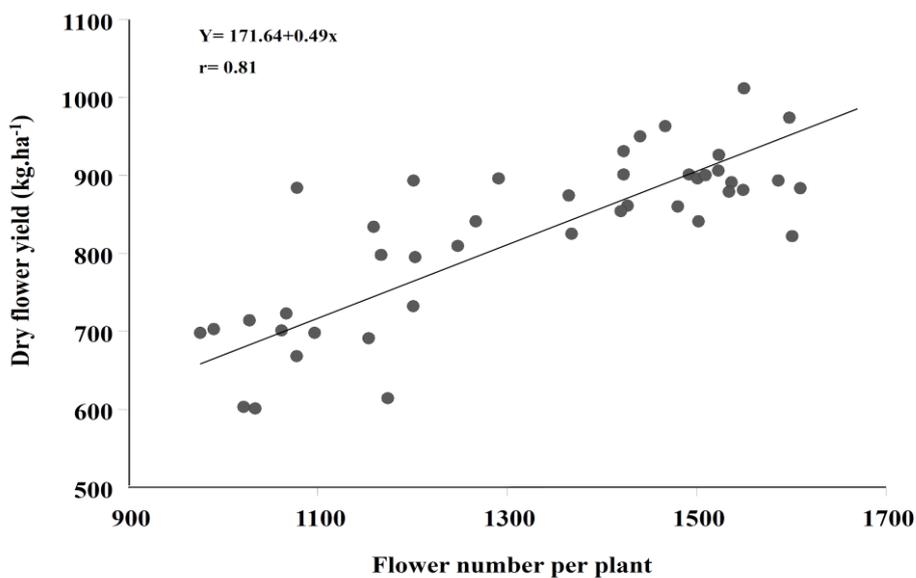
در هر دو سال زراعی اثر مثبت اسیدهای آلی و کودهای بیولوژیک بر عملکرد گل خشک مشهود بود، ولی عملکرد گل خشک در نتیجه استفاده از کودهایی نظیر اسید هیومیک و نیتروکسین در سال زراعی دوم بیشتر از سال زراعی اول بود، به این ترتیب که در سال زراعی دوم عملکرد گل خشک تحت تأثیر کودهای اسید هیومیک



شکل ۳- تغییرات برخی از صفات مورد بررسی در گاوزبان ایرانی در دو سال زراعی مختلف (در هر صفت، سال دوم مبنای مقایسه قرار گرفت)
 Fig. 3- Changes of some studied traits in Iranian OX-Tongue in 2 different growing seasons (In each trait, base of comparison has been second year)

افزایش تعداد گل در بوته شد (جدول ۵)، لذا افزایش عملکرد گل خشک در شرایط کاربرد این کودها منطقی به نظر می‌رسد.

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود رابطه بین عملکرد گل خشک و تعداد گل در بوته رابطه‌ای قوی و مثبت بود ($r=0.81$) و از آنجایی که استفاده از اسیدهای آلی و کودهای بیولوژیک منجر به



شکل ۴- رابطه بین عملکرد گل خشک و تعداد گل در بوته‌ی گاوزبان ایرانی در شرایط کاربرد نهاده‌های بوم‌سازگار
 Fig. 4- Relationship between dry flower yield and flower number per plant of Iranian Ox-Tongue in conditions of eco-friendly inputs application

عملکرد ماده خشک

به‌طور کلی تمامی کودهای مورد مطالعه منجر به افزایش عملکرد ماده خشک نسبت به شاهد شدند، به این ترتیب که اسید هیومیک و اسید فولویک عملکرد ماده خشک را به‌ترتیب ۲۵ و ۲۰ درصد در مقایسه با شاهد افزایش دادند، کودهای بیولوژیک نیتروکسین، بیوفسفر و بیوسولفور به‌ترتیب افزایش ۱۰، ۱۲ و ۱۵ درصدی عملکرد ماده خشک را نسبت به شاهد سبب شدند و هر دو میکوریزای مورد مطالعه (*Glomus intraradices* و *Glomus mosseae*) عملکرد ماده خشک را به‌ترتیب از افزایش ۱۵ و ۱۲ درصدی نسبت به شاهد برخوردار کردند (شکل ۵). به‌نظر می‌رسد که اسیدهای آلی و کودهای بیولوژیک از طریق فراهمی عناصر غذایی (Verlinden et al., 2009) و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (Natesan et al., 2007) منجر به افزایش عملکرد ماده‌ی خشک گیاه شدند.

خزائی و بنایان (Khazaee & Banayan, 2011) با محلول‌پاشی اسید هیومیک بر گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) گزارش کردند که استفاده از این ماده آلی زیست‌توده‌ی اندام هوایی و عملکرد اسانس را به میزان قابل‌توجهی نسبت به شاهد افزایش داد. محمدی‌پور و همکاران (Mohammadipour et al., 2012) گزارش کردند که تعداد گل در بوته، وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع و عملکرد ماده خشک گیاه دارویی همیشه بهار تحت‌تأثیر اسید هیومیک افزایش یافت. درزی و همکاران (Darzi et al., 2012) با بررسی اثر کودهای زیستی مختلف را بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) گزارش کردند که بیشترین عملکرد ماده خشک در تیمار تلقیح توأم *Azotobacter* و *Azospirillum* و بیشترین عملکرد دانه در تلقیح با *Azospirillum* به‌دست آمد. در پژوهشی دیگر گزارش شد که استفاده از کودهای زیستی نیتروکسین، بیوفسفر و بیوسولفور منجر به افزایش عملکرد ماده خشک، ارتفاع بوته، تعداد ساقه فرعی و تعداد گل در بوته سرخارگل در مقایسه با کود شیمیایی و شاهد شد، ضمن این‌که استفاده‌ی ترکیبی از مایه تلقیح نیتروکسین و بیوفسفر بیشترین میزان عملکرد ماده خشک را سبب شد (Agha Alikhani et al., 2013).

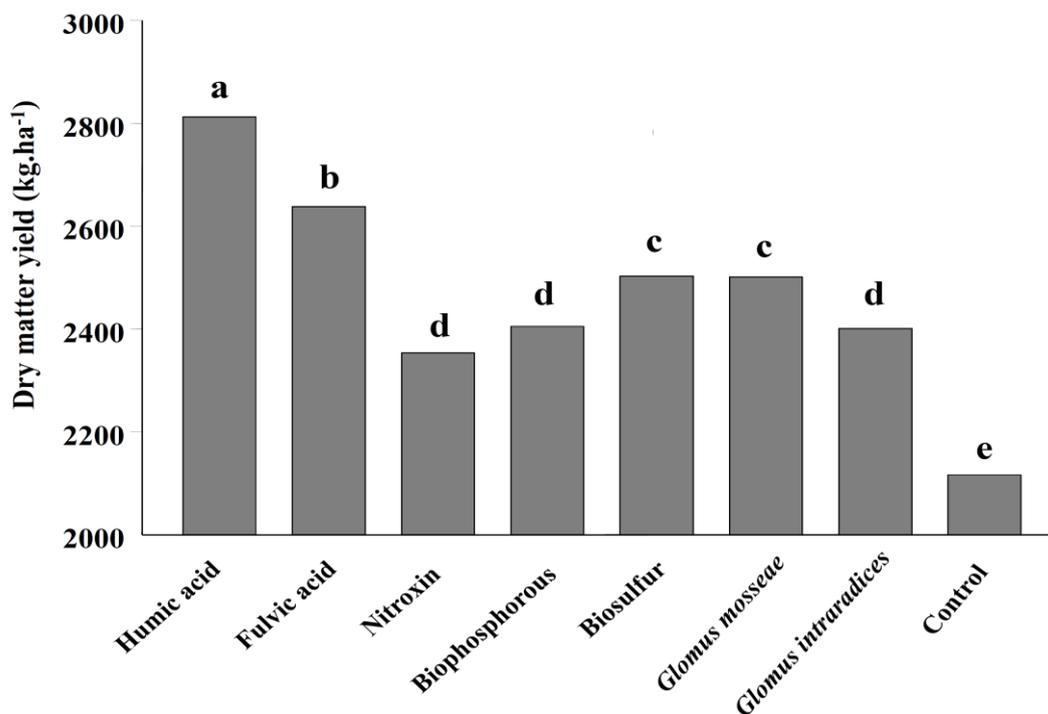
کاپور و همکاران (Kapoor et al., 2004) گزارش کردند که تلقیح بذر رازیانه با میکوریزا، به‌دلیل افزایش باروری فسفر خاک باعث افزایش معنی‌دار رشد و همچنین بهبود عملکرد اسانس گیاه شد.

محفوظ و شرف‌الدین (Mahfouz & Sharaf-Eldin, 2007) گزارش کردند که تیمار استفاده توأم *Azospirillum* و میکوریزا منجر به تولید بیشترین عملکرد دانه گیاه دارویی رازیانه شد.

شاخص برداشت گل و دانه

شاخص برداشت گل و دانه به‌طور معنی‌داری تحت‌تأثیر اسیدهای آلی و کودهای بیولوژیک مختلف قرار گرفتند (جدول ۳)، به‌طوری‌که بیشترین شاخص برداشت گل و دانه به‌ترتیب در نتیجه استفاده از میکوریزا (*Glomus intraradices*) و اسید هیومیک حاصل شد (جدول ۴). کودهای بیولوژیک نیتروکسین و بیوسولفور نیز به‌ترتیب منجر به افزایش ۱۰ و ۱۳ درصدی شاخص برداشت گل در مقایسه با شاهد شدند (جدول ۴). کاربرد کود میکوریزا (*Glomus mosseae*) شاخص برداشت گل را ۲۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد که کودهای بیولوژیک احتمالاً از طریق توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه، خصوصیات مورفولوژیکی گیاه را بهبود بخشیدند.

همزیستی با میکوریزا اثرات سوء ناشی از فقر عناصر غذایی و تنش‌های شوری و خشکی را کاهش (Sirrenberg et al., 2007) و رشد گیاه و جذب عناصر غذایی را افزایش می‌دهد (Roesti et al., 2006). در یک پژوهش گزارش شد که در نتیجه کاربرد کود بیولوژیک و اوره، شاخص برداشت دانه و عملکرد دانه گیاه ماش (*Vigna radiata* L.) در مقایسه با شاهد افزایش یافت (Mondal et al., 2013). در پژوهشی دیگر گزارش شد که کاربرد جداگانه و همزمان کود بیولوژیک باکتری حل‌کننده فسفات و میکوریزا منجر به بهبود ارتفاع، وزن دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد ماده خشک، عملکرد دانه و در نهایت شاخص برداشت گیاه عدس (*Lens culinaris* Medikus) در مقایسه با شاهد شد (Bera et al., 2013). در آزمایشی، تلقیح ریحان با گونه‌های مختلف میکوریزا باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع ساقه، تعداد و سطح برگ، زیست‌توده، طول و میزان انشعابات جانبی ریشه و همچنین میزان اسانس گیاه در مقایسه با شاهد شد (Gupta et al., 2006).



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر نهاده‌های بوم‌سازگار بر عملکرد ماده‌ی خشک گاوزبان ایرانی
Fig. 5- Mean comparisons for the effect of eco-friendly inputs on dry matter yield of Iranian Ox-Tongue
 میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
 Means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.05$), at 5% probability level.

نتیجه‌گیری

برخوردار بود، به طوری که به‌ویژه در سال زراعی دوم بیشترین مقدار صفاتی نظیر عملکرد گل خشک، عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک و وزن و تعداد گل و دانه در بوته در شرایط استفاده از این کود به‌دست آمد. به‌طور کلی یافته‌های این پژوهش نشان داد که استفاده از نهاده‌های اکولوژیک ضمن افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گاوزبان ایرانی می‌تواند وابستگی به کودهای شیمیایی و مخاطرات زیستی آن‌ها را کاهش داده و در جهت توسعه کشاورزی پایدار و حفظ سلامت بوم‌نظام مورد توجه قرار گیرد.

استفاده از اسیدهای آلی و کودهای بیولوژیک در هر دو سال زراعی مورد مطالعه منجر به بهبود خصوصیات کمی و کیفی گیاه شد، به‌عنوان مثال کودهای نیتروکسین، بیوسفر و بیوسولفور تعداد گل در بوته را به ترتیب ۱۱، ۵ و ۳۱ درصد در سال زراعی دوم و به ترتیب ۱۰، ۷ و ۲۶ درصد در سال زراعی سوم نسبت به شاهد افزایش دادند. اسید هیومیک در مقایسه با سایر کودهای آلی و بیولوژیک مورد مطالعه از تأثیرگذاری بیشتری در بهبود عملکرد و اجزای عملکرد گاوزبان ایرانی

منابع

- Abdul Jaleel, C., Manivannan, P., Sankar, B., Kishorekumar, A., Gopi, R., Somasundaram, R., and Panneerselvam, R. 2007. *Pseudomonas fluorescens* enhances biomass yield in *Catharanthus roseus* under water deficit stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 60:7-11.
- Agha Alikhani, M., Iranpour, A., and Naghdi Badi, H. 2013. Changes in agronomical and phytochemical yield of purple coneflower (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) under urea and three biofertilizers application. *The Journal of Medical Research* 12: 121-136.
- Azzaz, N.A., Hassan, E., and Hamad, E.H. 2009. The chemical constituent and vegetative and yielding characteristics of fennel plants treated with organic and bio-fertilizer instead of mineral fertilizer. *Australian Journal of Basic and*

- Applied Sciences 3: 579-587.
- Baghdadi, H., Daneshian, J., Yousefi, M., Alimohammadi, M., and Kheybari, M. 2012. Influence of cattle manure and mycorrhiza fungi on vegetative growth of pumpkin under water deficit conditions. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 4: 1362-1365.
- Benabdellah, K., Abbas, Y., Abourouh, M., Aroca, R., and Azcon, R. 2011. Influence of two bacterial isolates from degraded and non-degraded soils and arbuscular mycorrhizae fungi isolated from semi-arid zone on the growth of *Trifolium repens* under drought conditions: Mechanisms related to bacterial effectiveness. *European Journal of Soil Biology* 47(5): 303-309.
- Bera, A.K., Pramanik, K., and Panda, D. 2013. Response of biofertilizers and homo-brassinolide on growth, relative water content and yield of lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Journal of Crop and Weed* 9: 84-90.
- Chen, J. 2006. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. *International Workshop on Sustained Management of the Soil-Rhizosphere System for Efficient crop Production and Fertilizer Use*. October, 16-20. Thailand.
- Copetta, A., Lingua, G., and Berta, G. 2006. Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs, and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. Genovese. *Mycorrhiza* 16: 485-494.
- Darzi, M.T., Haj Seyyed Mohammad Hadi, M.R., and Rejali, F. 2012. Effect of cattle manure and biofertilizers on biomass yield, seed yield and oil content of *Coriandrum sativum*. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 11: 77-91. (Persian with English Summary)
- Egamberdiyeva, D. 2005. Plant-growth-promoting rhizobacteria isolated from a Calcisol in a semi-arid region of Uzbekistan: Biochemical characterization and effectiveness. *Journal of the Plant Nutrition and Soil Science* 168: 94-99.
- El-Baz, S.M., Abbas, E.E., and Mostafa, R.A.I.A. 2012. Effect of sowing dates and humic acid on productivity and infection with rot diseases of some soybean cultivars cultivated in new reclaimed soil. *International Journal of Agricultural Research* 7: 345-357.
- Gharib, F.A., Moussa, L.A., and Massoud, O.N. 2008. Effect of compost and bio-fertilizers on growth, yield and essential oil of sweet marjoram (*Majorana hortensis*) plant. *International Journal of Agricultura and Biology* 10: 381-387.
- Ghasemi, A. 2009. *Medicinal and Aromatic Plants, Identifying and Studying their Effects*. Publications of Islamic Azad University, Shahrkord, Iran. (In Persian with English Summary)
- Ghasemi, K., Fallah, S., Raeesi, F., and Heidari, M. 2013. Effect of urea fertilizer and biofertilizers on quantitative and qualitative yield of *Plantago ovata* Forsk.). *Journal of Plant Production Research* 101-116. (In Persian with English Summary)
- Gupta, M.L., Prasad, A., Ram, M., and Kumar, S. 2002. Effect of the vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasciculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. *Bioresource Technology* 81: 77-79.
- Hashemzadeh, F., Mirshekari, B., Khoe, F.R., Yarnia, M., and Tarinejad, A. 2013. Effect of bio and chemical fertilizers on seed yield and its components of dill (*Anethum graveolens*). *Journal of Medicinal Plants Research* 7: 111-117.
- Heidari, M.R., Azad, E.M., and Mehrabani, M. 2006. Evaluation of the analgesic effect of *Echium amoenum* Fisch & C.A. Mey. extract in mice: Possible mechanism involved. *Journal of Ethnopharmacology* 103: 345-349.
- Heidari, M., and Karami, V. 2014. Effects of different mycorrhiza species on grain yield, nutrient uptake and oil content of sunflower under water stress. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 13: 9-13.
- Hoseini Mazinani, S.M., and Hadipoor, A. 2014. Improve the quality and quantity of *Calendula officinalis* L. via biofertilizers application. *Journal of Medicinal Plants* 13: 83-93. (In Persian with English Summary)
- Kapoor, R., Giri, B., and Mukerji, K.G. 2002. *Glomus macrocarpum*: potential bioinoculant to improve essential oil quality and concentration in dill (*Anethum graveolens* L.) and carum (*Trachyspermum ammi* (Linn.) Sprague). *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 18: 459-463.
- Kapoor, R., Giri, B., and Mukerji, K.G. 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in (*Foeniculum vulgare* mill.) on mycorrhizal inoculation supplemented with P- fertilizer. *Bioresource Technology* 93: 307-311.
- Kapoor, R., Chaudhary, V., and Bhatnagar, A.K. 2007. Effects of arbuscular mycorrhiza and phosphorus application on artemisinin concentration in *Artemisia annua* L. *Mycorrhiza* 17: 581- 587.
- Karr, M. 2001. Oxidized ignites and extracts from oxidized ignites in agriculture. *Soil Science* 1-23.

- Khazaee, H.R., and Banayan, M. 2011. Application of use time and amount of humic acid on biomass and oil content of *Hyssopus officinalis*. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 5: 25-35. (In Persian with English Summary)
- Kızilkaya, R. 2008. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains. Ecological Engineering 33: 150-156.
- Mahfouz, S.A., and Sharaf-Eldin, M.A. 2007. Effect of mineral vs. biofertilizer on growth, yield, and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). International Agrophysics 21: 361-366.
- Manafee, W.F., and Kloepper, J.W. 1994. Application of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable agriculture. In: "Soil biota management in sustainable farming systems". CSIRO, Publication. East Melbourne, Australia p. 23-31.
- Marulanda, A., Porcel, R., Barea, J.M., and Azcon, R. 2007. Drought tolerance and antioxidant activities in laender plants colonized by native drought-tolerant of drought-sensitive *Glomus* species. Microbial Ecology 54: 543-552.
- Massoud, O.N., Afifi, M.M.I., El-Akshar, Y.S., and El-Sayed, G.A.M. 2013. Impact of biofertilizers and humic acid on the growth and yield of wheat grown in reclaimed sandy soil. Research Journal of Agriculture and Biological 9: 104-113.
- Mohammadipour, E., Golchin, A., Mohammadi, J., Negahdar, N., and Zarchini, M. 2012. Effect of humic acid on yield and quality of marigold (*Calendula officinalis* L.). Annals of Biological Research 3: 5095-5098.
- Mondal, M.M.A., Malek, M.A., Sattar, M.A., Puteh, A.B., Rafii, M.Y., and Ismail, M.R. 2013. Response of biofertilizer and urea on growth and yield in mungbean. Legume Research 36: 448-452.
- Natesan, R., Kandasamy, S., Thiyageshwari, S., and Boopathy, P.M. 2007. Influence of lignite humic acid on the micronutrient availability and yield of blackgram in an alfisol. Scientific World Journal 7: 1198-1206.
- Nooriyan Soroor, E., Rouzbehan, Y., and Alipour, D. 2013. Effect of *Echium amoenum* extract on the growth rate and fermentation parameters of Mehraban lambs. Animal Feed Science and Technology 184: 49-57.
- Pal, K.K., Tilak, V.B.R., Saxena, A.K., Dey, R., and Singh, C.S. 2001. Suppression of maize root diseases caused by *Macrophomia phaseolina*, *Fusarium moniliforme* and *Fusarium graminearum* caused by plant growth promoting rhizobacteria. Microbiological Research 156: 209-223.
- Rajendran, K., and Devaraj, P. 2004. Biomass and nutrient distribution and their return of *Casuarina equisetifolia* inoculated with biofertilizers in farm land. Biomass and Bioenergy 26: 235-249.
- Richter, J., Stutzer, M., and Schellenberg, I. 2005. Effects of mycorrhization on the essential oil content and composition of aroma components of marjoram (*Marjorana hortensis*), thyme (*Thymus vulgaris* L.) and caraway (*Carum carvi* L.). 36th International Symposium on Essential Oils, 4-7 September, Budapest, Hungary.
- Rillig, M.C., and Mummey, D.L. 2006. Mycorrhizas and soil structure. New Phytologist 171: 41-53.
- Roesti, D., Gaur, R., Johri, B.N., Imfeld, G., Sharma, S., Kawaljeet, K., and Aragno, M. 2006. Plant growth stage, fertilizer management and bio-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria affect the rhizobacterial community structure in rain-fed wheat fields. Soil Biology and Biochemistry 38: 1111-1120.
- Sahin, F., Cakmakci, R., and Kantar, F. 2004. Sugar beet and barley yields in relation to inoculation with N₂-fixing and phosphate solubilizing bacteria. Plant and Soil 265: 123-129.
- Samavat, S., and Malakooti, M. 2005. Production necessity and use of organic acids to increase the quality and quantity of agricultural products. Publications of Sana, Tehran, Iran. (In Persian with English Summary)
- Sanches Govin, E., Rodrigues Gonzales, H., and Carballo Guerra, C. 2005. Ifluencia de los abonos organicos y biofertilizantes en la calidad de las especies medicinales *calendula officinalis* L. y *Matricaria recutita* L. Revista Cubana de Plantas Medicinales 10: 1-5.
- Sarir, M.S., Sharif, M., Ahmed, Z., and Akhlaq, M. 2005. Influence of different levels of humic acid application by various methods on the yield and yield components of maize. Sarhad. Journal of Agriculture 21: 75-81.
- Sayyah, M., Boostani, H., Pakseresht, S., and Malaieri, A. 2009. Efficacy of aqueous extract of *Echium amoenum* in treatment of obsessive-compulsive disorder. Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry 33: 1513-1516.
- Shalan, M.N. 2005. Effect of compost and different sources of biofertilizers, on borage plants (*Borago officinalis*). Egypt Journal of Agriculture Research 83: 271-279.

- Shabahang, J., Khorramdel, S., and Gheshm, R. 2013. Effect of mycorrhiza on yield and yield components of *Foeniculum vulgare* and *Carum copticum* L. affected by nitrogen amounts. *Journal of Agroecology* 5: 289-298. (In Persian with English Summary)
- Sidari, M., Attina, E., Francioso, O., Tugnoli, V., and Nardi, S. 2006. Biological activity of humic substances is related to their chemical structure. *Soil Science Society of America Journal* 71: 75-85.
- Sirrenberg, A., Gobel, C., Grond, S., Czempinski, N., Ratzinger, A., Karlovsky, P., Santos, P., Feussner, I., and Pawlowski, K. 2007. Piriformospora indica affects plant growth by auxin production. *Journal of Plant Physiology* 131: 581-589.
- Smith, S.E., Gianinazzi-Pearson, V., Koide, R., and Cairney, J.W.G. 1994. Nutrient Transport in Mycorrhizas: Structure, Physiology and Consequences for Efficiency of the Symbiosis. In: Robson, A.D., Abbott, L.K. and Malajczuk, N. (Eds) *Management of Mycorrhizas in Agriculture, Horticulture and Forestry*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht p. 103-113.
- Thomas, P. 1984. *Canola Grower Manual*. Canola Concil of Canada Publication. 14 pages.
- Verlinden, G., Pycke, B., Mertens, J., Debersaques, F., Verheyen, K., Baert, G., Bries, J., and Haesaert, G. 2009. Application of humic substances results in consistent increases in crop yield and nutrient uptake. *Journal of Plant Nutrition* 32: 1407-1426.
- Vessey, J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. *Plant and Soil* 255: 571-586.
- Vestberg, M., Saari, k., Kukkonen, S., and Hurme, T. 2005. Mycotrophy of crops in rotation and soil amendment with peat influence the abundance and effectiveness of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi in field soil. *Mycorrhiza* 15: 447-458.
- Zhu, C.X., Song, B.F., and Xu, W.H. 2010. Arbuscular mycorrhizae improves low temperature stress in maize via alterations in host water status and photosynthesis. *Plant and Soil* 331: 129-137.



Application of Eco-Friendly Inputs on Cultivation of Iranian Ox-Tongue (*Echium amoenum* Fisch. & Mey.) in Conditions of Mashhad

M.B. Amiri¹, P. Rezvani Moghaddam^{2*} and M. Jahan³

Submitted: 06-09-2015

Accepted: 26-01-2016

Amiri, M.B., Rezvani Moghaddam, P., and Jahan, M. 2018. Application of eco-friendly inputs on cultivation of Iranian ox-tongue (*Echium amoenum* Fisch. & Mey.) in conditions of Mashhad. Journal of Agroecology. 10(3): 679-698.

Introduction

In recent years, the effect of ecological inputs on soil properties and plant growth characteristics has received renewed attention. Although the utilization of mineral fertilizers could be viewed as the best solution in terms of plant productivity, this approach is often inefficient in the long-term in tropical ecosystems due to the limited ability of low-activity clay soils to retain nutrients. Biofertilizer is a substance which contains living microorganisms which, as applied to seed, plant surfaces, or soil, colonizes the rhizosphere or the interior of the plant and promotes growth by increasing the supply or availability of primary nutrients to the host plant. Biofertilizers add nutrients through the natural processes of nitrogen fixation, solubilizing phosphorous and stimulating plant growth through the synthesis of growth-promoting substances. Biofertilizers can be expected to reduce the use of chemical fertilizers and pesticides. Humic substances are a group of heterogeneous molecules that are bonded together by weak forces; therefore, they have a high chemical stability. This material included of 65 to 80 percent of total soil organic matter. Humic acid influences soil fertility through its effect on the water-holding capacity of the soil. Humic acids make important contributions to soil stability and soil fertility leading to exceptional plant growth and micronutrient uptake. Mycorrhiza arbuscular fungi are other coexist microorganisms that improves soil fertility, nutrients cycling and agroecosystem health. Mycorrhizal fungi are the most abundant organisms in agricultural soils. Many researchers have pointed to the positive roles of mycorrhizal fungi on plants growth characteristics. *Echium amoenum* is a wild perennial herb and known in Iran as Ox-Tongue. It is one of the important medicinal plants in Iranian traditional medicine. Petals of Iranian Ox-Tongue have been advocated for a variety of effects such as demulcent, anti-inflammatory and analgesic, especially for common cold, anxiolytic, sedative and other psychiatric symptoms including obsession in folk medicine of Iran. Despite of many researches on the effect of organic acids and biofertilizers on different crops, information on the effects of these factors for many medicinal plants is scarce, therefore, in this study effect of eco-friendly inputs in cultivation of *Echium amoenum* in conditions of Mashhad was studied.

Materials and Methods

In order to evaluate organic acids, plant growth rhizobacteria and different species of mycorrhiza on yield and yield components of Iranian Ox-Tongue (*Echium amoenum*), a split plots experiment in time based on RCBD design with three replications was conducted in 2011-2014 growing seasons, in Ferdowsi University of Mashhad, Iran. Seven different types of soil amendments and biofertilizers concluded humic acid, fulvic acid, Nitroxin[®] (containing *Azotobacter* spp. And *Azospirillum* spp.), Biophosphorous[®] (containing *Bacillus* sp. and *Pseudomonas* sp.), Biosulfur[®] (containing *Thiobacillus* spp.), Mycorrhiza (*Glomus mosseae*), Mycorrhiza (*Glomus intraradices*), and no fertilizer as control and agronomic years (2 and 3 agronomic years) assigned to main and sub plots, respectively.

Result and Discussion

The results showed that the highest dry flower yield obtained in humic acid treatment. Humic acid and fulvic acid increased seed weight per plant 38 and 25% and seed number per plant 19 and 17% compared to control,

1- Assistant Professor, University of Gonabad, Iran.

2 and 3- Professor and Associate Professor, Department of Agrotechnology and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: rezvani@ferdowsi.um.ac.ir)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.49639

respectively. Fulvic acid, nitroxin, biophosphorous, biosulfur, mycorrhiza (*Glomus mosseae*) and mycorrhiza (*Glomus intraradices*) increased dry flower yield 27, 20, 4, 26, 30 and 28% compared to control, respectively. The highest flower and seed harvest index obtained in mycorrhiza (*Glomus intraradices*) and humic acid treatments, respectively. It seems that different species of mycorrhiza improved morphological characteristics and yield of *Echium amoenum* due to provide better conditions to absorption and transportation of nutrient to the plant. It has been reported that organic acids provided favorable conditions for plant growth and development through improvement of physical, chemical and biological properties of the soil, therefore, it can be concluded that improvement of most of studied traits in the present study were due to use of organic acids.

Conclusion

In general, the findings of this research showed that application of ecological inputs, while increasing yield and yield components of Iranian Ox-Tongue, can reduce dependence on chemical inputs and their environmental risks and can be used to develop sustainable agriculture and protect the health of the environment.

Keywords: Biofertilizer, Flower Harvest Index, Health of Environment, Humic acid, Mycorrhiza, Sustainable Agriculture

ارزیابی کارایی مصرف نیتروژن در نظام‌های زراعی تولید گندم (*Triticum aestivum* L.)

حمیدرضا توکلی کاخکی^۱، مهدی نصیری محلاتی^{۲*}، علیرضا کوچکی^۲، محسن جهان^۳ و علیرضا بهشتی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۱۳

توکلی کاخکی، ح.، نصیری محلاتی، م.، کوچکی، ع.، جهان، م.، و بهشتی، ع. ۱۳۹۷. ارزیابی کارایی مصرف نیتروژن در نظام‌های زراعی تولید گندم (*Triticum aestivum* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳):

چکیده

نظام‌های رایج کشاورزی برای حفظ و تقویت حاصلخیزی خاک به کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژنی وابسته می‌باشند. گرچه مصرف کودهای نیتروژنی نقش قابل توجهی در افزایش عملکرد داشته است، اما مصرف بی‌رویه آن با کاهش کارایی مصرف نیتروژن همراه بوده است. این پژوهش به منظور بررسی و تجزیه و تحلیل، روند تغییرات کارایی مصرف نیتروژن و تعیین سهم نسبی اجزای کارایی در نظام‌های زراعی گندم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از مدل CENTURY انجام شده است. نتایج به‌دست آمده در این مطالعه نشان داد که میانگین کارایی مصرف نیتروژن در نظام‌های زراعی گندم این مطالعه ۲۸/۳ کیلوگرم دانه به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن فراهم یا قابل جذب خاک بود. نظام‌های زراعی گندم (تبریز، شیراز، گرگان) بالاترین و در مقابل نظام‌های زراعی (کرمان، بیرجند، زابل) کمترین کارایی مصرف نیتروژن را دارا بودند. بررسی روند تغییرات عملکرد در مقابل کارایی مصرف نیتروژن نشان داد با افزایش یک واحد کارایی مصرف نیتروژن، عملکرد با شیبی معادل ۰/۱۴ تن افزایش یافته است. از طرفی همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کارایی مصرف نیتروژن با کارایی تبدیل ($r=0.73$ $p\leq 0.01$) و جذب نیتروژن ($r=0.69$ $p\leq 0.01$) به‌دست آمد. همچنین، تفکیک سهم نسبی اجزای کارایی مصرف نیتروژن حاکی از آن بود که در دامنه مصرف ۱۲۰-۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار سهم نسبی اجزای کارایی جذب و تبدیل به‌ترتیب ۶۴ و ۳۶ درصد بود که با افزایش مصرف نیتروژن به‌میزان ۱۶۰-۱۲۱ کیلوگرم در هکتار سهم نسبی کارایی جذب به ۳۳ درصد و کارایی تبدیل به ۶۷ درصد تغییر یافت. به‌نظر می‌رسد در نظام‌های تولید گندم هنگامی که جزء غالب کارایی جذب می‌باشد مدیریت زراعی و استفاده از روش‌های اصلاحی زمانی که جزء غالب کارایی تبدیل می‌باشد به عنوان رهیافت‌های پیشنهادی در جهت بهبود کارایی مصرف نیتروژن مورد توجه می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: آنالیز اجزاء کارایی، کارایی تبدیل نیتروژن، کارایی جذب نیتروژن، همبستگی

مقدمه

زراعی است (Gastal et al., 2014). پایداری و توسعه بسیاری از نظام‌های تولیدی به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم وابسته به نیتروژن موجود در خاک می‌باشد (Delgado & Shaffer, 2008). بیشتر بودن سود حاصل از نسبت محصول اقتصادی به کود مصرفی موجب شده در چند دهه اخیر استفاده از کودهای نیتروژنی توسط کشاورزان افزایش یابد (Gastal et al., 2014) این امر کاهش مقدار تولید به ازای واحد نهاده مصرف شده را در سیستم‌های زراعی به همراه داشته است (Grassini & Cassman, 2012). البته صرف‌نظر از همبستگی افزایش عملکرد با نیتروژن ($r=0.93$) که در سطح نظام‌های زراعی غلات و حبوبات گزارش شده است، شکل استفاده از

نیتروژن مهم‌ترین عنصر غذایی محدودکننده تولید در نظام‌های

۱- مربی پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد
۲ و ۳- به‌ترتیب استاد و دانشیار، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۴- دانشیار پژوهش، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

(Email: mnassiri@um.ac.ir

*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jag.v10i3.54239

شد، کارایی مصرف نیتروژن در نظام‌های تولیدی گندم آبی بین ۲۷ الی ۶۰ کیلوگرم دانه به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن متغیر بود (Pathak et al., 2003). همچنین سمینوف و همکاران (Semenov et al., 2007) در پژوهشی با استفاده از مدل Sirius کارایی مصرف نیتروژن را در نظام‌های تولیدی گندم انگلستان و اسپانیا مورد بررسی قرار دادند، نتایج این محققین نشان داد مدیریت نیتروژن و شرایط آب و هوایی بیشترین تغییرات را در کارایی مصرف نیتروژن ایجاد می‌نماید. آن‌ها بیان داشتند در صورت عدم محدودیت رطوبتی ۵۱ درصد تغییرات کارایی مصرف نیتروژن ناشی از مدیریت نیتروژن و ۳۲ درصد متأثر از شرایط آب و هوایی و در صورت محدود بودن رطوبت بیش از ۴۰ درصد تغییرات ناشی از شرایط آب و هوایی و میزان بارندگی است در همین رابطه نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahalati & Koocheki, 2014) اظهار داشتند، کارایی جذب نیتروژن در بوم نظام‌های گندم کشور ۳۵/۵ درصد می‌باشد. در مقابل کارایی تبدیل نیتروژن با میانگین ۴۰ کیلوگرم دانه به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن جذب شده در طی دوره این مطالعه روندی صعودی داشته است.

گرچه مدل‌های مختلفی به‌منظور شبیه‌سازی چرخه نیتروژن در نظام‌های زراعی وجود دارند، اما انتخاب مناسب یک مدل برای ارزیابی چندان کار ساده‌ای نیست، زیرا انتخاب مدل مناسب به آگاهی کافی از توانایی و محدودیت‌های مدل و همچنین چگونگی مدیریت نظام زراعی مورد مطالعه به‌عنوان هدف وابسته می‌باشد (Delgado & Shaffer, 2008). مدل‌های شبیه‌سازی فرآیندهای نیتروژن برای دامنه‌ای از شرایط محیطی و مشکلات زیست‌محیطی از قبیل تلفات ناشی از شستشوی نیتروژن، آزاد شدن گازهای گلخانه‌ای و تأثیر آن بر تغییر اقلیم و همچنین مدیریت نیتروژن در بوم‌نظام‌ها تعریف شده‌اند (Shafer et al., 2010). جزئیات تشریح شده در این مدل‌ها بسیار متفاوت بوده به‌نحوی که تعدادی از مدل‌ها از پیچیدگی و جزئیات بیشتری در شبیه‌سازی فرآیندها برخوردارند و در مقابل برخی از مدل‌ها کاملاً ساده می‌باشند.

در رابطه با مصرف کود در ایران نیز شرایط مشابهی وجود دارد به‌طوری که بیش از ۶۱ درصد از مصرف کود به استفاده از کودهای نیتروژنی اختصاص داد و در بین انواع کودهای نیتروژنی در بوم-نظام‌های زراعی کود اوره با دارا بودن سهم ۹۰ درصدی حائز رتبه اول مصرف می‌باشد (Statistical year book, 2013). از این رو با توجه به ضرورت و اهمیت شناخت پویایی نیتروژن در بوم‌نظام‌های زراعی

نیتروژن نیز در طی سال‌های (۲۰۰۷-۱۹۶۱) از فرم کود آلی و تثبیت بیولوژیکی به استفاده از کود صنعتی تغییر یافته است (Conant et al., 2013). به‌عنوان مثال در حالی که در سال ۲۰۱۱ مصرف کود نیتروژنی ۱۰۸ میلیون تن گزارش شده است این رقم در سال ۲۰۱۵ به ۱۱۴ میلیون تن افزایش یافته است (Group, 2012).

بر اساس تعریف شاخص کارایی مصرف نیتروژن (NUE^1) عبارت است از نسبت عملکرد دانه به‌ازای هر واحد نیتروژن در دسترس گیاه (نیتروژن خاک + نیتروژن کود مصرفی) که از حاصل ضرب دو جزء کارایی جذب نیتروژن (NU_pE^2) و کارایی تبدیل نیتروژن (NU_tE^3) حاصل شده است (Moll, 1982). در این رابطه کونات و همکاران (Conant et al., 2013) بیان داشتند در سطح نظام‌های زراعی دنیا ۴۰ درصد از نیتروژن مصرف شده بازیافت یا جذب می‌شود. همچنین نتایج ارزیابی‌های تیلمن و همکاران (Tilman et al., 2002) نشان داد که افزایش مصرف کودهای نیتروژنی کارایی مصرف نیتروژن را از ۷۰ کیلوگرم گندم به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن در سال ۱۹۶۰ به ۲۲ کیلوگرم دانه به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن در سال ۲۰۰۱ کاهش داده است. نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2014) با بررسی روند تغییرات مصرف و بهره‌وری نیتروژن در نظام‌های تولید گندم در طی دوره‌ای ۴۰ ساله (۱۳۸۹-۱۳۵۰) اظهار داشتند، میانگین رشد سالانه مصرف کود نیتروژنی و عملکرد در بوم‌نظام‌های تولید گندم ایران در طی ۴ دهه به‌ترتیب ۹/۵ و ۳/۴ برابر شده است. ون سنفورد و مکون (Van Sanford & MacKown, 1986) در بررسی خود بر روی ۲۵ ژنوتیپ گندم زمستانه دریافتند که سهم نسبی کارایی جذب نیتروژن از کارایی مصرف نیتروژن ۵۴ درصد می‌باشد که تقریباً اهمیت یکسانی با سهم نسبی کارایی تبدیل نیتروژن یعنی ۴۶ درصد داشت. داگا و وینز (Dhugga & Waines, 1989) ۱۲ ژنوتیپ گندم نان و دو ژنوتیپ گندم دوروم را در سه سطح ۷۵، ۱۷۵ و ۲۷۵ کیلوگرم محتوی نیتروژن (خاک + کود) مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها بیان داشتند که با افزایش محتوی نیتروژن خاک سهم نسبی کارایی تبدیل به‌عنوان جزء غالب در کارایی مصرف نیتروژن افزایش می‌یابد. بر اساس مطالعه‌ای که در هند با استفاده از مدل QUEFTS انجام

۱- Nitrogen Use Efficiency

۲- Nitrogen Uptake Efficiency

۳- Nitrogen Utilization Efficiency

نظام‌های زراعی وجود دارند، ابتدا انتخاب مناسب‌ترین مدل که تطابق پذیری بهتری با شرایط اجراء را دارا بود، انجام شد. در این مطالعه از مدل CENTURY ver.4.6 (Parton & Rasmussen, 1994; Parton, 1996) به منظور شبیه‌سازی جریان نیتروژن در نظام‌های زراعی گندم استفاده شد. مدل قادر است با تلفیق اثر متغیرهای اقلیمی، خاک و مدیریت زراعی امکان شبیه‌سازی فرآیندهای چرخه نیتروژن (N) را در سیستم‌های مختلف از جمله بوم نظام‌های زراعی فراهم آورد (Parton et al., 1992). نتایج خروجی در این مدل در فاصله زمانی یک ماهه ارائه می‌شود و محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) در مدل تابعی از متوسط درجه حرارت حداقل و حداکثر ماهانه می‌باشد (Linacre, 1977). متغیرهای مکانی شامل: طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع، متغیرهای اقلیمی؛ متوسط درجه حداقل و حداکثر ماهانه، جمع بارندگی ماهانه، انحراف معیار درجه حرارت حداقل و حداکثر ماهانه متغیرهای گیاهی شامل؛ نوع محصول، شاخص برداشت، درجه حرارت بهینه رشد، درجه حرارت پایه، حداکثر عمق ریشه و ارتفاع، متغیرهای مدیریتی شامل؛ تاریخ کاشت، برداشت، نحوه آماده‌سازی بستر بذر، زمان، مقدار و نوع کود مصرفی، مقدار آب مصرفی، عمق آبیاری و مقدار بقایا از جمله مهم‌ترین متغیرهای ورودی این مدل است. در ادامه از خروجی‌های به‌دست آمده شامل عملکرد اقتصادی و بیولوژیک (g.m^{-2})، مقدار نیتروژن جذب شده (g.m^{-2})، مقدار کل نیتروژن معدنی خاک در عمق توسعه ریشه (g.m^{-2}) و مقدار نیتروژن خالص مصرف شده از طریق کود (g.m^{-2}) به منظور محاسبه شاخص‌های مورد مطالعه استفاده شد. جهت محاسبه مقدار نیتروژن معدنی خاک از روش رگرسیون خطی استفاده شد، بدین منظور، رابطه (SMN^1) با مقدار ماده آلی خاک (SOM^2) که از نتایج مطالعات تفصیلی و نیمه‌تفصیلی به‌دست آمده بود، مورد بررسی قرار گرفت.

اعتبار سنجی مدل

به منظور اعتبار سنجی مدل از داده‌های آزمایش‌های مزرعه چندین منطقه که بر اساس تولید در شرایط عملکرد پتانسیل مدیریت شده بودند، استفاده شد (جدول ۲).

گندم تحقیق حاضر با هدف، مطالعه ارزیابی کارایی مصرف نیتروژن و تعیین سهم نسبی اجزای تشکیل‌دهنده کارایی مصرف در نظام‌های تولید گندم آبی، ایران طراحی و اجراء شده است.

مواد و روش‌ها

خصوصیات اقلیمی مناطق مورد بررسی

در این مطالعه ابتدا ۱۴ منطقه انتخاب و اطلاعات مورد نیاز از نظام‌های تولیدی گندم آبی آن‌ها جمع‌آوری شد. مناطق مورد بررسی در این مطالعه شامل؛ آذربایجان شرقی (تبریز)، اصفهان (اصفهان)، البرز (کرج)، خراسان جنوبی (بیرجند)، خراسان رضوی (مشهد)، خوزستان (اهواز)، سمنان (شاهرود)، سیستان و بلوچستان (زابل)، فارس (شیراز)، کرمان (کرمان)، کرمانشاه (کرمانشاه)، گلستان (گرگان)، همدان (همدان) و اردبیل (پارس‌آباد مغان) بود. علاوه بر داده‌های جغرافیایی و مکانی مورد نیاز اطلاعات زراعی هر یک از مناطق مورد مطالعه شامل تناوب، تاریخ کاشت، برداشت، تراکم بوته، میانگین عملکرد، مقدار مصرف کود در هکتار، زمان و نحوه تقسیط کود، مقدار آب مصرفی، تاریخ آخرین آبیاری، زمان آماده‌سازی اولیه و ثانویه بستر کاشت و میزان بقایای محصول قبلی با تنظیم پرسشنامه از مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی و مصاحبه با کشاورزان پیشرو، جمع‌آوری شد. همچنین داده‌های اقلیمی بلند مدت ایستگاه‌های سینوپتیک و هواشناسی مورد نیاز از سازمان هواشناسی کشور و پژوهشکده اقلیم‌شناسی اخذ شده است. در این رابطه داده‌های اقلیمی ورودی به مدل شامل متوسط درجه حرارت بیشینه و کمینه ماهانه، انحراف معیار درجه حرارت حداقل و حداکثر ماهانه، جمع بارندگی ماهانه و انحراف معیار بارندگی ماهانه بود که به منظور بررسی دقیق‌تر، اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک در دامنه زمانی ۱۵ سال (۲۰۰۰-۲۰۱۴ میلادی) مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت (جدول ۱).

با توجه به تغییرات مکانی، داده‌های خاک‌شناسی مورد نیاز از مطالعات تفصیلی، نیمه‌تفصیلی و همچنین نقشه‌های خاک‌شناسی، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، تهیه شد (جدول ۱).

شبیه‌سازی پویایی نیتروژن

مدل‌های متفاوتی برای شبیه‌سازی پویایی نیتروژن در بوم-

۱ - Soil Mineral Nitrogen

۲ - Soil Organic Matter

جدول ۱- ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی مناطق مورد مطالعه

Table 1- Geographical and climate characteristics of the studied regions

منطقه Region	طول جغرافیایی Longitude (°E)	عرض جغرافیایی Latitude (°N)	بافت Texture	کربن آلی ^{††} (درصد) Organic carbon (%)	متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر) Annual mean Rainfall (mm)	متوسط درجه حرارت سالانه (درجه سانتی- گراد) Annual mean temperature (°C)	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (m)
اصفهان Esfahan	51° 40′	32° 37′	رسی لومی CL	0.41	145	17.02	1551
اهواز Ahvaz	48° 40′	31° 20′	رسی سیلتی SiC	0.45	192	26.59	22.6
بیرجند Birjand	59° 12′	32° 52′	لومی شنی SL	0.20	132	16.86	1491
پارس‌آباد parsabad	47° 55′	39° 39′	رسی لومی CL	0.6	286	15.53	31.9
تبریز Tabriz	46° 17′	38° 05′	لومی شنی SL	0.49	243	13.66	1361
زابل Zabol	61° 29′	31° 2′	لوم L	0.19	38	23.15	489
شاهرود Shahrod	54° 57′	36° 25′	لوم L	0.28	140	15.67	1349
شیراز Shiraz	52° 36′	29° 32′	لومی رسی سیلتی SiCL	0.65	298	18.46	1484
کرج Karaj	50° 54′	35° 55′	لوم L	0.54	267	15.63	1312
کرمانشاه Kermanshah	47° 9′	34° 21′	لومی رسی سیلتی SiCL	0.52	379	15.60	1318
کرمان Keman	56° 58′	30° 16′	لوم L	0.23	118	16.78	1764
گرگان Gorgan	54° 24′	36° 54′	لومی رسی سیلتی SiCL	0.80	515	18.11	0
مشهد Mashhad	59° 38′	36° 16′	لوم L	0.38	220	15.93	999
همدان Hamedan	48° 32′	34° 52′	لوم L	0.58	308	12.1	1741

† CL= لومی رسی ، SiC = رسی سیلتی ، SL= لومی شنی ، L = لوم ، SiCL = لومی رسی سیلتی
 CL= clay loam; =silty clay; SL= sandy loam; L=loam; SiCL= silty clay loam

درصد ماده آلی از حاصل ضرب درصد کربن آلی در ۱/۷۲ محاسبه شد.

Percentage of the organic matter was obtained by multiplying organic carbon percentage by 1.72. (Jimenez & Garcia, 1992)

جدول ۲- آزمایش‌های انتخاب شده برای تعیین اعتبار مدل

Table 2- Selected experiments for model validation

نوع داده Type of data	منطقه Region	طول جغرافیایی Longitude (°E)	عرض جغرافیایی Latitude (°N)	منبع Source
کاربرد کود نیتروژن Nitrogen application	شیراز Shiraz	52° 36'	29° 33'	Bahrani & sarvestani (2007)
کود نیتروژن N-Fertilizer	کرمان Kerman	57° 05'	30° 17'	Khaseh serjani et al. (2011)
کود نیتروژن N- Fertilizer	اهواز Ahvaz	48° 41'	31° 09'	Gerami et al. (2013)
کود نیتروژن N- Fertilizer	اهواز Ahvaz	40° 20'	32° 20'	Madhej et al (2009)
کود نیتروژن N- Fertilizer	اصفهان Esfahan	51° 23'	32° 32'	Pourazari et al. (2011)
کاربرد کود نیتروژن Nitrogen application	بیرجند Birjand	59° 13'	32° 56'	Farshid et al. (2012)
کاربرد کود نیتروژن Nitrogen application	کرچ Karaj	50° 54'	35° 55'	Shahabifar & Daryashenas (2004)
کود نیتروژن N- Fertilizer	مشهد Mashhad	59° 38'	36° 16'	Bakhshaie et al. (2014)
کود نیتروژن N- Fertilizer	شاهرود Sahroud	54° 57'	36° 30'	Taghipoor (2005)
کود نیتروژن N- Fertilizer	گرگان Gorgan	54° 30'	37° 45'	Hosseni (2011)
آبیاری و کود نیتروژن Irrigation and N- fertilizer	تبریز Tabriz	46° 17'	38° 05'	Anabi Melani (2007)

در معادله‌های (۱ و ۲) O_i و p_i به ترتیب مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی و \bar{O} میانگین مقادیر واقعی می‌باشد. nRMSE به صورت درصد اختلاف نسبی مقادیر پیش‌بینی شده در برابر مقادیر واقعی و شاخص d در دامنه (۰-۱) بیان می‌شود. نزدیک بودن این شاخص به عدد ۱ نشان‌دهنده اعتبار بیشتر مدل می‌باشد.

محاسبه کارایی جذب، تبدیل و آنالیز اجزای^۳ کارایی مصرف نیتروژن

کارایی جذب مقدار نیتروژن برداشت شده توسط گیاه به‌ازای هر واحد نیتروژن موجود در خاک (نیتروژن کود + نیتروژن معدنی) و کارایی تبدیل اقتصادی نیتروژن که در این تحقیق به اختصار کارایی تبدیل نیتروژن نامیده می‌شود، شامل مقدار دانه تولید شده به‌ازای هر واحد نیتروژن جذب شده توسط گیاه با استفاده از معادله‌های (۳ و ۴) به‌دست آمد (Weih et al., 2011).

در این پژوهش ارزیابی اعتبار مدل، با استفاده از سه شاخص جذر مجموع مربعات نرمال شده خطا (nRMSE^۱)، شاخص d یا تطابق^۲ و ضرایب رگرسیون خطی بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده انجام شد. شاخص nRMSE با استفاده از معادله (۱) (Yang et al., 2014).

$$nRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{n} \cdot \frac{100}{\bar{o}}} \quad \text{معادله (۱)}$$

و شاخص d با استفاده از معادله (۲) (Willmott, 1982) محاسبه شد.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\rho_i - o_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|\rho_i - \bar{\rho}| + |o_i - \bar{o}|)^2} \right] \quad \text{معادله (۲)}$$

۱- Normalized-root mean square error

۲- Index of agreement

۳- Component analysis

استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1.3 (Institute SAS, 2005) انجام شد.

نتایج و بحث

تعیین اعتبار مدل

با توجه به این که در آزمایش‌های مزرعه اطلاعات کافی برای اعتبارسنجی کارایی جذب، تبدیل و مصرف نیتروژن در سطح مناطق مورد بررسی وجود نداشت. از این رو، برای اعتبارسنجی این مطالعه از داده‌های آزمایش‌های مزرعه گندم در مناطق مورد مطالعه که به منظور به‌دست آوردن عملکرد پتانسیل مدیریت شده بودند استفاده شد (جدول ۲). نتایج تعیین اعتبار مدل برای عملکرد گندم در مناطق مورد مطالعه نشان داد که مدل برآورد مطلوبی در پیش‌بینی پتانسیل عملکرد را دارا می‌باشد. عملکرد مشاهده شده در مناطق مورد مطالعه در محدوده ۷-۳/۱۲ با میانگین ۵/۱ تن در هکتار و عملکرد شبیه-سازی شده در دامنه ۶/۴۷-۲/۴۴ با میانگین ۴/۶۲ تن در هکتار متغیر بود. مقادیر شاخص $nRMSE$ و d برای عملکرد دانه به ترتیب ۱۶/۱۱ درصد و ۰/۸۵ به‌دست آمد که مقادیر قابل‌قبولی می‌باشد. چنانچه مقدار جذر میانگین مربعات نرمال شده خطا در دامنه ۲۰-۱۰ درصد میانگین عملکرد مشاهده شده باشد، مدل برآورد مناسبی از مقادیر مشاهده شده دارد (Wallach & Goffinet, 1989). دیهیم فرد و همکاران (Deihimfard et al., 2015) برای اعتبارسنجی مدل APSIM و تخمین عملکرد گندم و تعیین خلاء عملکرد در استان خراسان از شاخص $nRMSE$ و d برای اعتبارسنجی مدل استفاده کردند. این پژوهشگران مقدار این دو شاخص را برای عملکرد بیولوژیک به ترتیب ۵/۱ درصد و ۰/۸۹ گزارش کردند. در مطالعه‌ای که برای پیش‌بینی تولید پتانسیل ذرت دانه‌ای در شمال شرق ایران انجام شد، مقدار جذر میانگین مربعات خطا و شاخص d توسط مدل CERES-CORN به ترتیب ۴/۴۱ درصد و ۰/۸۶ گزارش شده است (Sanjani et al., 2012). نتایج به‌دست آمده از رگرسیون خطی در این مطالعه نشان داد که مدل قادر به توصیف ۶۴ درصد از تغییرات مشاهده شده عملکرد دانه در مناطق مورد بررسی می‌باشد (شکل ۱).

کارایی نیتروژن

ارزیابی خروجی مدل برای مقادیر کارایی‌های نیتروژن در مناطق مورد مطالعه نشان داد، مقدار کارایی مصرف نیتروژن در دامنه ۳۸/۷۰-۹/۲۹ با میانگین ۲۸/۳۰ کیلوگرم دانه به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن فراهم متغیر بود.

$$NU_{pE} = \frac{N_u}{N_{s+f}} \quad \text{معادله (۳)}$$

$$NU_{tE} = \frac{G_w}{N_u} \quad \text{معادله (۴)}$$

در این معادلات NU_{pE} کارایی جذب نیتروژن ($g \ g^{-1}$) نیتروژن جذب شده توسط گیاه ($g \cdot m^{-2}$) و N_{s+f} نیتروژن مصرف شده ($g \cdot m^{-2}$) شامل جمع کل نیتروژن معدنی خاک + نیتروژن کودی، NU_{tE} کارایی تبدیل نیتروژن ($g \cdot g^{-1}$) و G_w وزن دانه تولید شده بر حسب ($g \cdot m^{-2}$) می‌باشند (Weih et al., 2011). کارایی مصرف اقتصادی نیتروژن که به اختصار کارایی مصرف نیتروژن ($g \cdot g^{-1}$) NUE نامیده می‌شود (معادله ۵) از حاصل ضرب معادله‌های ۳ و ۴ به‌دست آمد.

$$NUE = NU_{pE} \times NU_{tE} \quad \text{معادله (۵)}$$

NHI^1 شاخص برداشت نیتروژن (درصد) طبق معادله ۶ محاسبه شد (Foulkes et al., 2009).

$$NHI = \frac{G_n}{N_u} \times 100 \quad \text{معادله (۶)}$$

G_n : نیتروژن دانه ($g \cdot m^{-2}$) می‌باشد.

به‌منظور تعیین سهم نسبی هر یک از اجزای کارایی مصرف نیتروژن (کارایی جذب و تبدیل) از تجزیه آنالیز اجزای استفاده شد (Moll et al., 1982).

$$\log(NUE) = \log(NU_{pE}) + \log(NU_{tE}) \quad \text{معادله (۷)}$$

چنانچه $\log(NUE)$ ، $\log(NU_{pE})$ ، $\log(NU_{tE})$ به ترتیب Y ، X_1 ، X_2 باشد.

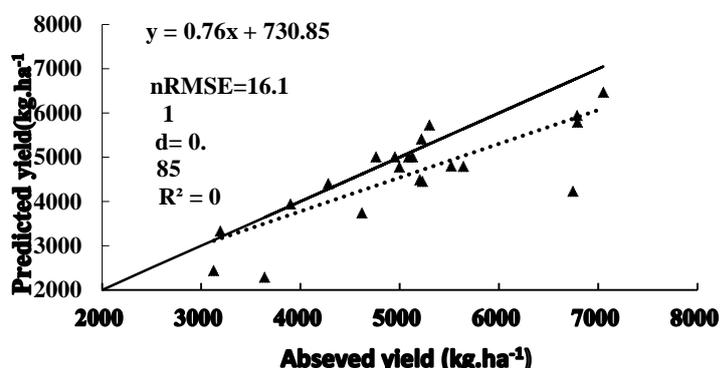
در این صورت سهم کارایی جذب در کارایی مصرف از معادله ۸ (Moll et al., 1982) به‌دست می‌آید.

$$\frac{\sum_{i=1}^2 x_i y}{\sum y^2} = (r_{y,x_i}) S_{x_i} / S_y \quad \text{معادله (۸)}$$

که در آن r_{yx_i} ضریب همبستگی x_i و y و S_{x_i} و S_y

به ترتیب انحراف معیار x_i و y می‌باشد و سهم کارایی تبدیل نیتروژن نیز به‌روش مشابهی برآورد می‌شود. در ادامه محاسبات مربوط به تعیین ضرایب همبستگی و برآزش معادلات رگرسیون با

^۱- Nitrogen Harvest Index

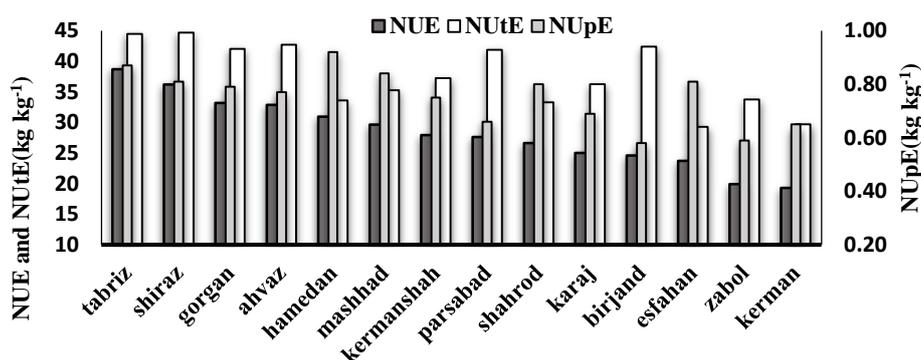


شکل ۱- مقایسه مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده عملکرد گندم در مناطق مورد مطالعه خط پیوسته و نقطه چین به‌ترتیب خط ۱:۱ و رگرسیون خطی می‌باشد (n=۲۱).

Fig. 1- Comparison of observed and simulated wheat grain yield in the studied regions Solid Line (1:1 line) and dotted line are fitted regression line, respectively (n=21).

جذب شده در مناطق مورد بررسی متغیر بود. بیشترین مقدار کارایی تبدیل نیتروژن در شیراز ۴/۶۶، تبریز ۴۴/۴۸ و اهواز ۴۲/۶۹ و کمترین آن در اصفهان ۲۹/۲۹ و کرمان ۲۹/۶۸ مشاهده شد. مقدار کارایی جذب نیتروژن در مناطق مورد مطالعه متفاوت بود. نتایج به‌دست آمده از خروجی مدل نشان داد که متوسط مقدار کارایی جذب در مناطق مورد ارزیابی ۰/۷۵ کیلوگرم نیتروژن جذب شده به‌ازای کیلوگرم نیتروژن مصرف شده بود (شکل ۲).

بر اساس نتایج به‌دست آمده بیشترین مقدار کارایی مصرف نیتروژن برحسب کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن فراهم، به- ترتیب در تبریز ۳۸/۷۰، شیراز ۳۶/۱۷ و گرگان ۳۳/۲۰ و در مقابل کمترین کارایی مصرف نیتروژن عمدتاً در مناطق جنوبی نظیر کرمان ۱۹/۲۹ و زابل ۱۹/۹۱ مشاهده شد (شکل ۲). همچنین نتایج به‌دست آمده نشان داد که مقدار کارایی تبدیل نیتروژن در دامنه ۴۴/۶۶-۲۹/۲۹ با میانگین ۳۷/۶۱ کیلوگرم دانه به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن



شکل ۲- مقادیر کارایی مصرف (NUE)، تبدیل (NuTE)، و جذب نیتروژن (NuPE) گندم در مناطق مورد مطالعه

Fig. 2- Amounts of Nitrogen use efficiency, Nitrogen utilization efficiency and Nitrogen uptake efficiency of wheat in studied regions

علاوه بر مدیریت زراعی بیش از هر چیز به شرایط اقلیمی و

اصولاً کشاورزی به‌عنوان یکی از مهمترین فعالیتهای اقتصادی

نیتروژنی در نظام‌های زراعی گندم آبی این مناطق بوده، بلکه حجم قابل توجه بارندگی‌ها در طی فصل رشد، پایین‌تر بودن میانگین درجه حرارت حداکثر و بیشتر بودن درصد ماده آلی خاک به‌عنوان یکی از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی تأثیرگذار خاک سبب شده است که شاخص کارایی مصرف نیتروژن در این مناطق بیشتر از سایر مناطق مورد مطالعه باشد. همچنین عواملی مانند بالاتر بودن متوسط مصرف کود نیتروژنی و همچنین کمتر بودن حجم بارندگی‌ها در طی فصل رشد و بالاتر بودن میانگین درجه حرارت حداکثر که کوتاه شدن فصل

خصوصیات فیزیکی خاک منطقه وابسته می‌باشد. در این رابطه علیجانی و همکاران (Alijani et al., 2011) بر مبنای داده‌های ترکیبی ۱۴ استان کشور به بررسی اثر درجه حرارت و بارندگی بر عملکرد گندم آبی پرداختند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که علاوه بر متغیرهای فیزیکی (نهاده‌های مصرفی) متغیر بارندگی اثر مثبت و درجه حرارت اثر منفی بر عملکرد گندم آبی داشته است. در تحقیق حاضر به‌نظر می‌رسد که بیشتر بودن شاخص کارایی مصرف نیتروژن در تبریز، شیراز و گرگان نه تنها ناشی از مدیریت مصرف کمتر کود

جدول ۳- نیتروژن ناشی از مصرف کود و سایر ویژگی‌های اقلیمی مناطق مورد مطالعه
Table 3- Nitrogen use of fertilizer and others climate characteristics of the studied regions

منطقه Location	نیتروژن کود مصرفی (گرم بر متر مربع) N of fertilizer (g.m ⁻²)	ماده آلی خاک (درصد) Soil organic matter (%)	متوسط بارندگی فصل رشد (میلی‌متر) Mean rainfall of growing season (mm)	متوسط درجه حرارت حداکثر سالانه (درجه سانتی‌گراد) Annual mean maximum temperature (°C)	متوسط درجه حرارت حداقل سالانه (درجه سانتی‌گراد) Annual mean minimum temperature (°C)
اصفهان Esfahan	12.88	0.70	144	24.36	9.67
اهواز Ahvaz	12.88	0.77	189	33.67	19.51
بیرجند Birjand	8.05	0.34	131	25.02	8.70
پارس‌آباد Parsabad	18.4	1.03	250	20.90	10.17
تبریز Tabriz	9.20	0.84	229	19.38	7.93
زابل Zabol	8.05	0.32	38	30.80	15.49
شاهرود Shahrod	11.50	0.48	131	21.24	10.10
شیراز Shiraz	11.73	1.11	296	26.46	10.45
کرج Karaj	16.10	0.92	257	21.91	9.41
کرمانشاه Kermanshah	13.80	0.89	374	23.92	7.29
کرمان Kerman	13.80	0.39	116	25.64	7.93
گرگان Gorgan	9.20	1.37	454	23.61	12.63
مشهد Mashhad	12.65	0.65	216	22.44	9.42
همدان Hamedan	11.50	0.99	301	20.00	4.19

به‌منظور بررسی اثر کود نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن ارقام گندم در شرایط اقلیمی گرگان انجام شد، با استفاده ۲۷۰،۱۸۰،۹۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار به‌ترتیب مقدار کارایی مصرف ۲۶/۲۶، ۲۰/۵۹، ۳۳/۶۴، ۱۷/۵۳ کارایی جذب ۰/۷۹، ۰/۶۴، ۰/۵۴ و کارایی تبدیل ۳۳/۶۴، ۳/۱۲، ۳۲/۷۹ کیلوگرم بر کیلوگرم گزارش شد (Hossen et al., 2013). نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahalati & Koocheki, 2014) در بررسی روند تغییرات مصرف و تبدیل نیتروژن در نظام‌های تولید گندم ایران نشان دادند، میانگین ۴۰ ساله (۱۳۸۹-۱۳۵۰) کارایی جذب نیتروژن در بوم‌نظام‌های گندم کشور ۳۵/۵ درصد بود. این محققین، میانگین کارایی تبدیل نیتروژن را ۴۰ کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن جذب شده گزارش نمودند که در طی دوره مطالعه روندی صعودی داشته است.

رشد را به‌همراه دارد و در نهایت کمتر بودن درصد ماده آلی خاک و اثر متقابل این متغیرها در کاهش شاخص کارایی مصرف نیتروژن مناطقی مانند کرمان و زابل مؤثر بوده است (جدول ۳). آینه‌بند و همکاران (Ayneband et al., 2011) تأثیر سطوح متفاوت ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار را در ارقام مختلف گندم مورد ارزیابی قرار دادند آن‌ها مقدار شاخص کارایی جذب، تبدیل و مصرف نیتروژن ارقام جدید و قدیم گندم در شرایط آب و هوایی اهواز را به ترتیب در دامنه ۰/۷۵ - ۰/۵۴، ۴۳ - ۳۰/۷ و ۳۲/۴ - ۱۶/۷ کیلوگرم بر کیلوگرم، گزارش نمودند. مدحج و همکاران (Mdhej et al., 2009) در مطالعه‌ای با مصرف ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار کارایی مصرف نیتروژن ژنوتیپ‌های گندم در شرایط بهینه اهواز را به‌ترتیب ۳۲، ۲۱ و ۱۸ کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن مصرف شده اعلام نمودند. در آزمایشی که

جدول ۴- ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرهای مختلف در مناطق تحت بررسی
Table 4- Pearson correlation coefficient between different variables in the studied regions

	1	2	3	4	5	6	7	8
۱- ماده آلی خاک (%) 1-Soil organic matter (%)		0.91**	0.93**	0.81**	0.50*	0.47	0.67**	0.50*
۲- بارندگی (میلی‌متر) 2-Precipitation (mm)			0.85**	0.75**	0.42	0.43	0.59*	0.48
۳- عملکرد (کیلوگرم در هکتار) 3-Yield (Kg.ha ⁻¹)				0.84**	0.52*	0.49	0.70**	0.60*
۴- عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) 4-Biological yield(kg.ha ⁻¹)					0.67**	-0.01	0.49	0.09
۵- کارایی جذب نیتروژن (کیلوگرم در کیلوگرم) 5-Nitrogen uptake efficiency (kg.kg ⁻¹)						0.03	0.69**	0.04
۶- کارایی تبدیل نیتروژن (کیلوگرم در کیلوگرم) 6-Nitrogen utilization efficiency (kg.kg ⁻¹)							0.73**	0.93**
۷- کارایی مصرف نیتروژن (کیلوگرم در کیلوگرم) 7-Nitrogen use efficiency (kg.kg ⁻¹)								0.68**
۸- شاخص برداشت نیتروژن (درصد) 8-Nitrogen harvest index (%)								1

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار بودن در سطح پنج و یک درصد می‌باشد.
* and ** are significantly at 0.05 and 0.01 percent, respectively.

دانه (r=0.93 p≤0.01) ، (r=0.85 p≤0.01) و با عملکرد بیولوژیک (r=0.81 p≤0.01) ، (r=0.75 p≤0.01) مثبت و معنی‌دار بود، همبستگی مثبت و معنی‌دار محتوی کربن آلی خاک و بارندگی با

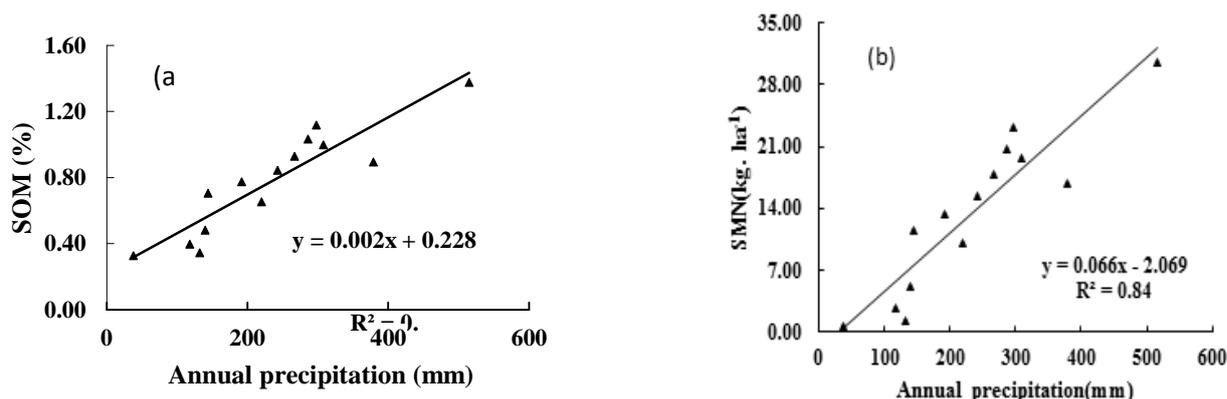
نتایج به‌دست آمده از رابطه ضرایب همبستگی پیرسون در مناطق تحت بررسی نشان داد رابطه مقدار ماده آلی خاک با میانگین ۰/۷۷ درصد و بارندگی سالیانه با میانگین ۲۳۴ میلی‌متر به‌ترتیب با عملکرد

افزایش کارایی تبدیل نیتروژن همراه نبود. همبستگی کارایی جذب نیتروژن با عملکرد دانه ($r=0.52$ $p\leq 0.05$) و عملکرد بیولوژیک ($r=0.67$ $p\leq 0.01$) مثبت و معنی‌دار بود، ولی این همبستگی برای کارایی تبدیل نیتروژن مشاهده نشد. چنین نتیجه توسط گاجیو و همکاران (Gaju et al., 2011) در فرانسه و انگلستان و نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahalati & Koocheki, 2014) برای بوم‌نظام‌های تولید گندم در ایران نیز گزارش شده است. همبستگی شاخص برداشت نیتروژن با عملکرد ($r=0.60$ $p\leq 0.05$)، کارایی تبدیل ($r=0.93$ $p\leq 0.01$) و کارایی مصرف نیتروژن ($r=0.68$ $p\leq 0.01$) مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۴). فولک و همکاران (Foulkes et al., 2009) اظهار داشتند در صورت فراهم بودن نیتروژن پتانسیل عملکرد با شاخص برداشت نیتروژن در گندم رابطه مثبت و معنی‌دار خواهد داشت.

نتایج حاصل از برازش رگرسیون خطی برای محتوی ماده آلی و نیتروژن معدنی خاک نشان داد ۸۴ درصد از تغییرات مشاهده شده این متغیرها توسط بارندگی سالیانه توجیه می‌شود ($R^2=0.84$). به عبارتی افزایش میانگین بارندگی سالیانه به افزایش محتوی نیتروژن معدنی و ماده آلی خاک در مناطق مورد مطالعه منتهی شده است (شکل ۳).

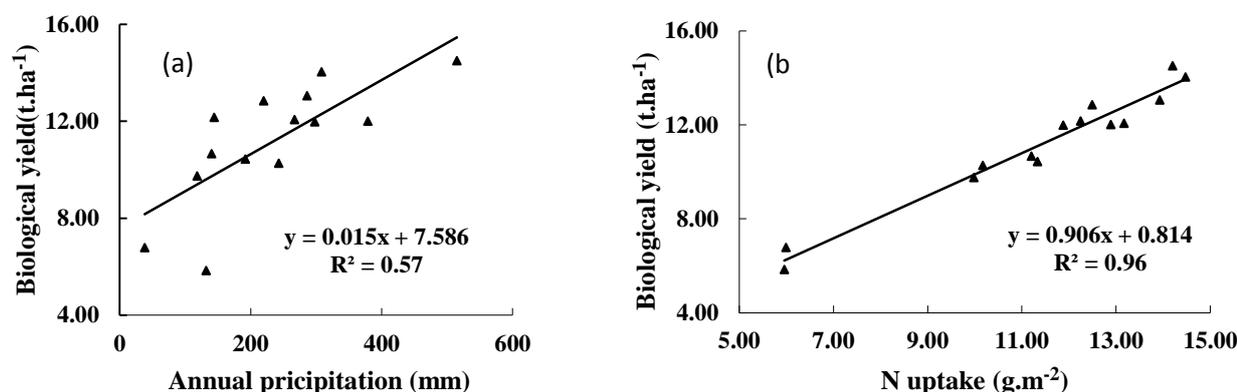
عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک گندم توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Sainju et al., 2009; Mikanová et al., 2012). همبستگی ماده آلی خاک و بارندگی سالیانه با کارایی مصرف نیتروژن به ترتیب مقادیر ($r=0.67$ $p\leq 0.01$) و ($r=0.59$ $p\leq 0.05$) را نشان داد که به نظر می‌رسد در شرایط محیطی که میزان رطوبت محدود باشد میزان بارندگی می‌تواند بر تغییرات مقدار کارایی مصرف نیتروژن مؤثر باشد در این رابطه سمنوف و همکاران (Semenov et al., 2007) بیان داشتند در شرایط محیطی با محدودیت رطوبت بیش از ۴۰ درصد، کارایی مصرف نیتروژن متأثر از شرایط آب و هوایی و میزان بارندگی است. همچنین نتایج نشان داد، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کارایی مصرف نیتروژن با کارایی تبدیل ($r=0.73$ $p\leq 0.01$) و جذب نیتروژن ($r=0.69$ $p\leq 0.01$) وجود دارد (جدول ۴). تحقیقات انجام شده توسط سایر محققین نیز، تأثیر مثبت دو جزء کارایی تبدیل و جذب را بر کارایی مصرف نیتروژن مورد تأیید قرار داده است (Moll et al., 1982; Paponov et al., 1996; Hirel and Lemaire, 2006; Semenov et al., 2007; Dawson et al., 2008).

همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کارایی جذب و تبدیل نیتروژن مشاهده نشد ($r=0.03$ $p\geq 0.05$) به عبارتی افزایش جذب نیتروژن با



شکل ۳- تغییرات مقدار ماده آلی (SOM) و محتوی نیتروژن معدنی خاک (SMN) به عنوان تابعی از بارندگی سالیانه در مناطق مورد مطالعه شیب خط رگرسیون بر حسب ماده آلی به ازای میلی متر بارندگی (a) و نیتروژن به ازای بارندگی (b) می‌باشد.

Fig. 3- Soil organic matter and soil mineral nitrogen content as a function of annual precipitation in studied regions Slope of the regression line is percent of SOM per mm precipitation (a) and SMN per precipitation (b).



شکل ۴- تغییرات مقدار عملکرد بیولوژیک گندم به عنوان تابعی از بارندگی سالیانه و نیتروژن جذب شده در مناطق مورد مطالعه شیب خط رگرسیون بر حسب عملکرد بیولوژیک به ازای بارندگی (a) و نیتروژن جذب شده (b) می‌باشد.

Fig. 4- Biological yield of wheat as a function of precipitation and nitrogen uptake in studied regions
Slope of the regression line is biological yield per mm precipitation (a) and biological yield per nitrogen uptake (b).

نوعی رابطه آلومتری بین نیتروژن جذب شده و تجمع ماده خشک وجود خواهد داشت (Greenwood et al., 1991).

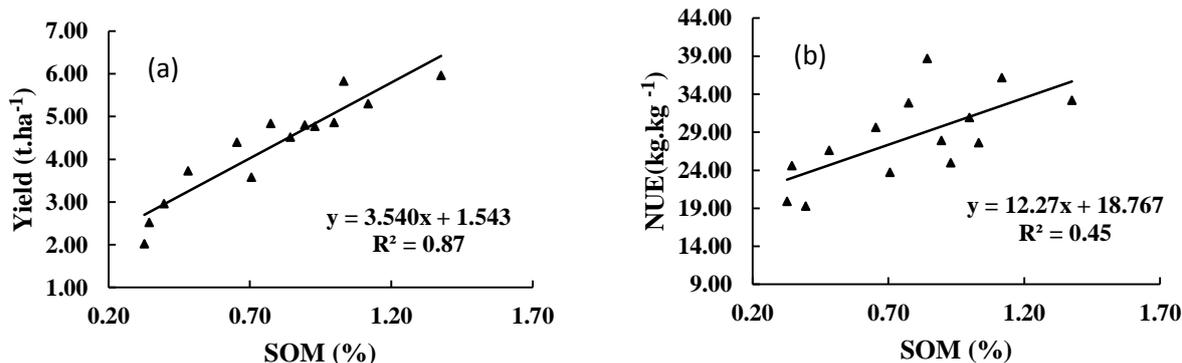
روند تغییرات کارایی مصرف نیتروژن و عملکرد در مقابل مقدار ماده آلی خاک نشان داد که افزایش مقدار ماده آلی با افزایش شاخص کارایی مصرف نیتروژن و عملکرد همراه است (شکل ۵). به‌طور کلی، خصوصیات کیفی خاک به‌طور مؤثری تحت تأثیر میزان ماده آلی خاک قرار دارند. ماده آلی خاک نه تنها بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مؤثر است، بلکه عملکرد محصول و پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی نظام‌های زراعی به‌صورت غیر مستقیم تحت تأثیر مقدار ماده آلی خاک قرار می‌گیرد (Oelofse et al., 2015). نتایج ارائه شده در شکل ۵ نشان می‌دهد که افزایش مقدار ماده آلی خاک در مناطق مورد بررسی با افزایش عملکرد و همچنین کارایی مصرف نیتروژن همراه بوده است. کمترین و بیشترین مقدار ماده آلی خاک (جدول ۱). با توجه به مقادیر درصد ماده آلی خاک عملکرد در بوم-نظام‌های تولیدی گندم بین ۲ الی ۶ تن در هکتار متغیر بود. شیب رگرسیون خطی برازش شده نشان داد که با افزایش یک درصد ماده آلی خاک مقدار عملکرد ۳/۵ تن در هکتار و مقدار کارایی مصرف نیتروژن به‌میزان ۱۲ کیلوگرم دانه به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن فراهم افزایش می‌یابد (شکل ۵). این انتظار وجود دارد که افزایش مقدار ماده آلی خاک با فرض مقادیر بالاتر از ۲ درصد احتمالاً نباید به‌صورت پیوسته منجر به افزایش کارایی مصرف نیتروژن شود. به‌طوری که در

بارندگی یکی از عوامل مؤثر بر تغییرات محتوی کربن آلی خاک محسوب می‌شود. نتایج بررسی‌های انجام شده توسط گابرون و همکاران (Gabarrón-Galeote et al., 2015) نشان داد در شرایط اقلیمی اسپانیا و طی یک دوره سی ساله (۱۹۷۱-۲۰۰۰ میلادی) همبستگی محتوی کربن آلی خاک با بارندگی سالیانه ($r=0/61$)، میانگین درجه حرارت ($r=0/39$) و تبخیر و تعرق پتانسیل ($r=0/47$) بوده است. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که افزایش بارندگی سالیانه در مناطق مورد مطالعه با افزایش عملکرد بیولوژیک همراه بود در این رابطه شیب خط برازش شده نشان داد که عملکرد بیولوژیک به‌میزان ۱۵ کیلوگرم به‌ازای هر میلی‌متر بارندگی افزایش یافته است. همچنین، بررسی مقادیر پیش‌بینی شده نیتروژن جذب شده و عملکرد بیولوژیک نشان داد که رابطه خطی بین عملکرد بیولوژیک و جذب نیتروژن وجود دارد به‌عبارتی ۹۶ درصد از تغییرات عملکرد بیولوژیک به‌وسیله میزان نیتروژن جذب شده پیش‌بینی می‌شود (شکل ۴).

به‌نظر می‌رسد افزایش بارندگی سالیانه به‌افزایش میزان نیتروژن فراهم خاک منتهی شده که به دنبال آن افزایش عملکرد ماده خشک را به‌همراه داشته است. همسو با این نتایج هیرل و لمایر (Hirel & Lemaire, 2006) نیز بیان داشتند که جذب نیتروژن توسط گیاه در طی مرحله رشد رویشی به‌طور مستقیم با فرآیند تجمع ماده خشک مرتبط می‌باشد. به‌عبارتی در شرایطی که نیتروژن فراهم شده و یا مورد تقاضا برای رشد مطلوب نزدیک به‌مقدار حداقل مورد نیاز باشد

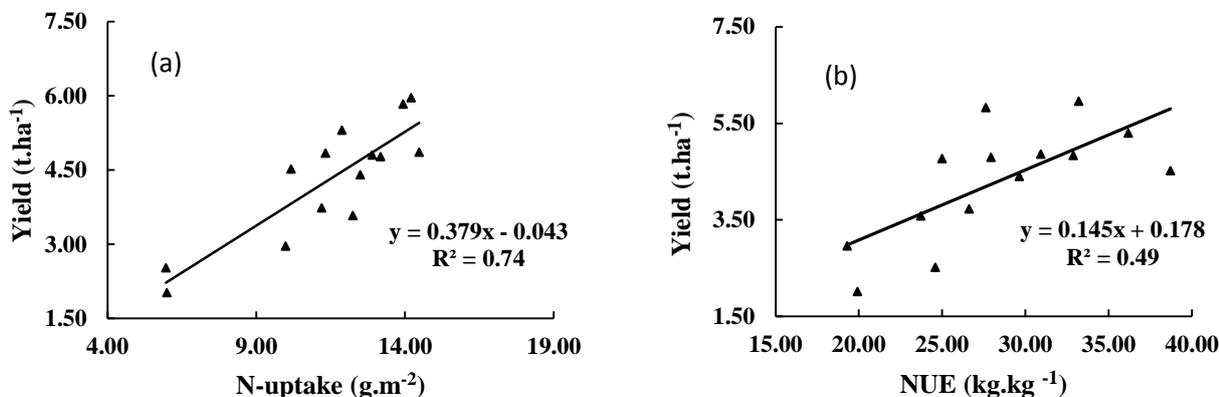
آرژانتین نشان داد که روند افزایشی بین مقدار کربن آلی با عملکرد و جود دارد (Lal, 2010).

(شکل b ۵) نشان داده شده است بیشترین مقادیر کارایی مصرف نیتروژن ۳۶-۳۸ کیلوگرم دانه به‌ازای هر کیلوگرم نیتروژن فراهم در مقادیر ۱/۱- ۰/۹ درصد ماده آلی خاک به‌دست آمده است. ارزیابی تأثیر تغییرات کربن بر عملکرد محصولات زراعی در روسیه، چین و



شیب خط رگرسیون بر حسب عملکرد (a) و کارایی مصرف نیتروژن (b) به‌ازای درصد ماده آلی خاک می‌باشد.

Fig. 5- Yield and NUE of wheat as a function of SOM in studied regions
Slope of the regression line is yield t.ha⁻¹ (a) and NUE kg.kg⁻¹ (b) per SOM percent.



شکل ۶- تغییرات عملکرد به‌عنوان تابعی از مقدار نیتروژن جذب شده و کارایی مصرف نیتروژن (NUE) در مناطق مورد مطالعه شیب خط رگرسیون بر حسب تن در هکتار عملکرد به‌ازای گرم بر متر مربع نیتروژن جذب شده (a) و کیلوگرم بر کیلوگرم کارایی مصرف نیتروژن (b) می‌باشد.

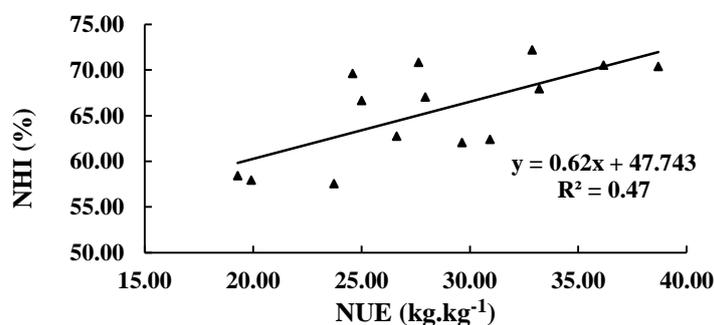
Fig. 6- Yield as a function of nitrogen uptake and NUE in studied regions
Slope of the regression line are yield t.ha⁻¹ (a) per g.m⁻² nitrogen uptake and yield t.ha⁻¹ per kg.kg⁻¹ NUE (b).

در هکتار معادل با جذب ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود، اما از طرفی تولید ۵ تن دانه در هکتار با جذب ۱۵۰-۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار همراه بود. به‌نظر می‌رسد واریانس مشاهده شده بین عملکرد و مقدار نیتروژن جذب شده می‌تواند ناشی از تغییرات اقلیمی بین

برازش رگرسیون خطی بین مقدار عملکرد دانه به‌عنوان تابعی از مقدار نیتروژن جذب شده (شکل ۶) نشان داد که ۷۴ درصد تغییرات مشاهده شده عملکرد توسط مقدار نیتروژن جذب شده توجیه می‌شود (R²=۰/۷۴). با وجود آن‌که در این بررسی رگرسیونی عملکرد ۳/۵ تن

شاخص برداشت نیتروژن (NHI) که در واقع نشان‌دهنده نسبت نیتروژن دانه به نیتروژن جذب شده می‌باشد به‌عنوان یک شاخص کیفی توجه دارد (Barraclough et al., 2010; Gastal et al., 2014). نتایج به‌دست آمده در این مطالعه نشان داد، رابطه خطی بین شاخص برداشت نیتروژن (NHI) و کارایی مصرف نیتروژن (NUE) وجود دارد ($R^2=0/47$) (شکل ۷). نتایج به‌دست آمده حاکی از آن بود که در مناطق مورد مطالعه مقدار شاخص برداشت نیتروژن از ۵۷/۵ تا ۷۲/۲ درصد متغیر بود. شیب خط برازش شده نشان داد که افزایش یک واحد کارایی مصرف نیتروژن برحسب کیلوگرم بر کیلوگرم با افزایش ۰/۶۲ درصد شاخص برداشت نیتروژن همراه می‌باشد. بنابراین به‌نظر می‌رسد ارقامی که از لحاظ مقدار پروتئین کیفیت بهتری داشته باشند اصولاً بایستی از کارایی مصرف نیتروژن بیشتری نیز برخوردار باشند. آبلدو و همکاران (Abeledo et al., 2008) با مقایسه ارقام جدید و قدیم جو (*Hordeum vulgare* L.) در شرایط اقلیمی آرژانتین نشان دادند که شاخص برداشت نیتروژن و کارایی مصرف نیتروژن در ارقام جدید جو بیشتر از ارقام قدیمی می‌باشد. مطالعه‌ای که توسط براسلوو همکاران (Barraclough et al., 2010) در ایستگاه رتامستد انگلستان انجام شد، نشان داد، تغییرات شاخص برداشت نیتروژن ۳۹ رقم گندم با مصرف ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در دامنه ۶۹ الی ۹۸ درصد متغیر بود.

مناطق مورد مطالعه باشد (شکل ۶a). نتایج پژوهش پاتاک و همکاران (Pathak et al., 2003) در شرایط اقلیمی هند نشان داد که بین تولید دانه گندم و جذب نیتروژن رابطه خطی وجود دارد ($R^2=0/61$) این پژوهشگران بیان داشتند تولید یک تن دانه گندم در شرایط متفاوت اقلیمی هند به جذب ۴۷-۱۵ کیلوگرم نیتروژن نیاز دارد. با وجودی که در این پژوهش افزایش مصرف کود با کاهش کارایی مصرف نیتروژن همراه بود ($Y=-0.194X+53.23$) ($R^2=0.47$). اما نتایج به‌دست آمده نشان داد که افزایش عملکرد در هکتار با افزایش کارایی مصرف نیتروژن همراه است ($R^2=0/49$) (شکل ۶b). به‌نظر می‌رسد که استفاده از ارقام اصلاح شده گندم با شاخص برداشت بالا که قابلیت مناسبی نیز در کارایی تبدیل نیتروژن را دارا باشند می‌تواند همبستگی مثبت بین کارایی مصرف نیتروژن و عملکرد را به‌همراه داشته باشد. روند تغییرات عملکرد در مقابل کارایی مصرف نیتروژن بیانگر آن است که افزایش یک واحد کارایی مصرف نیتروژن، افزایش ۱۴۵ کیلوگرم دانه را به‌همراه خواهد داشت. مطالعه ارزیابی روند تغییرات کارایی مصرف نیتروژن و عملکرد گندم در ایستگاه رتامستد انگلستان در دامنه زمانی ۱۰۰ ساله با استفاده از مدل Sirius نشان داد افزایش مصرف نیتروژن بین صفر تا ۲۳۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط مطلوب رطوبتی با افزایش عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن همراه بوده است (Semenov et al., 2007). بسیاری از پژوهش‌های انجام شده علاوه بر شاخص کارایی مصرف نیتروژن به



شکل ۷- تغییرات شاخص برداشت نیتروژن (NHI) گندم به عنوان تابعی از کارایی مصرف نیتروژن (NUE) در مناطق مورد مطالعه شیب خط رگرسیون بر حسب درصد شاخص برداشت نیتروژن به‌ازای کیلوگرم بر کیلوگرم کارایی مصرف نیتروژن می‌باشد.

Fig. 7- NHI of wheat as a function of NUE in studied regions Slope of the regression line is percent of NHI per kg.kg⁻¹ of NUE.

آنالیز اجزای کارایی مصرف نیتروژن

به‌منظور تعیین سهم نسبی هر یک از اجزای تشکیل‌دهنده کارایی مصرف در بوم‌نظام‌های گندم اقدام به آنالیز اجزای کارایی مصرف نیتروژن شد. نتایج آنالیز اجزاء در گروه (۱) شامل بیرجند، زابل، شاهرود، گرگان، شیراز، تبریز و همدان نشان داد با مصرف نیتروژن در دامنه ۸۰-۱۲۰ کیلوگرم در هکتار سهم نسبی کارایی جذب نیتروژن (NUpE) و تبدیل نیتروژن (NUE) به ترتیب ۰/۶۴ و ۰/۳۶ بود. همچنین در گروه (۲) شامل اهواز، اصفهان، کرمان، مشهد، کرمانشاه، کرج و پارس آباد مغان با دامنه مصرف ۱۶۰-۱۲۱ کیلوگرم نیتروژن در هکتار سهم نسبی کارایی جذب نیتروژن (NUpE) و تبدیل نیتروژن (NUE) به ترتیب ۰/۳۳ و ۰/۶۷ بود (جدول ۵). در این رابطه نتایج مطالعه نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahalati

& Koocheki, 2014) نشان داد طی چهار دهه گذشته مقدار کارایی جذب نیتروژن در بوم‌نظام‌های تولید گندم کشور نسبتاً پایین و در حدود ۳۵/۵ درصد بود. همچنین این پژوهشگران اظهار داشته‌اند که علی‌رغم بهبود کارایی تبدیل نیتروژن در طی چهار دهه گذشته، کارایی مصرف این نهاده روندی نزولی را به‌همراه داشته است. همچنین بررسی انجام شده برای ۱۲ ژنوتیپ گندم نان (*T. aestivum L.*) و دو ژنوتیپ گندم دوروم (*T. turjidum L.*) نشان داد سهم نسبی کارایی جذب و تبدیل نیتروژن برای سطوح مصرف ۷۵، ۱۷۵ و ۲۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به ترتیب ۰/۴۱-۰/۵۹، ۰/۷۳-۰/۲۷ و ۰/۸۹-۰/۱۱ بوده است (Dhugga & Waines, 1989).

جدول ۵- سهم هر یک از اجزای کارایی در مجذور مربعات کارایی مصرف نیتروژن (NUE) گندم در مناطق مورد مطالعه
Table 5- Contribution of the component traits to the sum of squares of NUE of wheat in the studied regions

اجزاء Component	Log	نیتروژن مصرفی (کیلوگرم در هکتار) N-Applied (kg.ha ⁻¹)	سهم اجزاء Fraction of components $\sum x_i y_i / \sum y_i^2$	r_{xy}	S_{xi}/S_y
کارایی مصرف نیتروژن NUE	y	-	-	-	-
کارایی جذب نیتروژن NUpE	x ₁	80-120	0.64	0.820	0.780
		121-160	0.33	0.685	0.482
کارایی تبدیل نیتروژن NUE	x ₂	80-120	0.36	0.616	0.584
		121-160	0.67	0.878	0.763

تأمین حاصل‌خیزی به‌شمار می‌رود، اما هزینه‌های اقتصادی مترتب بر مصرف و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف کودهای نیتروژنی نگرانی‌های را ایجاد کرده است. برخی بررسی‌ها نشان می‌دهد که بهبود کارایی مصرف نیتروژن نه تنها همراه با افزایش سود اقتصادی خواهد بود بلکه کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای به ازای هر کیلوگرم محصول تولید شده را نیز به‌همراه خواهد داشت (Gaju et al., 2011). نتایج به‌دست آمده از این مطالعه نشان داد که کارایی مصرف نیتروژن در بوم‌نظام‌های تولید گندم با محتوی ماده آلی بالاتر (بیشتر یا مساوی یک درصد) مانند شیراز و گرگان بیشتر از نظام‌های تولیدی گندم با محتوی کمتر ماده آلی خاک ($\leq 0.4\%$) مانند کرمان و زابل می‌باشد. البته به‌نظر می‌رسد، کمتر بودن درصد ماده آلی خاک از یک آستانه حداقل ($\leq 0.6\%$) همراه با اثر شرایط تنش خشکی سبب

بر اساس خروجی مدل در این مطالعه، متغیرهای مدیریت مصرف نیتروژن و سال سبب شد در آنالیز اجزاء، سهم نسبی کارایی تبدیل نیتروژن در مقایسه با کارایی جذب در بوم‌نظام‌های گندم گروه (۲) بیشتر باشد. به‌نظر می‌رسد با توجه به ضریب همبستگی شاخص برداشت نیتروژن و کارایی تبدیل ($r=0.93$ $p \leq 0.01$) کیفیت دانه تولیدی گروه (۲) در مقایسه با گروه (۱) بالاتر باشد. همچنین این انتظار وجود دارد که در شرایطی که سهم کارایی جذب بیشتر باشد، نقش مدیریت سیستم‌های زراعی و در صورتی که سهم کارایی تبدیل بیشتر باشد راهبرد اصلاح ژنوتیپ‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار باشد.

نتیجه‌گیری

هر چند استفاده از کودهای صنعتی نیتروژنی سریع‌ترین راه برای

یا عدم همزمانی استفاده از کود و تقاضای گیاه (Fageria & Baligar, 2005) و مصرف یکنواخت کود برای تمام موقعیت‌های مکانی مزرعه علی‌رغم تنوع فراهمی نیتروژن موجود در خاک (Hurley et al., 2004) و در نهایت کاربرد نیتروژن صرفاً بر اساس افزایش عملکرد (Sylvester-Bradley et al., 1990) اشاره کرد. در مقابل در آن دسته از بوم‌نظام‌های که کارایی تبدیل نیتروژن جزء غالب می‌باشد با توجه به ضریب بالای همبستگی شاخص برداشت نیتروژن و کارایی تبدیل ($r=0.93$ $p\leq 0.01$) اصلاح ژنوتیپ‌ها به‌منظور افزایش کیفیت دانه از جمله راهکارهای پیشنهاد شده برای بهبود کارایی مصرف نیتروژن می‌باشند.

می‌شود که عملکرد و مقدار کارایی مصرف نیتروژن در حداقل مقدار خود قرار داشته باشد که در این صورت به دلیل پایین بودن پتانسیل تولید در این گونه نظام‌ها امکان بهبود کارایی مصرف نیتروژن نیز با محدودیت مواجه خواهد بود. در مقابل در نظام‌های با محتوی ماده آلی بیشتر از یک آستانه حداقلی، امکان بهبود کارایی با ایجاد تغییر در اجزای کارایی مصرف نیتروژن وجود خواهد داشت. در این صورت، این انتظار وجود دارد که در نظام‌هایی که جزء غالب در کارایی مصرف نیتروژن کارایی جذب می‌باشد مدیریت زراعی نقش اساسی داشته باشد. در این رابطه از مهمترین عوامل مدیریتی که بر کاهش کارایی جذب نیتروژن در بوم‌نظام‌ها مؤثر می‌باشند می‌توان به تطابق ضعیف

منابع

- Abeledo, L.G., Calderini, D.F., and Slafer, G.A. 2008. Nitrogen economy in old and modern malting barleys. *Field Crops Research* 106: 171-178.
- Alijani, F., Karbasi, A., and Mozafari Mosen, M. 2011. Survey of the effects of climate change on yield of irrigated wheat in Iran. *Agricultural Economic and Development* 76:143-167.
- Annabi Milani, A., 2007. Interaction of irrigation regimes and nitrogen sources on grain yield and water use efficiency of wheat. *Journal of Agroecology* 2: 43-56. (In Persian with English Summary)
- Ayneband, A., Moezi, A., and Sabet, M. 2011. The comparison of nitrogen use efficiencies in old and modern wheat cultivars: Agroecological results. *American- Eurasian Journal Agricultural Environmental Science* 10: 574-586.
- Bahrani, A., and Tahmasebi Sarvestani, Z. 2007. Effect of rate and times of nitrogen application on accumulation and remobilization efficiency of flag leaf in two wheat cultivars. *Journal of Water and Soil Science* 11: 147-155. (In Persian with English Summary)
- Bakhshaie, S., Rezvani Moghaddam, P., and Goldani, M. 2014. The effects of nitroxin and nitrogen fertilizer on yield and yield components of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 12: 360-368. (In Persian with English summary)
- Barracough, P.B., Howarth, J.R., Jones, J., Lopez-Bellido, R., Parmar, S., Shepherd, C.E., and Hawkesford, M.J. 2010. Nitrogen efficiency of wheat: genotypic and environmental variation and prospects for improvement. *European Journal of Agronomy* 33: 1-11.
- Bruinsma, J. 2009. The resource outlook to 2050. Expert meeting on how to feed the world in 2050. FAO.
- Cassman, K.G., Dobermann, A., and Walters, D.T. 2002. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 31: 132-140.
- Conant, R.T., Berdanier, A.B., and Grace, P.R. 2013. Patterns and trends in nitrogen use and nitrogen recovery efficiency in world agriculture. *Global Biogeochemical Cycles* 27: 558-566.
- Dawson, J.C., Huggins, D.R., and Jones, S.S. 2008. Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agricultural systems. *Field Crops Research* 107: 89-101.
- Deihimfard, R., Mahallati, M.N., and Koocheki, A. 2015. Yield gap analysis in major wheat growing areas of Khorasan province, Iran, through crop modelling. *Field Crops Research* 184: 28-38.
- Delgado, J., and Shaffer, M. 2008. *Nitrogen Management Modeling Techniques: Assessing Cropping Systems/Landscape Combinations*. Elsevier Inc.

- Dhugga, K.S., and Waines, J. 1989. Analysis of nitrogen accumulation and use in bread and durum wheat. *Crop Science* 29: 1232-1239
- Fageria, N., and Baligar, V. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in agronomy* 88: 97-185.
- Farshid, R., Zamani, G., Behdani, M., and Sahrai, E. 2012. Effects of salinity and nitrogen application methods on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 10: 18-24. (In Persian with English Summary)
- FAOSTAT. 2013. Crop production Statistics. Food and Agriculture Organization Rome. Available online at: www.faostat.fao.org
- Foth, H.D., and Ellis, B.G. 1997. *Soil Fertility*. CRC Press, Inc. USA.
- Foulkes, M., Hawkesford, M., Barraclough, P., Holdsworth, M., Kerr, S., Kightley, S., and Shewry, P. 2009. Identifying traits to improve the nitrogen economy of wheat: recent advances and future prospects. *Field Crops Research* 114: 329-342.
- Gabarrón-Galeote, M.A., Trigalet, S., and van Wesemael, B. 2015. Soil organic carbon evolution after land abandonment along a precipitation gradient in southern Spain. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 199: 114-123.
- Gaju, O., Allard, V., Martre, P., Snape, J., Heumez, E., LeGouis, J., Moreau, D., Bogard, M., Griffiths, S., and Orford, S. 2011. Identification of traits to improve the nitrogen-use efficiency of wheat genotypes. *Field Crops Research* 123: 139-152.
- Gastal, F., Lemaire, G., Durand, J.L., and Louarn, G. 2014. Quantifying crop responses to nitrogen and avenues to improve nitrogen-use efficiency. *Crop Physiology—Applications for Genetic Improvement and Agronomy*, 2nd Edn. Academic, Elsevier, 161-206.
- Gerami, F., Aynehband, A., and Fateh, E. 2013. Effect of green manures and nitrogen fertilizer levels on early growth, yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science*. 23: 1-17. (In Persian with English Summary)
- Greenwood, D., Gastal, F., Lemaire, G., Draycott, A., Millard, P., and Neeteson, J. 1991. Growth rate and %N of field grown crops: theory and experiments. *Annals of Botany* 67: 181-190.
- Group, F.F.O.W. 2012. Current world fertilizer trends and outlook to 2016. Food and Agriculture Organisation, Rome. Available online at: <ftp://ftp.fao.org/ag/agp/docs/cwfto16>.
- Hurley, T.M., Malzer, G.L., and Kilian, B. 2004. Estimating site-specific nitrogen crop response functions. *Agronomy Journal* 96: 1331-1343
- Hirel, B., and Lemaire, G. 2006. From agronomy and ecophysiology to molecular genetics for improving nitrogen use efficiency in crops. *Journal of Crop Improvement* 15: 213-257.
- Hosseini, R., Galeshi, S., Soltani, A., and Kalateh, M. 2011. The effect of nitrogen on yield and yield component in modern and old wheat cultivars. *Electronic Journal of Crop Production*. 4:187-200. (In Persian with English Summary)
- 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 Crop Research* 11: 300-306. (In Persian with in English Summary)
- Jiménez, E.I., and García, V.P. 1992. Relationships between organic carbon and total organic matter in municipal solid wastes and city refuse composts. *Bioresource Technology* 41: 265-272.
- Khasseh Serjani, A., Farahbakhsh, H., Ravari, S.Z., Pasandipoor, N., and Karami, A. 2011. Evaluation the effect of biological, zinc sulphate and nitrogen fertilizer on quantitative and qualitative characteristics of wheat yield. *Iranian Journal of Soil Research* 25: 125-135. (In Persian with English Summary)
- Lal, R. 2010. Beyond Copenhagen: mitigating climate change and achieving food security through soil carbon sequestration. *Food Security* 2: 169-177.
- Linacre, E.T. 1977. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone.

- Agricultural Meteorology 18: 409-424.
- Mdhej, A., Naderi, A., Imam, Y., Aynehband, A., and Normohamadi, G. 2009. Effect of different nitrogen level on grain yield, grain protein content and agronomic nitrogen use efficiency in wheat genotypes under optimum and post-anthesis heat stress conditions. *Seed and Plant Production Journal* 25: 353-371. (In Persian with English Summary)
- Mikanová, O., Šimon, T., Javůrek, M., and Vach, M. 2012. Relationships between winter wheat yields and soil carbon under various tillage systems. *Plant, Soil and Environment* 58: 540-544.
- Moll, R., Kamprath, E., and Jackson, W. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal* 74: 562-564.
- Nassiri Mahalati, M., and Koocheki, A. 2014. Trend analysis of nitrogen use and productivity in cereal production system of Iran. *Journal of Agroecology* 6: 1-25. (In Persian with in English Summary)
- Oelofse, M., Markussen, B., Knudsen, L., Schelde, K., Olesen, J.E., Jensen, L.S., and Bruun, S. 2015. Do soil organic carbon levels affect potential yields and nitrogen use efficiency? An analysis of winter wheat and spring barley field trials. *European Journal of Agronomy* 66: 62-73.
- Paponov, I., Aufhammer, W., Kaul, H.P., and Ehmele, F.P. 1996. Nitrogen efficiency components of winter cereals. *European Journal of Agronomy* 5: 115-124.
- Parton, W. 1996. The CENTURY model. Evaluation of soil organic matter models. Springer p. 283-291.
- Parton, W., McKeown, R., Kirchner, V., and Ojima, D. 1992. Users guide for the CENTURY model.
- Parton, W.J., and Rasmussen, P., 1994. Long-term effects of crop management in wheat-fallow: II. CENTURY model simulations. *Soil Science Society of America Journal* 58: 530-536.
- Pathak, H., Aggarwal, P., Roetter, R., Kalra, N., Bandyopadhyaya, S., Prasad, S., and Van Keulen, H. 2003. Modelling the quantitative evaluation of soil nutrient supply, nutrient use efficiency, and fertilizer requirements of wheat in India. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 65: 105-113.
- Pourazari, F., Ehsanzade, P., and Jahanbin, S. 2011. Response of hulled tetraploid wheats to nitrogen deficit stress in comparison to macaroni wheat. *Iranian Journal of Field Crop Science* 42: 285-294. (In Persian with English Summary)
- Sainju, U.M., Lenssen, A.W., Caesar-TonThat, T., and Evans, R.G. 2009. Dryland crop yields and soil organic matter as influenced by long-term tillage and cropping sequence. *Agronomy Journal* 101: 243-251.
- Sanjani, S., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2012. Quantifying yield potential and yield gap for corn (*Zea mays* L.) in the Northeast Iran. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 22: 1692-1700.
- SAS, 2002. Procedures Guide. SAS Institute, Cary, NC.
- Semenov, M.A., Jamieson, P.D., and Martre, P. 2007. Deconvoluting nitrogen use efficiency in wheat: a simulation study. *European Journal of Agronomy* 26: 83-294.
- Shaffer, M.J., Ma, L., and Hansen, S. 2010. Modeling Carbon and Nitrogen Dynamics for Soil Management. CRC PressUSA. 651.
- Shahabifar, M., and Daryashenas, A. 2004. Increase of N use efficiency in wheat fertigation method by optimum split N at growth stage. Agricultural Research, Education and Extension Organization. Soil and Water Research Institute. 44674. (In Persian with English Summary)
- Statistical Year Book. 2013. Department of Agricultural Statistics. Jihad-e-Agriculture Ministry. 167pp. (In Persian)
- Sylvester-Bradley, R., Stokes, D., Scott, R., and Willington, V. 1990. A physiological analysis of the diminishing responses of winter wheat to applied nitrogen. 2. Evidence. *Aspects of Applied Biology* 25: 289-300.
- Taghipoor, F. 2005. The effect of nitrogen sources on the yield and quality of wheat. Agricultural Research Education and Extension Organization 84-955. (In Persian with English Summary)
- Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., and Polasky, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671-677.
- Van Sanford, D., and MacKown, C. 1986. Variation in nitrogen use efficiency among soft red winter wheat genotypes.

Theoretical and Applied Genetics 72: 158-163.

Wallach, D., and Goffinet, B. 1989. Mean squared error of prediction as a criterion for evaluating and comparing system models. *Ecological Modelling* 44: 299-306.

Weih, M., Asplund, L., and Bergkvist, G. 2011. Assessment of nutrient use in annual and perennial crops: A functional concept for analyzing nitrogen use efficiency. *Plant and Soil* 339: 513-520.

Willmott, C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society* 63: 1309-1313.

Yang, J., Yang, J., Liu, S., and Hoogenboom, G. 2014. An evaluation of the statistical methods for testing the performance of crop models with observed data. *Agricultural Systems* 127: 81-89.



Evaluation of Nitrogen Use Efficiency in Wheat (*Triticum aestivum* L.) eat Cropping Systems of Iran

H.R.Tavakkoli Kakhki¹, M. Nassiri Mahallati^{2*}, A. Koocheki², M.Jahan³ and A. Beheshti⁴

Submitted: 13-03-2016

Accepted: 03-08-2016

Tavakoli Kakhki, H.R., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Jahan, M. and Beheshti, A. 2018. Evaluation of nitrogen use efficiency in wheat cropping systems of Iran. Journal of Agroecology. 10(3):

Introduction

Nitrogen fertilizers, plays an essential role in crop production and additionally its application has environmental drawbacks. So, nitrogen dynamics between cropping systems and environment is one of the most important agronomic management practices. Improving nitrogen use efficiency (NUE) is an important target in wheat cropping systems, it increases profitability through greater yields and reduction of the greenhouse gas emissions associated with the production and it could be reduce environmental hazards. There are many definitions related to NUE in the context of crop production and as well as in the literature review. One of the fundamental definition related to Moll et al (1982). According to Moll et al. (1982) definitions' NUE as grain dry matter yield per unit of nitrogen available from the soil and fertilizer and divided it into two components 1- Nitrogen-uptake efficiency that is crop nitrogen uptake to nitrogen available and 2- Nitrogen-utilization efficiency which is grain dry matter yield to crop nitrogen uptake. Wheat is one of the most extend cultivated crops in the world. It is estimated in Iran, about 2.3 million ha of wheat cropping systems are under irrigated cultivation. The specific objectives of the present study were to 1- investigation and analysis nitrogen use efficiency variations and its components in wheat cropping systems by using simulation model.2-Determine how nitrogen use efficiency and its components (component analysis) is affected by nitrogen fertilizer levels.

Materials and Methods

We used CENTURY model to evaluate nitrogen use efficiency in wheat cropping systems. For this purpose 14 wheat cropping system from different locations were selected. Soil data was collected from Soil and Water Research Institute and weather data from 2000 to 2014 were obtained from Iran Meteorological Organization for 14 selected stations. The CENTURY model simulates the long-term dynamics of Carbon (C), Nitrogen (N), for different Plant-Soil Systems. The model can simulate the dynamics of agricultural crop systems. The crop systems have different plant production submodels which are linked to a common soil organic matter submodel. The soil organic matter submodel simulates the flow of C, N through plant litter and the different inorganic and organic pools in the soil. CENTURY model runs in monthly time step with calculating monthly precipitation (cm), monthly mean of minimum and maximum temperature (c°), site latitude and longitude, sand, silt and clay (%), soil bulk density (g/cm³), rooting depth (cm), C and N content of the top 20 cm of soil and management information such as planting date, first and last month of wheat growth, number and amounts of fertilization, amount of irrigation water and its schedules are required. For model validation we used three statistical measures including Normalized Root Mean Squared Error (nRMSE), Willmott (1982) index or (d index) and linear regression coefficients between actual values and predicted values.

Results and Discussion

Results, revealed that average nitrogen use efficiency in wheat cropping systems of Iran was 28.3 kg grain per kg of nitrogen applied. The highest and lowest mean nitrogen use efficiency were 36.02 and 21.26 kg grain per kg N that observed respectively in (Tabriz, Shiraz, Gorgan) and (Kerman, Zabol, Birjand). Regression of nitrogen use efficiency vs. yield showed that with increasing nitrogen use efficiency, yield is raised (b=0.14 kg

۱- Instructor Research of Crop and Horticultural Science Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran.

2 and 3- Professor and Associated Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.

4- Associate Research of Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center.

(*- Corresponding Author Email: mnassiri@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.54239

kg⁻¹). Separation of nitrogen use efficiency to its components indicated that on range of value (80-120 kg ha⁻¹) use of nitrogen, relative contribution of nitrogen uptake and utilization efficiency separately were 64 and 36 percent. When use of nitrogen fertilizer was increased up to value (121-160 kg ha⁻¹) relative contribution of nitrogen uptake and nitrogen utilization was changed to 33 and 67 percent, respectively.

Conclusion

It seems that, when in cropping system nitrogen uptake will be dominant, agronomic management practice and in versus, if nitrogen utilization efficiency will be more important choice of superior cultivars are emphasizes the improvement of nitrogen use efficiency.

Keywords: components analysis efficiency, correlation, utilization efficiency, uptake efficiency, simulation

تأثیر اندازه و عمق جایگذاری بقایای گیاهی بر دینامیک کربن و نیتروژن آلی

وحیده صفی^۱، احمد گلچین^۲ و سعید شفیعی^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۲۲

صفی، و، گلچین، ا. و شفیعی، س. ۱۳۹۷. تأثیر اندازه و عمق جایگذاری بقایای گیاهی بر دینامیک کربن و نیتروژن آلی. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳): ۷۱۹-۷۳۲.

چکیده

به منظور بررسی تأثیر اندازه و عمق جایگذاری بقایای گیاهی بر دینامیک کربن و نیتروژن آلی، آزمایشی به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در سه تکرار و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه روی بقایای گندم (*Triticum aestivum* L.) به روش کیف کلش اجرا گردید. فاکتورهای مورد بررسی شامل مدت زمان خوابانیدن بقایای گیاهی در چهار سطح (۱، ۲، ۳ و ۴ ماه)، عمق جایگذاری بقایای گیاهی در چهار سطح (۵، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر) و اندازه بقایای گیاهی در سه سطح (۰/۲ تا ۰/۵، ۱ تا ۲ و ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر) بودند که به ترتیب در کرت‌های اصلی، فرعی و فرعی-فرعی قرار داده شدند. پس از سپری شدن فواصل زمانی خوابانیدن، کیف‌های کلش از خاک خارج و پس از اندازه‌گیری وزن بقایای گیاهی باقی‌مانده در آن‌ها میزان کربن آلی نیتروژن کل بقایا اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار هدر رفت کربن و نیتروژن آلی چهار ماه پس از خوابانیدن، زمانی که بقایای گیاهی گندم با اندازه ۰/۲ تا ۰/۵ سانتی‌متری در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک جایگذاری شدند اتفاق افتاد. در مقابل کمترین مقدار هدر رفت کربن و نیتروژن آلی یک ماه پس از خوابانیدن، زمانی که بقایای گیاهی گندم با اندازه ۵ تا ۱۰ سانتی‌متری در عمق پنج سانتی‌متری خاک جایگذاری شدند صورت پذیرفت. در این آزمایش ۴۹/۷۳ تا ۵۴/۰۷ درصد از کربن آلی و ۳۴/۴۸ تا ۳۹/۷۸ درصد از نیتروژن آلی بقایای گندم در یک دوره چهار ماهه وقتی بقایای گیاهی گندم به ترتیب در عمق ۵ و ۳۰ سانتی‌متری خاک جایگذاری شدند تلف گردید. از نتایج چنین استنباط می‌شود زمانی که کمبود رطوبت خاک عامل محدودکننده برای تجزیه بقایای گیاهی است، افزایش عمق جایگذاری بقایا با قرار دادن بقایا در لایه مرطوب خاک باعث افزایش سرعت معدنی شدن کربن و نیتروژن آلی می‌شود. همچنین خرد کردن بقایای گیاهی با افزایش سطح ویژه و سطح تماس بقایا با خاک، باعث افزایش سرعت تجزیه بقایا می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بقایای گیاهی گندم، سرعت تجزیه بقایای گیاهی، مدت زمان خوابانیدن

مقدمه

سلولزی، چربی، موم و لیگنین به‌کندی تجزیه می‌شوند. لیگنین مقاوم‌ترین ماده موجود در ماده آلی که تجزیه آن به‌کندی صورت می‌گیرد. پروتئین‌ها به اسیدهای آمینه و اسیدهای آمینه به گاز دی-اکسیدکربن و نیتروژن معدنی تجزیه شده و سرعت این فعل و انفعالات، به نسبت کربن به نیتروژن بستگی دارد (Berg & MacClougherty, 2008). کربن فراوان‌ترین عنصر موجود در مواد آلی است که در صورت فقدان فرآیند تجزیه، معدنی نشده و عملاً چرخه کربن در خاک متوقف می‌گردد. از سوی دیگر، فزونی بیش از حد سرعت تجزیه باعث افزایش تولید دی‌اکسیدکربن در هوا و افزایش دمای کره زمین و آبشویی مواد معدنی خاک می‌شود. نیتروژن آلی خاک پس از معدنی شدن به‌صورت یون‌های آمونیوم و

ماده آلی خاک شامل زیست‌توده و ترشحات میکروبی، بقایای گیاهی و جانوری تازه، نیمه‌تجزیه شده و کاملاً پوسیده بوده که طی قرن‌ها در خاک تجمع نموده است. وقتی بقایای گیاهی به خاک اضافه می‌شوند، با اولین حمله موجودات ساپروفیت، قندها، نشاسته و ترکیبات پروتئینی به‌سرعت تجزیه می‌شوند، در حالی که ترکیبات

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان و استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت

*- نویسنده مسئول: (Email: saeid55@gmail.com)
DOI: 10.22067/jag.v10i3.56880

نیترا در می‌آید تا برای گیاهان قابل جذب باشد (Tate, 2000). مواد آلی نقش اساسی در تأمین مواد معدنی و انرژی مورد نیاز گیاهان و موجودات خاک دارد و با کلاته کردن عناصر غذایی، آن‌ها را به شکل قابل جذب گیاه در خاک نگه می‌دارد، مواد آلی خاکدانه‌سازی و توسعه ریشه را افزایش داده و نفوذپذیری خاک و راندمان آب مصرفی را افزایش می‌دهد (Blume et al., 2015). به‌همین دلیل در چند دهه اخیر در اکوسیستم‌های کشاورزی مواد آلی مورد توجه زیاد قرار گرفته و پژوهش‌های بسیاری در راستای ذخیره کردن آن در خاک و چگونگی مدیریت آن در جهان انجام شده است (Puget & Drinkwater, 2001). اما متأسفانه در ایران کاربرد وسیع کودهای شیمیایی برای دستیابی به عملکرد بالاتر باعث شده است که فقر خاک‌ها از لحاظ مواد آلی که ناشی از وجود آب و هوای خشک و نیمه‌خشک در بسیاری از نقاط است نادیده گرفته شود و جایگاه مواد آلی تا حدودی ناشناخته باقی بماند. سرعت تجزیه کربن و نیتروژن آلی به ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، ویژگی بقایای گیاهی مانند اندازه و کیفیت آن‌ها (مقدار نیتروژن و نسبت C/N) و همچنین به عوامل محیطی مانند دما، رطوبت، تابش خورشید، بارندگی و اکسیژن قابل دسترس برای مصرف جامعه میکروبی بستگی دارد (Angers & Recous, 1997; Berg et al., 2000; Guntinas et al., 2012; Zibilske & Bradford, 2007). سرعت تجزیه ماده آلی در دمای نزدیک به صفر درجه سانتی‌گراد خیلی پایین است، اما با افزایش دما، ثابت سرعت تجزیه ماده آلی به شدت افزایش می‌یابد، چون فعالیت جامعه میکروبی با افزایش دما (دمای بهینه ۳۰ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد) افزایش می‌یابد، اما رابطه فعالیت جامعه میکروبی و درجه حرارت بسته به‌گونه میکروبی متفاوت است (Berg & McClaugherty, 2003). مواد آلی در شرایط بی‌هوازی به‌طور ناقص و با سرعت خیلی کمتر در مقایسه با شرایط هوازی تجزیه می‌گردد (Oades, 1993). وقتی که خاک از آب اشباع و خلل و فرج بزرگ نیز از آب پر می‌شوند، تجزیه مواد آلی به‌دلیل سرعت کم انتشار اکسیژن به محل فعالیت موجودات خاک، محدود می‌گردد. جامعه میکروبی خاک برای تجزیه بقایای گیاهی نیاز به اکسیژن و مواد غذایی دارند و میزان اکسیژن در عمق‌های مختلف خاک متفاوت است (Kisselle et al., 2001). به‌همین دلیل جایگذاری بقایا در اعماق مختلف خاک می‌تواند بر دینامیک آن‌ها مؤثر باشد، با تغییر اندازه بقایای گیاهی سطح تماس آن‌ها با خاک

تغییر کرده که این امر نیز می‌تواند بر سرعت تجزیه آن‌ها تأثیرگذار باشد. بنابراین با تغییر اندازه بقایای گیاهی و تنظیم عمق جایگذاری آن‌ها در خاک می‌توان دینامیک و سرعت تجزیه بقایای گیاهی را کنترل نمود. مطالعات نشان می‌دهد که بقایای گیاهی که با خاک مخلوط می‌شوند نسبت به بقایایی که در سطح خاک قرار می‌گیرند سریع‌تر تجزیه می‌شوند (Guntinas et al., 2012). طرفدار و همکاران (Tarafdar et al., 2001) گزارش کردند که فعالیت دهیدروژناز می‌تواند به‌عنوان یک شاخص برای فعالیت میکروبی و میزان زیست‌توده میکروبی در نظر گرفته شود در آزمایش آن‌ها این شاخص تحت تأثیر اندازه کلس گندم (*Triticum aestivum* L.) و اختلاط آن با خاک قرار گرفت و بالاترین میزان فعالیت میکروبی یا حداکثر میزان تولید دی‌اکسید کربن، پس از مخلوط کردن کلس با خاک، ابتدا در کلس پودر شده و بعد در کلس با اندازه ۰/۹ سانتی-متری مشاهده شد و با افزایش اندازه کلس گندم سرعت تجزیه آن کاهش یافت. به‌طور کلی ۲۱ درصد تغییر در فعالیت دهیدروژناز به-دلیل تغییر در اندازه کلس بود و برای تجزیه سریع کلس گندم لازم بود که طول آن از یک سانتی‌متر تجاوز نکند (Tarafdar et al., 2001). با این حال بقایای گیاهی خیلی ریز نیز با مواد معدنی پوشیده شده و از تجزیه میکروبی در امان می‌ماند. زمانی که جایگذاری سطحی بقایا به‌دلیل خشک شدن سریع خاک سطحی و نبودن رطوبت کافی سرعت تجزیه را محدود می‌کند جایگذاری خیلی عمیق بقایا نیز با محدود کردن تهویه از سرعت تجزیه می‌کاهد. به‌همین دلیل تأثیر عمق جایگذاری بقایا و اندازه آن‌ها بر سرعت معدنی شدن کربن آلی کاملاً مشخص نیست و لازم است تحقیقات بیشتری در این زمینه انجام شود (Li et al., 2013; Tarafdar, 2001). به‌همین دلیل هدف این تحقیق بررسی تأثیر عمق جایگذاری و اندازه بقایا بر دینامیک کربن و نیتروژن آلی در شرایط آب و هوای سرد و خشک بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش در استان زنجان، شهرستان زنجان و در مزرعه دانشگاه زنجان در عرض شمالی ۳۶/۴۱ درجه، طول شرقی ۴۸/۲۹ درجه و ارتفاع ۱۶۶۳ متر از سطح دریا و در شرایط آب و هوایی سرد و خشک به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و به‌روش کیف‌کلس^۱ اجرا گردید. مدت زمان

خوابانیدن بقایا در چهار سطح (۱، ۲، ۳ و ۴ ماه) در کرت اصلی، عمق جایگذاری بقایا در چهار سطح (۵، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر) در کرت فرعی و اندازه بقایا در سه سطح (۰/۲ تا ۰/۵، ۱ تا ۲ و ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر به ترتیب ریز، متوسط و بزرگ) در کرت فرعی - قرار داده شدند و نتایج تجزیه بقایای گیاهی در جدول ۱ گزارش شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی بقایای گندم

Table 2- Chemical characteristics of the Wheat residues

نسبت کربن به نیتروژن C/N	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)
52.83	0.84	44.38

نمونه‌برداری و تجزیه خاک:

هدایت سنج (Rhoades, 1996)، نیتروژن کل خاک پس از هضم با سولفات پتاسیم، پودر سلنیوم، اسید سولفوریک و آب اکسیژنه به روش کج‌دال (AOAC, method 978.04) و میزان کربن آلی به روش واکلی و بلاک با استفاده از بی‌کرومات پتاسیم در مجاورت اسید سولفوریک غلیظ اندازه‌گیری شد (Nelson & Sommer, 1982). نتایج تجزیه خاک در جدول ۲ نشان داده شده است.

برای انجام این تحقیق از عمق صفر تا ۴۵ سانتی‌متری خاک محل آزمایش یک نمونه مرکب تهیه و به‌منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. بافت خاک به روش هیدرومتر (Gee & Bauder, 1986)، pH خاک در گل اشباع به کمک دستگاه pH متر (Thomas, 1996)، هدایت الکتریکی در گل اشباع به کمک دستگاه

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1- Selected physical and chemical characteristics of the studied soil

شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	بافت	نیتروژن کل (درصد)	کربن آلی (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	واکنش
Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture	Total nitrogen (%)	Organic carbon (%)	EC (dS.m ⁻¹)	pH
46	24	33	Clay loam	0.11	1.12	0.76	7.90

تهیه کیف‌های کلش

۲۰ گرم بقایای گیاهی با اندازه‌های مختلف (۰/۲ تا ۰/۵، ۱ تا ۲ و ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر) در داخل کیسه‌های توری (به ابعاد ۱۵×۲۰ سانتی‌متر و قطر منافذ ۰/۵ میلی‌متر) ریخته شده و سپس در اعماق مختلف خاک (۵، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ سانتی‌متر) در اول تیرماه دفن شدند. خاک‌های حاوی کیف‌های کلش به کمک سیستم آبیاری قطره‌ای و در فواصل زمانی مشخص آبیاری شدند.

زمان نمونه‌برداری و نحوه آماده‌سازی بقایای گیاهی

کیف‌های کلش دفن شده در خاک در فواصل زمانی مختلف (۱، ۲، ۳ و ۴ ماه) از خاک خارج و به آزمایشگاه منتقل گردید. وزن بقایای گیاهی باقی‌مانده داخل کیف‌های کلش پس از خشک شدن در آون

نمونه‌برداری و تجزیه بقایای گیاهی

بقایای گیاهی گندم (شامل ساقه و برگ) بعد از انتقال به آزمایشگاه در اندازه‌های مختلف (۰/۲ تا ۰/۵، ۱ تا ۲ و ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر) خرد و در آون با دمای ۶۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. مقداری از این بقایا برای تعیین ویژگی‌های شیمیایی آسیاب و کربن آلی در این نمونه به‌روش اکسیداسیون تر (Nelson & Sommer, 1982) و نیتروژن کل بقایای گیاه یونجه (*Medicago sativa* L.) پس از هضم با اسید سولفوریک، اسید سالیسیلیک و آب اکسیژنه به‌روش کج‌دال اندازه‌گیری شد (AOAC, method 978.04).

نیتروژن آلی داشت (جدول ۳). نتایج نشان داد که با گذشت زمان میزان هدررفت کربن و نیتروژن آلی افزایش یافت به طوری که یک ماه پس از خوابانیدن بقایا مقدار هدررفت کربن و نیتروژن آلی به ترتیب به میزان ۳۷/۴۵ و ۳۱/۸۷ درصد و چهار ماه پس از خوابانیدن بقایا مقدار هدررفت کربن و نیتروژن آلی به ترتیب به میزان ۶۱/۱۱ و ۴۰/۳۵ درصد اندازه‌گیری گردید (شکل‌های ۱ و ۲) همچنین نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بازه زمانی خوابانیدن بقایا تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر میزان ثابت سرعت تجزیه کربن و نیتروژن آلی داشت (جدول تجزیه واریانس گزارش نشده است). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار ثابت سرعت تجزیه کربن و نیتروژن آلی به ترتیب به میزان ۰/۰۱۵۷ و ۰/۰۱۱ (روز^{-۱}) برای اولین ماه خوابانیدن و کمترین مقدار ثابت سرعت تجزیه کربن و نیتروژن آلی به ترتیب به میزان ۰/۰۰۰۹ و ۰/۰۰۱ (روز^{-۱}) برای آخرین ماه خوابانیدن اندازه‌گیری شد (شکل‌های ۳ و ۴).

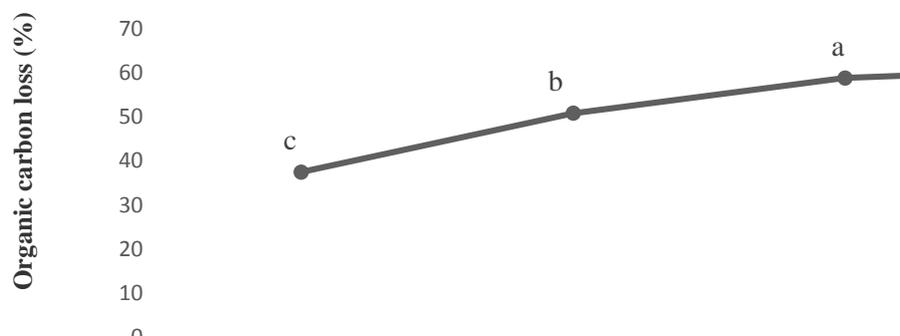
فرآیند تجزیه مواد آلی در طی گذشت زمان بر میزان آزادسازی عناصر غذایی از مواد آلی و در نتیجه دسترسی گیاهان به عناصر غذایی موجود در خاک تأثیر گذار است. آگاهی از فرآیند زمانی تجزیه مواد آلی و هماهنگ‌سازی زمان انتشار مواد غذایی از بقایا با زمان نیاز گیاه بسیار مهم است. چون با هماهنگ‌سازی آزادسازی، زمان آزادسازی عناصر غذایی را با زمان نیاز گیاه هم‌زمان کنیم و در نتیجه از هدررفت مواد غذایی قابل جذب در اثر شستشو، رواناب و فرسایش جلوگیری می‌شود (Berg & McClaugherty, 2003).

(دمای ۶۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد) اندازه‌گیری و بقایا جهت تجزیه‌های بعدی آسیاب شدند (Austin & Vivanco, 2006). در بقایای گیاهی باقی‌مانده کربن آلی در این نمونه به روش اکسیداسیون تر (Nelson & Sommer, 1982) و نیتروژن پس از هضم با اسید سولفوریک، اسید سالیسیلیک و آب اکسیژنه به روش کج‌لدال اندازه‌گیری شد (AOAC, method 978.04). مقدار هدررفت کربن و نیتروژن آلی در هر ماه از کسر مقدار کربن و نیتروژن باقی‌مانده در کیف‌های کلس در آن ماه از مقدار کربن و نیتروژن باقی‌مانده در کیف‌های کلس در ماه ماقبل آن محاسبه گردید و از جمع هدررفت کربن و نیتروژن آلی هر ماه با ماه قبل مقدار هدررفت تجمعی در طی گذشت زمان محاسبه گردید. ثابت سرعت تجزیه با استفاده از معادله $M_t = M_0 e^{-kt}$ که در این معادله t زمان، K ثابت سرعت تجزیه، M_0 وزن بقایای گیاهی بر (گرم) در زمان صفر و M_t وزن بقایای گیاهی (گرم) در سیکل‌های زمانی می‌باشد (Olson, 1963; Song et al., 2011). داده‌های حاصل از آزمایش به کمک نرم‌افزار SAS ۹,۱ تجزیه و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

تأثیر مدت زمان خوابانیدن بر میزان هدررفت کربن و نیتروژن آلی و ثابت سرعت تجزیه آن‌ها

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که مدت زمان خوابانیدن بقایا تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر هدررفت کربن و



شکل ۱- اثر مدت زمان خوابانیدن بر میزان هدررفت کربن آلی

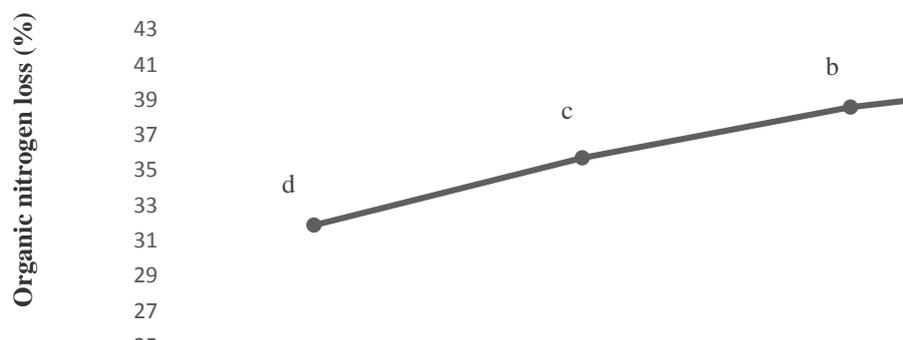
Fig. 1- Effects of incubation periods of plant residues on organic carbon loss

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر مدت زمان خوابانیدن و عمق جایگذاری و اندازه بقایای گندم بر دینامیک کربن و نیتروژن آلی
 Table 3- Analysis of variance (Mean of Squares) showing the effects of incubation periods, depth of placement and size of wheat residues on dynamics of organic carbon and nitrogen

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	هدررفت کربن آلی (درصد) Organic carbon loss (%)	هدررفت نیتروژن آلی (درصد) Organic nitrogen loss (%)	ثابت سرعت تجزیه کربن آلی Organic carbon decomposition rate constant (Day ⁻¹)	ثابت سرعت تجزیه نیتروژن آلی Organic nitrogen decomposition rate constant (Day ⁻¹)
مدت زمان خوابانیدن Incubation periods (IP)	3	4104.9**	494.168**	0.00040150**	0.00040797**
اشتباه اصلی Main error	8	42.7	6.561	0.00000594	0.00000039
عمق جایگذاری Placement depth (PD)	3	116.2**	180.761**	0.00001402**	0.00001453**
عمق جایگذاری × مدت زمان خوابانیدن PD × IP	9	20.6 ^{ns}	3.076 ^{ns}	0.00000256 ^{ns}	0.00000163 ^{ns}
اشتباه فرعی Sub error	24	25.9	17.568	0.00000298	0.00000149
اندازه بقایا Size of residues (SR)	2	167.4**	107.662*	0.00002385**	0.00000902*
مدت زمان خوابانیدن × اندازه بقایا IP × SR	6	18.2 ^{ns}	14.6597 ^{ns}	0.00000340 ^{ns}	0.00000209 ^{ns}
عمق جایگذاری × اندازه بقایا PD × SR	6	13.1 ^{ns}	14.530 ^{ns}	0.00000197 ^{ns}	0.00000149 ^{ns}
مدت زمان خوابانیدن × عمق جایگذاری × اندازه بقایا IP × PD × SR	18	20.9 ^{ns}	4.294 ^{ns}	0.00000295 ^{ns}	0.00000067 ^{ns}
اشتباه فرعی - فرعی Sub-Sub error	64	13.0	24.799	0.00000207	0.00000285
ضریب تغییرات C.V (%)		6.92	13.59	12.62	24.80

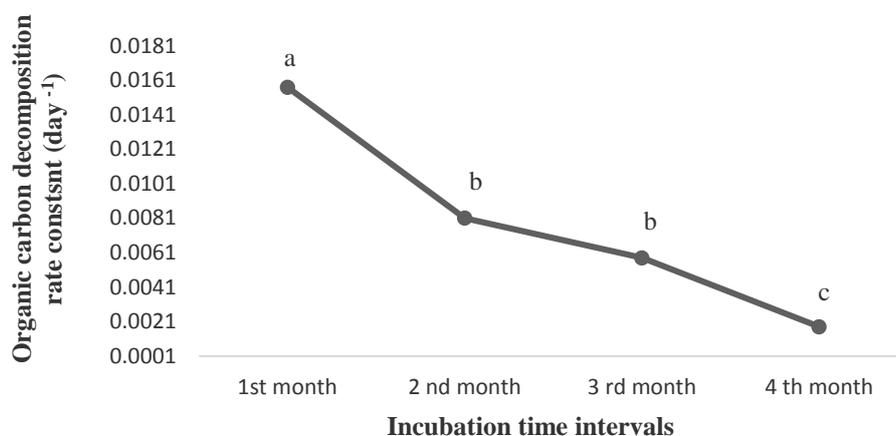
** و * : به ترتیب معنی داری در سطح یک، پنج درصد و ns: غیرمعنی دار

**and * : Significant at 1% and 5% levels of probability, respectively, ns: none significant



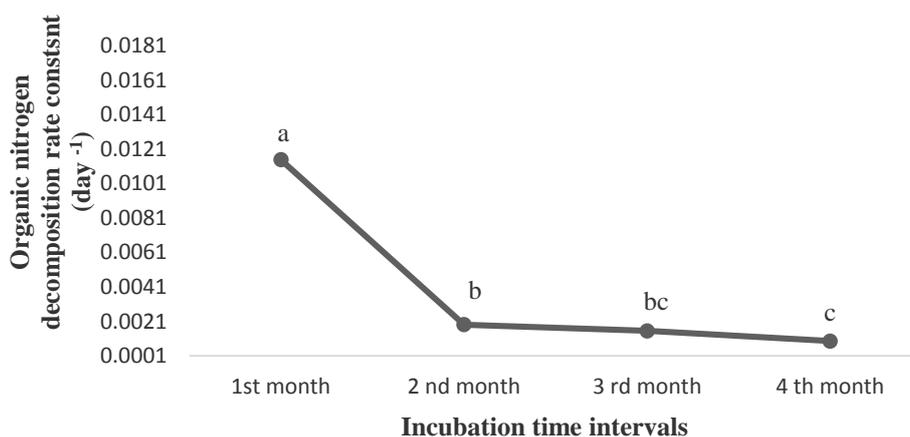
شکل ۲- اثر مدت زمان خوابانیدن بر میزان هدررفت نیتروژن آلی

Fig. 2- Effects of incubation periods of plant residues on organic nitrogen loss



شکل ۳- تأثیر بازه‌های زمانی خوابانیدن بر میزان ثابت سرعت تجزیه کربن آلی

Fig. 3- Effects of incubation time intervals on organic carbon decomposition rate constant



شکل ۴- تأثیر بازه‌های زمانی خوابانیدن بر میزان ثابت سرعت تجزیه نیتروژن آلی

Fig. 4- Effects of incubation time intervals on organic nitrogen decomposition rate constant

ماند. در مرحله سوم سرعت تجزیه بقایا نزدیک به صفر است و کاهش وزن تجمعی بقایا به حد نهایی خود می‌رسد (Fog, 1988) که با یافته‌های ما مطابقت داشت.

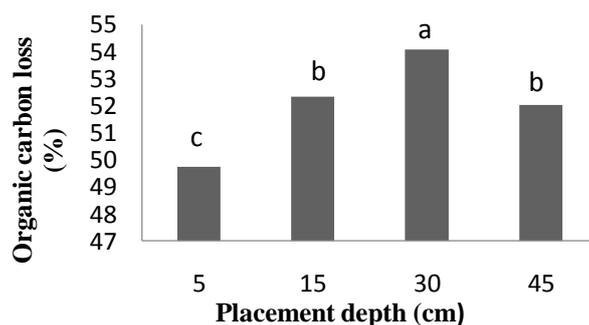
تأثیر عمق جایگذاری بقایای گیاهی بر میزان هدررفت کربن و نیتروژن آلی و ثابت سرعت تجزیه آن‌ها

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که عمق جایگذاری بقایای گندم تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر میزان هدررفت کربن و نیتروژن آلی و ثابت سرعت تجزیه آن‌ها داشت (جدول ۳). با افزایش عمق جایگذاری بقایا (تا عمق ۳۰ سانتی‌متری) میزان هدررفت کربن و نیتروژن آلی افزایش یافت به طوری که بیشترین

محققین گزارش کردند در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک در فصولی از سال (فروردین تا آبان) که دمای مناسب برای تجزیه بقایای گیاهی وجود دارد رطوبت خاک که متأثر از بارندگی است تعیین کننده سرعت تجزیه بقایای گیاهی بوده و بیشترین هدررفت و ثابت سرعت تجزیه کربن در ماه‌های فروردین و اردیبهشت بود (Shafiei et al., 2016). تجزیه بقایای گیاهی شامل سه مرحله است در مرحله اول که سرعت آن زیاد است مواد محلول در آب، سلولز و همی سلولزهای پوشیده نشده با لیگنین تجزیه می‌شوند و در این مرحله وزن بقایای گیاهی حدود ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. در مرحله دوم، تخریب لیگنین سرعت تجزیه بقایا را کنترل می‌کند و در نهایت، در مرحله تولید شبه هوموس (مرحله سوم) سطح لیگنین تقریباً ثابت می‌-

تجزیه بقایا در لایه‌های سطحی نسبت به لایه زیرین خاک باشد. هدررفت کمتر کربن و نیتروژن آلی در عمق ۴۵ سانتی‌متری نسبت به عمق ۳۰ سانتی‌متری می‌تواند به دلیل کمبود تهویه باشد. بررسی اثر عمق بر معدنی شدن کربن و نیتروژن آلی در شرایط آب و هوایی مدیترانه‌ای نشان داد که جایگذاری عمیق بقایا (عمق ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متری) نسبت به جایگذاری سطحی بقایا (عمق ۵ سانتی‌متری) سرعت تجزیه و معدنی شدن کربن و نیتروژن آلی را به دلیل تأمین رطوبت، افزایش داد (Rovira & Vallejo, 1997) که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد. بعضی از محققان نیز اختلاف معنی‌داری در سرعت معدنی شدن کربن آلی بقایای گیاهی که با خاک مخلوط شده بودند و همان بقایا که در سطح خاک قرار داشتند مشاهده نگردید (Abiven & Recous, 2007).

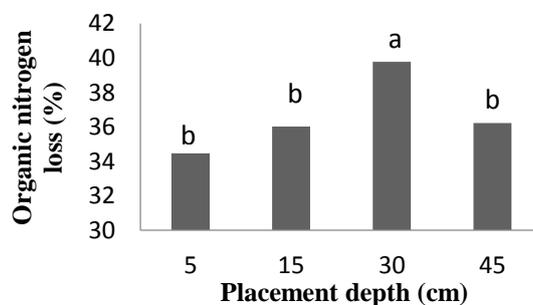
مقدار میانگین این پارامترها (به ترتیب به میزان ۵۴/۱ و ۳۹/۸ درصد) در عمق ۳۰ سانتی‌متری و کمترین مقدار آن‌ها (به ترتیب ۴۹/۷ و ۳۴/۵ درصد) در عمق پنج سانتی‌متری خاک مشاهده شد (شکل‌های ۵ و ۶). همچنین مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار ثابت سرعت تجزیه کربن و نیتروژن آلی به ترتیب به میزان ۰/۰۱۲ و ۰/۰۰۷۶ (روز^{-۱}) در عمق ۳۰ سانتی‌متری و کمترین مقدار ثابت سرعت تجزیه کربن و نیتروژن آلی به ترتیب به میزان ۰/۰۱۰۵ و ۰/۰۰۶۱ (روز^{-۱}) در عمق ۵ سانتی‌متری خاک اندازه‌گیری شد (شکل‌های ۷ و ۸). که علت آن را می‌توان وجود شرایط مطلوب برای تجزیه بقایای گیاهی (رطوبت، دما و تهویه) در این عمق دانست. تابش مستقیم آفتاب منجر به کاهش میزان رطوبت خاک، در لایه‌های سطحی (عمق ۵ و ۱۵ سانتی‌متری) نسبت به لایه زیرین (عمق ۳۰ سانتی‌متری) می‌شود که می‌تواند دلیل احتمالی سرعت کمتر



شکل ۵- اثر عمق جایگذاری بقایا بر میزان هدررفت کربن آلی

Fig. 5- Effect of residues placement depth on organic carbon loss

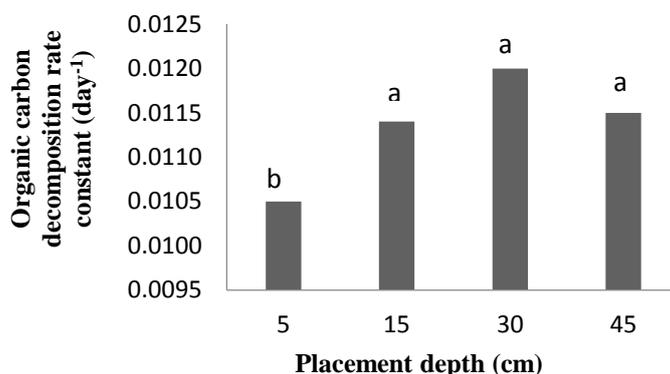
میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح پنج درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند. Means with the same letter are not significantly different at 5% level of probability based on Duncans test.



شکل ۶- اثر عمق جایگذاری بقایا بر میزان هدررفت نیتروژن آلی

Fig. 6- Effects of residues placement depth on organic nitrogen loss

میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح پنج درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند. Means with the same letter are not significantly different at 5% level of probability based on Duncans test.

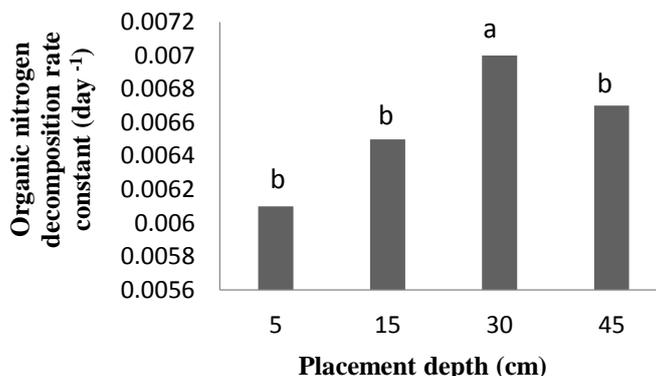


شکل ۷- اثر عمق جایگذاری بقایا بر میزان ثابت سرعت تجزیه کربن آلی

Fig. 7- Effects of residues placement depth on organic carbon decomposition rate constant

میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح پنج درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with the same letter are not significantly different at 5% level of probability based on Duncans test.



شکل ۸- اثر عمق جایگذاری بقایا بر میزان ثابت سرعت تجزیه نیتروژن آلی

Fig. 8- Effects of residues placement depth on organic nitrogen decomposition rate constant

میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح پنج درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with the same letter are not significantly different at 5% level of probability based on Duncans test.

ریز، متوسط و بزرگ به ترتیب ۵۴/۱، ۵۱/۴ و ۵۰/۶ - ۳۸/۱، ۳۶/۷ و ۳۵/۱ درصد بود (شکل‌های ۹ و ۱۰). همچنین مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار ثابت سرعت تجزیه کربن و نیتروژن آلی به ترتیب به میزان ۰/۰۱۲۱ و ۰/۰۰۷۲ (روز^{-۱}) در اندازه ریز و کمترین مقدار ثابت سرعت تجزیه کربن و نیتروژن آلی به ترتیب به میزان ۰/۰۱۰۷ و ۰/۰۰۶۴ (روز^{-۱}) در اندازه بزرگ مشاهده شد (شکل‌های ۱۱ و ۱۲). طرفدار و همکاران (Tarafdar et al., 2001) بیان کردند که با کاهش اندازه بقایا، تماس خاک با بقایا زیاد شده و تعداد ذرات بقایا در واحد حجم خاک افزایش می‌یابد که این امر منجر به توزیع بهتر مکان‌های تجزیه در خاک و دسترسی بیشتر جامعه میکروبی به بقایا می‌شود که در نهایت، تجزیه بیشتر بقایای گیاهی را به همراه دارد

در مقابل بعضی از محققان گزارش کردند که سرعت معدنی شدن کربن آلی دو نوع بقایای گیاهی سویا (*Glycine max* L.) و ذرت (*Zea mays* L.) که در سطح خاک قرار داشتند نسبت به همان نوع بقایای گیاهی که با خاک مخلوط شده بودند به‌خاطر دسترسی جامعه میکروبی به اکسیژن زیادتر، بیشتر بود (Li et al., 2013).

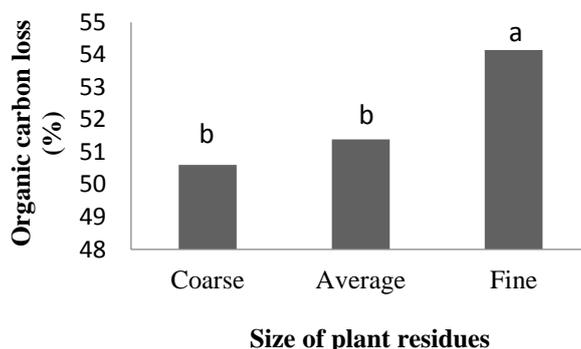
تأثیر اندازه بقایای گیاهی بر میزان هدررفت کربن و نیتروژن آلی و ثابت سرعت تجزیه

اندازه بقایای گیاهی تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر میزان هدررفت کربن و نیتروژن آلی و ثابت سرعت تجزیه آن‌ها داشت (جدول ۳). مقدار هدررفت کربن و نیتروژن آلی برای اندازه‌های

۰/۲۵ میلی‌متر نسبت به اندازه‌های دیگر کمتر بود که دلیل آن را تثبیت بقایای گیاهی با کلوئیدهای خاک بیان کردند (Sims et al., 1970).

اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه عمق جایگذاری، اندازه بقایا و مدت زمان خوابانیدن بر میزان هدررفت کربن و نیتروژن آلی و ثابت سرعت تجزیه آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۳).

(Tarafdar et al., 2001). نتایج پژوهش دیگری نیز نشان داد که در کوتاه مدت سرعت تجزیه بقایا در ذرات کوچک‌تر (۰/۰۲ سانتی‌متری) نسبت به ذرات بزرگ‌تر (۵ سانتی‌متری) بیشتر بود، اما در دراز مدت (۳۰۱ روز) تفاوتی بین سرعت تجزیه بقایای با اندازه مختلف مشاهده نگردید (Iqbal et al., 2011). محققان نشان دادند که در خاک شنی، تولید گاز دی‌اکسیدکربن با کاهش اندازه‌ی بقایای گیاهی افزایش یافت اما در خاک رسی، تولید آن در بقایای گیاهی با قطر کمتر از

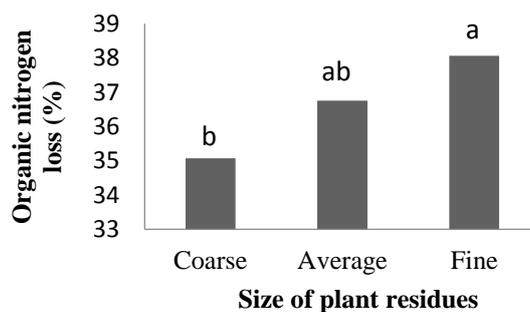


شکل ۹ - اثر اندازه ذرات بقایای گیاهی بر میزان هدررفت کربن آلی

Fig. 9- Effects of size of plant residues on organic carbon loss (Fine= 0.2-0.5 cm; Average= 1-2 cm; Coarse= 5-10 cm)

میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح پنج درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with the same letter are not significantly different at 5% level of probability based on Duncans test.

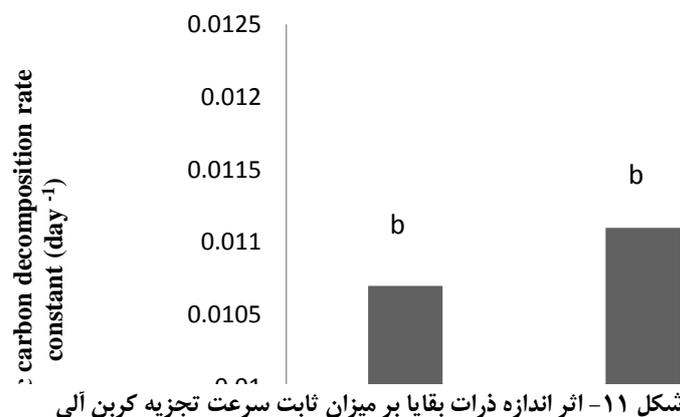


شکل ۱۰ - اثر اندازه ذرات بقایا بر میزان هدر رفت نیتروژن آلی

Fig. 10- Effects of size of plant residues on organic nitrogen loss (Fine= 0.2-0.5 cm; Average= 1-2 cm; Coarse= 5-10 cm)

میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح پنج درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

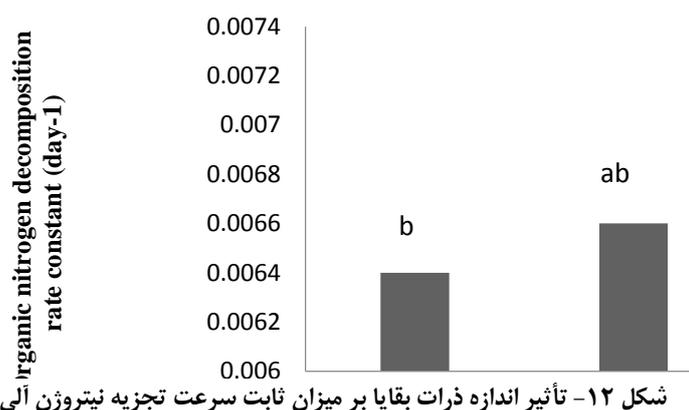
Means with the same letter are not significantly different at 5% level of probability based on Duncans test.



شکل ۱۱- اثر اندازه ذرات بقایا بر میزان ثابت سرعت تجزیه کربن آلی
Fig. 11- Effects of size of plant residues on organic carbon decomposition rate constant
 (Fine= 0.2-0.5 cm; Average= 1-2 cm; Coarse= 5-10 cm)

میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح پنج درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with the same letter are not significantly different at 5% level of probability based on Duncans test.



شکل ۱۲- تأثیر اندازه ذرات بقایا بر میزان ثابت سرعت تجزیه نیتروژن آلی
Fig. 12- Effects of size of plant residues on organic nitrogen decomposition rate constant
 (Fine= 0.2-0.5 cm; Average= 1-2 cm; Coarse= 5-10 cm)

میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح پنج درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with the same letter are not significantly different at 5% level of probability based on Duncans test.

نتیجه‌گیری

خاک سرعت تجزیه بقایا را افزایش داد، ولی سرعت تجزیه در اعماق بیشتر از ۳۰ سانتی‌متر احتمالاً به دلیل محدود شدن تهویه و در اعماق کمتر از ۳۰ سانتی‌متر به دلیل کاهش میزان رطوبت قابل دسترس کاهش یافت.

با گذشت زمان مقدار هدررفت کربن و نیتروژن آلی افزایش و همچنین با ریزتر شدن اندازه بقایای گیاهی سرعت تجزیه بقایا افزایش یافت. جایگذاری بقایای گیاهی در عمق مناسب (۳۰ سانتی-متری) از طریق تأمین رطوبت و اکسیژن مورد نیاز جامعه میکروبی

منابع

- Abiven, S., and Recous, S. 2007. Mineralisation of crop residues on the soil surface or incorporated in the soil under controlled conditions. *Biology and Fertility of Soils* 43(6): 849-852.
- Berg, B., and MacClaughtery, C. 2008. *Plant Litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration*. Springer-Verlag. New York.

- AOAC: Official Methods of analysis, Method 978.04.
- Angers, D.A., and Recous, S. 1997. Decomposition of wheat straw and rye residues as affected by particle size. *Plant and Soil* 189(2): 197-203.
- Austin, A.T., and Vivanco, L. 2006. Plant litter decomposition in a semi-arid ecosystem controlled by photodegradation. *Nature* 442: 555- 558.
- Berg, B., Johansson, M.B., and Meentemeyer, V. 2000. Litter decomposition in a transect of Norway spruce forests: substrate quality and climate control. *Canadian Journal of Forest Research* 30(7): 1136-1147.
- Berg, B., and McClaugherty, C. 2003. *Plant Litter: Decomposition, Humus Formation and Carbon Sequestration*. Springer: Berlin, Gemany 311 pp.
- Blume, H.P., Brümmer, G.W., Fleige, H., Horn, R., Kandeler, A.E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar, R., Stahr, K., and Wilke, B.M. 2015. *Scheffer/Schachtschabel soil science*. Springer. Germany p. 420.
- Fog, K. 1988. The effect of added nitrogen on the rate of decomposition of organic matter. *Biological Reviews* 63(3): 433-462.
- Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis, p. 383-411. In: Klute, A. (Ed), *Methods of soil analysis, part 1: Physical and mineralogical methods*. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA.
- Giacomini, S., Recous, S., Mary, B., and Aita, C. 2007. Simulating the effects of N availability, straw particle size and location in soil on C and N mineralization. *Plant and Soil* 301(1-2): 289-301.
- Guntinas, M., Leiros, M., Trasar, C., and Gil, F. 2012. Effects of moisture and temperature on net soil nitrogen mineralization: a laboratory study. *European Journal of Soil Biology* 48: 73-80.
- Hesse, P.R. 1971. *A Text Book of Soil Chemical Analysis*. John Murray. London. United Kingdom p. 520.
- Iqbal, A., Garnier, P., Lashermes, G., and Recous, S. 2014. A new equation to simulate the contact between soil and maize residues of different sizes during their decomposition. *Biology and Fertility of Soils* 50(4): 645-655.
- Kisselle, K.W., Garrett, C.J., Fu, S., Hendrix, P.F., Crossley Jr, D.A., Coleman, D.C., and Potter, R.L. 2001. Budgets for root-derived C and litter-derived C: comparison between conventional tillage and no tillage soils. *Soil Biology and Biochemistry* 33(7-8): 1067-1075.
- Li, L.J., Han, X.Z., You, M.Y., Yuan, Y.R., Ding, X.L., and Qiao, Y.F. 2013. Carbon and nitrogen mineralization patterns of two contrasting crop residues in a Mollisol: Effects of residue type and placement in soils. *European Journal of Soil Biology* 54: 1-6
- Murungu, F., Chiduzo, C., Muchaonyerwa, P., and Mkeni, P. 2011. Decomposition, nitrogen and phosphorus mineralization from winter-grown cover crop residues and suitability for a smallholder farming system in South Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 89: 115-123.
- Nelson, D.W., and Sommer, L. E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter, p. 595- 624. In: A.L. Page (Eds.). *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy. Madison, W.I.
- Olson, J.S. 1963. Energy storage and balance of producers and decomposition in ecological systems. *Ecology Society of America* 44(2): 322- 331
- Oades, J.M. 1993. The role of biology on the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56: 377-400.
- Puget, P., and Drinkwater, L. 2001. Short-term dynamics of root-and shoot-derived carbon from a leguminous green manure. *Soil Science Society of America Journal* 65(3): 771-779.
- Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved soils, p. 417-435. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical methods*. Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Rovira, P., and Vallejo, V. 1997. Organic carbon and nitrogen mineralization under Mediterranean climatic conditions: the effects of incubation depth. *Soil Biology and Biochemistry* 29(9): 1509-1520.
- Sims, J.L., and Frederick, L. R. 1970. Nitrogen immobilization and decomposition of corn residue in soil and sand as affected by residue particle size. *European Journal of Soil Science* 109(6): 355-361.
- Shafiei, S., Golchin, A., and Delavar, M.A. 2016. Effect of residue nitrogen concentration and time duration on carbon mineralization rate of alfalfa residues in regions with different climatic conditions. *Journal of Agroecology* 8(3):

397-416. (In Persian with English Summary)

Song, C., Liu, D., Yang, G., Song, Y., and Mao, R. 2011. Effect of nitrogen addition on decomposition of *Calamagrostis angustifolia* litters from freshwater marshes of Northeast China. *Ecological Engineering* 37(10): 1578-1582.

Tate, III. R. L. 2000; *Soil Microbiology*. 2nd Edition. John Wiley and Sons. NY.

Tarafdar, J.C., Meena, S.C., and Kathju, S. 2001. Influence of straw size on activity and biomass of soil microorganisms during decomposition. *European Journal of Soil Biology* 37(3): 157-160.

Thomas, G.W. 1996. Soil pH soil acidity, P 475-490. In: Sparks D.L. (Ed.), *Methods of soil analysis*. Part 3, Chemical methods. ASA, Madison, WI.

Zibilske, L., and Bradford, J. 2007. Oxygen effects on carbon, polyphenols, and nitrogen mineralization potential in soil. *Soil Science Society of America Journal* 71(1): 133-139



Effects of Size and Placement Depth of Plant Residues on Organic Carbon and Nitrogen Dynamics

V. Safi¹, A. Golchin² and S. Shafiei^{3*}

Submitted: 24-10-2016

Accepted: 12-06-2017

Safi, V., Golchin, A., and Shafiei, S. 2018. Effects of size and placement depth of plant residues on organic carbon and nitrogen dynamics. *Journal of Agroecology*. 10(3):719-732.

Introduction

Prediction of mineralization rate of organic carbon and nitrogen amounts of plant residues is important due to plant nutrient management, carbon dioxide production and environmental issues. Plant residues characteristics such as total nitrogen content (N), carbon: nitrogen (C/N), lignin content and particle size, Soil characteristics (texture, structure, pH and the microbial population) and Climate (temperature and moisture) are the most important factors affecting plant residues decomposition. Decomposition process of plant residues is influenced by substrate quality, decomposer community and environmental factors. Within a given climatic region, litter chemistry is the main determinant of litter decomposition. Litter decay and nutrient release are controlled by the litter quality, including the nitrogen (N) concentration of the litter, the carbon to nitrogen (C/N) ratio, as well as other chemical properties.

Materials and methods

To investigate the effects of size and placement depth of plant residues on organic carbon and nitrogen dynamics, a split – split plot layout based on a randomized complete block design and three replications was conducted using litter bag method. The factors were depths of incubation periods of plant residues (1, 2, 3 and 4 months), placement of plant residues (5, 15, 30 and 45 cm) and sizes of plant residues (0.2 - 0.5, 1 - 2 and 5 - 10 cm) which were located in main, sub and sub-sub plots respectively. At the end of the incubation period, the litter bags were pulled out of the pots; after the weights of the remaining plant residues in the bags were measured, the residue organic carbon was measured via the dry combustion method at 450°C for 5 h and the total nitrogen via the kjeldahl method. We analyzed the collected data during desert-lab studies by SAS/STAT software release 9.1. Statistical differences among size and placement depth of plant residues and time duration were determined using a generalized linear model (Proc GLM), $P \leq 0.05$ and LSMEANS, which allows mean comparisons even when data points are missing.

Results and discussion

Results of data variance decomposition indicated that size and placement depth of plant residues had a significant effect on carbon and nitrogen loss at the probable level of 1%. The highest organic carbon and nitrogen loss were measured after four month of incubation and when the size and the depth of placement of plant residues were 0.2 - 0.5 and 30 cm, respectively. The lowest organic carbon and nitrogen loss were also obtained after the first month of incubation and when the size and the depth of placement of plant residues were 5 - 10 and 5 cm, respectively. After four months of incubation 49.73 and 54.07% of organic carbon and 34.48 and 39.78 of organic nitrogen of plant residues mineralized when the depths of placement of plant residues were 5 and 30cm respectively. Aridity, soil hilling and availability to nutrients are determining factors of the carbon cycle in the decomposition process. Conceptually and analytically advanced models from diverse studies suggest three factors affecting decomposition in arid ecosystems: quality and quantity of the organic matter under decomposition, the physical environment (including temperature, precipitation and soil type) and the nature and entity of the decomposing organs in the soil.

Conclusion

From the results it was concluded that when the soil moisture level is a limiting factor for plant residue

1, 2 and 3- MSc. Student, Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan and Assistant professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Iran, respectively.

(*- Corresponding author Email: saeid55@gmail.com)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.56880

mineralization, increasing the depth of placement of plant residues enhances the rate of mineralization of organic carbon by providing sufficient moisture for plant residues decomposition. The results also showed that reducing plant residues particle size with increases the surface area and plant residues contact with the soil, enhances the rate of decomposition of plant residues.

Keywords: Incubation periods, Residue decomposition rate constant, Wheat residue

پهنه‌بندی آگروکلیماتیک کاشت نخود (*Cicer arietinum* L.) با روش AHP در محیط GIS

مورد مطالعه: استان اردبیل

بهروز سبحانی^{۱*} و یوسف حسن زاده^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۲۶

سبحانی، ب. و حسن زاده، ی. ۱۳۹۷. پهنه‌بندی آگروکلیماتیک کاشت نخود (*Cicer arietinum* L.) با روش AHP در محیط GIS. مورد مطالعه: استان اردبیل. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳): ۷۴۶-۷۳۳.

چکیده

یکی از روش‌های برنامه‌ریزی کشاورزی تعیین و شناسایی نواحی مناسب برای کاشت گیاهان زراعی و باغی بر اساس شرایط آب و هوایی و فیزیوگرافی است. این امر، کشاورزان را قادر می‌سازد که خسارت ناشی از شرایط نامناسب اقلیمی بر محصول را در طول دوره رشد به حداقل برسانند. نخود (*Cicer arietinum* L.) یکی از محصولات زراعی در استان اردبیل است که حدود ۵۲۷۲ هکتار از اراضی استان زیر کشت این گیاه زراعی است. هدف از این تحقیق، شناسایی نواحی مناسب استان اردبیل برای کشت نخود در محیط GIS است. برای این منظور، ابتدا نیازهای مطلوب اقلیمی در طول دوره رشد نخود تعیین گردید، سپس داده‌های مورد مطالعه از قبیل، بارندگی، دما، ارتفاع، شیب، خاک و کاربری اراضی جمع‌آوری شدند. هر کدام از داده‌ها با استفاده از روش AHP تحلیل شدند و ضریب وزنی معیارهای اصلی، فرعی و زیر گزینه‌ها مشخص شدند. در نتیجه ضریب وزنی معیارهای اصلی از قبیل اقلیم با ۰/۶۰۳، توپوگرافی ۰/۲۴۵، خاک ۰/۱۱۴ و کاربری اراضی ۰/۰۳۸ تعیین گردید. در مرحله بعد، نقشه‌های موضوعی مورد نیاز برای هر یک از داده‌ها مورد مطالعه در محیط GIS تهیه و برای هر یک از پیلگون‌های نقشه، ضریب وزنی لحاظ شد و هر یک از نقشه‌ها بر اساس روش AHP در محیط GIS طبقه‌بندی شدند. در نهایت با تلفیق نقشه‌ها، نقشه نهایی پهنه‌بندی کشت نخود در استان اردبیل در چهار کلاس تهیه گردید که حدود ۱۸ درصد از مساحت استان خیلی مناسب، ۴۵ درصد مناسب، ۲۵ درصد متوسط و ۱۲ درصد نامناسب برای کشت نخود است.

واژه‌های کلیدی: اقلیم کشاورزی، داده‌های جوی، عوامل فیزیوگرافی، تناسب اراضی، نیازهای مطلوب اقلیمی

مقدمه

استفاده قرار گرفته است و می‌تواند به‌عنوان الگویی برای ارزیابی اراضی، برنامه‌ریزی و مدیریت بهتر از منابع اراضی مورد استفاده قرار گیرد (Sarmadian & Taati., 2015). پهنه‌بندی آگروکلیماتیک، یک منطقه را بر اساس توانایی‌های آن از لحاظ استعداد اراضی، تولید و قابلیت اراضی تقسیم‌بندی می‌نماید و سامانه اطلاعات جغرافیایی یکی از ابزارهای مؤثر در پهنه‌بندی آگروکلیماتیک می‌باشد. (Kanouni et al., 2009).

در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ مجموع سطح زیر کشت، تولید و عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) در ایران به ترتیب ۵۲۸ هزار هکتار، ۲۶۹ هزار تن و ۴۹۳ کیلوگرم در هکتار است (Ministry of Jihad & Agriculture, 2014). تولید جهانی نخود در سال ۲۰۱۳

شناخت مشخصه‌های اقلیمی و تأثیر آن روی گیاهان زراعی یکی از مهم‌ترین عامل‌های مؤثر در افزایش عملکرد و بالا بردن تولید است. با شناخت دقیق تأثیر هر یک از عناصر اقلیمی روی محصولات کشاورزی می‌توان عملیات کشاورزی را طوری تنظیم کرد تا بهترین شرایط برای رشد و نمو گیاه در منطقه فراهم شود. پهنه‌بندی آگروکلیماتیک یکی از انواع ارزیابی است که در این تحقیق مورد

۱، ۲ به ترتیب دانشیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی

(Email: sobhani@uma.ac.ir) * - نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jag.v10i3.57287

عوامل مؤثر در طول دوره رشد این گیاه می‌باشد (Kanouni et al., 2011). در مناطق مدیترانه‌ای، کشت زمستانه نخود نسبت به کشت بهاره آن، ۶۰ تا ۷۰ درصد عملکرد بیشتری دارد (Singh, 1991). در شرایط آب و هوایی منطقه سراوان، کاشت پاییزه نخود نسبت به کشت بهاره با توجه به افزایش درجه حرارت موفقیت‌آمیز است (Zafaranih et al., 2015). نخود محصولی است که به اقلیم خنک نیازمند است و میانگین درجه حرارت روزانه بهینه برای این محصول ۱۷ درجه سانتی‌گراد با حداقل ۱۰ و حداکثر ۲۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. جوانه زدن محصول تحت تأثیر حرارت خاک است. در مناطق استوایی، کشت نخود تا ارتفاع ۱۵۰۰ متر قابل رویش است (Naderi et al., 2013). بنابراین، پهنه‌بندی آگروکلیماتیک، اطلاعات مفیدی را در خصوص میزان بازدهی کشت محصولات مختلف و مناسب‌ترین مکان برای تولید هر محصول، جهت مدیریت متمرکز منابع و برنامه‌ریزی الگوی کشت مناسب منطقه، در اختیار قرار می‌دهد. مساعد بودن آب‌وهوای استان اردبیل برای کشت بهاره نخود موجب توسعه کشت این محصول در استان شده است. این تحقیق باهدف پهنه‌بندی آگروکلیماتیک استان اردبیل برای کشت محصول نخود، شناسایی توانمندی‌ها، استعدادها و محدودیت‌های اراضی به‌منظور برنامه‌ریزی کشاورزی، با بررسی متغیرهای اقلیمی و محیطی با روش AHP در محیط GIS انجام شده است.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی استان اردبیل

استان اردبیل در شمال غرب ایران بین مختصات جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه ۳ دقیقه تا ۴۸ درجه ۵۵ دقیقه طول شرقی واقع است. مساحت آن ۱۷۹۵۳ کیلومترمربع، حدود ۱/۰۹ درصد مساحت کل کشور را تشکیل می‌دهد (شکل ۱). این استان یکی از قطب‌های مهم کشاورزی است که در مجموع اراضی کشاورزی آن در حدود ۷۱۸۶۱۴ هکتار (۴۰ درصد کل مساحت استان) است. از این مقدار نیز ۲۳۴۳۳۶ هکتار آبی، ۴۵۱۱۵۵ هکتار دیم و ۳۳۱۲۳ هکتار را باغات میوه تشکیل می‌دهد (Ministry Jihad & Agricultural, 2014)

بالغ بر ۱۳/۱ میلیون تن بوده که سطحی معادل ۱۳/۵۴ میلیون هکتار با متوسط عملکرد ۹۵۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست‌آمده است (FAO, 2013) و ایران پس از کشورهای هند، پاکستان، ترکیه و استرالیا پنجمین کشور تولیدکننده نخود در دنیا است (Kanouni, 2016). این محصول در دنیا پس از لوبیا رتبه سوم و در جنوب آسیا رتبه اول را در بین حبوبات دارد (Pirzadeh Mogadam et al., 2014).

شناخت متغیرهای آب و هوایی و اثر آن‌ها روی گیاه زراعی نخود، یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در افزایش عملکرد و بالا بردن تولید هست. با در نظر گرفتن شرایط لازم و بهره‌گیری از فناوری مناسب برای تحلیل داده‌ها از جمله GIS می‌توان نتیجه مطلوب و متناسب با محیط دست‌یافت (Nasrollahi et al., 2015). در استان کرمانشاه با استفاده از داده‌های اقلیمی و عوامل محیطی، مکان‌یابی کشت نخود توسط ذوالفقاری و همکاران (Zolfghari et al., 2015) انجام و نتایج نشان داد که بارش بیشترین تأثیر را در طول دوره رشد نخود دارد. نتایج ارزیابی تناسب اراضی شهرستان آق قلا جهت کشت نخود با استفاده از منطق بولین و فرایند سلسله مراتبی (AHP) توسط کاظمی و صادقی (Kazemi & Sadegi, 2014) نشان داد که حدود ۲۷ درصد زمین‌های کشاورزی شهرستان آق قلا برای کشت نخود مناسب می‌باشد.

مطالعات متعددی در مورد نقش هریک از عناصر اقلیمی در طول دوره رشد محصول نخود انجام شده است که به چند مورد اشاره می‌شود. نخود گیاهی است در نواحی سردسیر در فصل بهار و در نواحی گرمسیر در فصل پاییز کشت می‌شود (Soltani & Sinclair, 2012). کشت نخود بهاره از رطوبت ذخیره‌شده در خاک که از فصل زمستان مانده است در مرحله جوانه‌زنی استفاده می‌کند (Malhotra & Singh, 1991). این محصول، سرشار از پروتئین و نشاسته بوده و در جیره غذایی از اهمیت زیادی برخوردار است (Sadeghipour & Aghai, 2012). نخود به‌دلیل قرار گرفتن در تناوب با گندم (*Triticum aestivum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.)، نقش بسیار مهم در حفظ و بقای کشاورزی دارد و عامل افزایش پایداری در نظام‌های تولیدی کشاورزی به شمار می‌رود (Naseri et al., 2015; Jalilian et al., 2005).

به‌رغم تولید و اصلاح ارقام پر محصول، آب و هوا از مهم‌ترین

داده‌ها

موردنیاز در محیط GIS تهیه گردید و رتبه‌بندی هر لایه بر اساس جدول نیاز اقلیمی نخود، در چهار طبقه بسیار مناسب، مناسب، متوسط و ضعیف صورت گرفت.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی^۲

با توجه به این که عوامل محیطی جهت تعیین پهنه‌بندی اراضی فراوان بوده و دارای اهمیت یکسانی نیز نمی‌باشد، لذا برای ارزیابی دقیق‌تر و تصمیم‌گیری لازم بود تا اهمیت نسبی هر عامل مشخص شود. در این تطبیق جهت اهمیت و ارزش متغیرها از فرآیند سلسله مراتبی استفاده شد.

به‌منظور وزن‌دهی به معیارها با روش AHP، ابتدا مسئله تصمیم‌گیری که همان یافتن نواحی مستعد کشت گیاه نخود می‌باشد، به‌صورت درخت سلسله مراتبی که شامل عناصر تصمیم‌گیری است، تجزیه شد. در سطح اول هدف اصلی، در سطح دوم معیارهای اصلی تأثیرگذار در کشت محصول (عناصر اقلیمی، عوامل فیزیوگرافی، خاک و کاربری اراضی) و در سطح سوم زیرشاخه‌ها یا زیر معیارهای هر کدام از عوامل سطح دوم دسته‌بندی شدند. تعیین وزن‌ها به‌وسیله نرم‌افزار Expert Choice انجام شد. مقایسه‌های زوجی این تحقیق در قالب ماتریس‌های مقایسه زوجی و بر اساس طیف نه قسمتی (۱) ترجیح یکسان و نه معادل ترجیح کامل) صورت گرفت (جدول ۲).

نتایج مقایسات زوجی روی n شاخص می‌تواند در یک ماتریس $(n \times n)$ به‌صورت معادله ۱ نشان داده شود. در این ماتریس a_{ij} نظر تصمیم‌گیرنده در مورد میزان ارجحیت عنصر i ام نسبت به عنصر j ام می‌باشد (Saaty, 2008). ماتریس‌های مقایسه زوجی هر یک از معیارها و زیر معیارها در ارتباط باهم محاسبه گردید.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad \text{معادله (۱)}$$

$$A = [a_{ij}] \quad (1, 2, \dots, n)$$

در این پژوهش برای پهنه‌بندی کشت نخود ماتریس مقایسه زوجی معیارهای اصلی از قبیل: اقلیم، توپوگرافی، خاک و کاربری اراضی استفاده شده است (جدول ۳).

داده‌های اقلیمی: داده‌های اقلیمی مورد مطالعه در این تحقیق،

طی دوره آماری ۲۵ ساله (سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۳ میلادی) تهیه شد و بر اساس نیاز مطلوب اقلیمی طول دوره رشد گیاه نخود این داده‌ها ارزیابی شدند و برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌صورت نقطه‌ای وزن‌دهی به عمل آمد و در نهایت نقشه رقومی برای هر یک از داده‌های اقلیمی بر اساس نیاز مطلوب اقلیمی نخود تهیه شد. با تلفیق کلیه نقشه‌های اقلیمی نقشه پهنه‌بندی اقلیمی کشت نخود استان اردبیل تهیه گردید.

عوامل فیزیوگرافی: نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع از سطح

دریا با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DTM^۱) استان اردبیل در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ در محیط GIS تهیه و بر اساس نیاز مطلوب اقلیمی کشت نخود، وزن‌دهی اعمال و نقشه طبقه‌بندی برای کشت نخود تهیه شد. با تلفیق نقشه‌های فوق‌الذکر نقشه عوامل فیزیوگرافی کشت نخود استان اردبیل تهیه گردید.

داده‌های خاک: به منظور تهیه نقشه رقومی خاک از مرکز

تحقیقات و آب خاک کشور و از مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی استان اردبیل اطلاعات عمق خاک تهیه شد. پس از جمع‌آوری این اطلاعات از روش درون‌یابی نقشه عمق خاک استان تهیه شد. با توجه به اینکه در کشور ایران و همچنین در منطقه بیش از ۹۸/۲۸ درصد سطح کشت نخود به‌صورت دیم کاشته می‌شود (Ministry Jahad & Agricultural, 2014). لذا در این تحقیق به نقش عمق خاک اهمیت بیشتری داده شده است.

نقشه کاربری اراضی: این نقشه از اداره کل منابع طبیعی

استان اردبیل به مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ تهیه شد. با کمک این نقشه، نواحی زراعی به‌ویژه کشت‌های دیم و آبی استان استخراج شد.

نیازهای مطلوب اقلیمی جهت کشت نخود

برای پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت نخود، جهت انطباق نیازهای محیطی گیاه زراعی با خصوصیات اراضی، ابتدا نیازهای اقلیمی با استفاده از منابع موجود تعیین و رتبه‌بندی گردید که در جدول ۱ نشان داده شد. سپس بر اساس متغیرهای این جدول لایه‌های اطلاعاتی

جدول ۱- شرایط اقلیمی مطلوب برای کشت نخود

Table 1- Favorable climatic conditions for for pea cultivation

کلاس Class	خیلی مناسب Very Suitable	مناسب Suitable	متوسط Average	ضعیف Weak
ارزش گذاری کلاس‌ها Valuation class	4	3	2	1
بارش دوره رشد Growing season rainfall	500-600	400-500	300-400	< 300
دمای دوره رشد Temperature growth period	25-30	20-25	15-20	10-15
رطوبت نسبی Relative humidity	50-60	40-50	30-40	< 25
دمای جوانه‌زنی Germination temperature	12-15	9-12	6-9	< 6
دمای گل‌دهی Flowering temperature	21-25	17-21	15-17	12-25
دمای رسیدگی Handle temperature	24-28	20-24	16-20	12-16
متوسط حداقل دما Average minimum temperature	3-6	0-3	0-3	< -3
ساعات آفتابی Sun shine	1500-2000	1000-1500	500-1000	< 500
سرعت باد Wind speed	4-7	7-11	11-15	> 15
شیب Slope	0-2	2-8	8-12	> 12
ارتفاع Altitude	0-400	400-800	800-1200	> 1200
عمق خاک Soil depth	200	150	100	< 100

منبع: پوتوب و همکاران (Potop et al., 2012) و خوشحال دستجردی و مصطفوی (Khoshhal Dastjerdi & Mostafavi, 2013)

References: Potop et al., 2012 and Khoshhal Dastjerdi & Mostafavi, 2013

جدول ۲- مقادیر ترجیحات در تصمیم‌گیری

Table 2- Preferred values in decision-making

مقدار عددی Numerical value	ترجیحات Perference
9	Extremely preferred ترجیح کامل
7	Very strongly preferred ترجیح خیلی قوی
5	strongly preferred ترجیح قوی
3	Moderately preferred ترجیح کم
1	Equally ترجیح یکسان
2,4,6,8	Preferences intermediate ترجیحات بینابین

جدول ۳- ماتریس مقایسه زوجی و وزن‌دهی معیارهای اصلی

Table 3- Paired comparison matrix and weighting main criteria

معیارهای اصلی The main criteria	اقلیم Climate	توپوگرافی Topography	خاک Soil	کاربری اراضی Land use
اقلیم Climate	1	6	7	9
توپوگرافی Topography	$\frac{1}{6}$	1	6	7
خاک Soil	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{6}$	1	6
کاربری اراضی Land use	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{6}$	1
ضریب اهمیت Impact factor	0.603	0.245	0.114	0.038

محاسبه نرخ سازگاری

نسبت اندک استحکام؛ (CI) براندکس میانگین (RI) بر اساس معادله (۳) تعریف شد:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad \text{معادله (۳)}$$

RI؛ (شاخص ناسازگاری تصادفی) مقداری است که از جدول ۸ تعیین می‌شود. در صورتی که نرخ سازگاری، کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، در مقایسات زوجی، سازگاری وجود دارد و می‌توان کار را ادامه داد. در غیر این صورت، تصمیم‌گیرنده باید در مقایسات زوجی تجدیدنظر کند.

نتایج بررسی سازگاری ماتریس مقایسه زوجی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌های کشت نخود در جدول ۹ ارائه شده است که نرخ ناسازگاری در همه ماتریس‌های مقایسه زوجی کم‌تر از ۰/۱ است.

ماتریس معیار فرعی اقلیم از قبیل دمای فروردین‌ماه، دمای دوره رشد، دمای دوره گل‌دهی، دمای دوره رسیدگی، دمای متوسط، بارش دوره رشد، رطوبت نسبی و تبخیر در جدول ۴، ماتریس معیار فرعی کاربری اراضی در جدول ۵، ماتریس معیار فرعی عمق خاک در جدول ۶ و معیار فرعی فیزیوگرافی از قبیل شیب، جهت و ارتفاع در جدول ۷ مشاهده می‌شود که ضریب اهمیت هر یک معیارها را در طول دوره رشد نخود به ترتیب اهمیت در جدول‌ها نشان می‌دهد.

محاسبه شاخص ناسازگاری

با محاسبه هر یک از ماتریس‌های مقایسه زوجی معیارها، وزن آن‌ها محاسبه گردید و شاخص ناسازگاری هر یک از معیارها از معادله (۲) برآورد گردید.

$$CI = n^{-1} \quad \text{معادله (۲)}$$

در معادله ۲؛ CI، شاخص ناسازگاری، n مرتبه ماتریس و λ_{max} بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس اولویت‌بندی هستند.

جدول ۴- ماتریس معیارهای اقلیم
Table 4- The criteria matrix of climatic parameters

معیارها Criteria	دمای فروردین April temperatures	بارش دوره رشد Growing season Rainfall	دمای دوره رشد Temperature growthperiod	رطوبت Humidity	متوسط دما average temperature	دمای دوره گل‌دهی Temperaturefloweringperiod	تبخیر Evaporation	دمای دوره رسیدگی Temperature ofmaturity
دمای فروردین April temperature	1	2	3	4	5	6	7	8
بارش دوره رشد Growing season rainfall	$\frac{1}{2}$	1	2	3	4	5	6	7
دمای دوره رشد Temperature growth period	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	2	3	4	5	6
رطوبت Humidity	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	2	3	4	5
متوسط دما Average Temperature	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	2	3	4
دمای دوره گل‌دهی Temperature flowering	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	2	3
تبخیر Evaporation	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	2
دمای دوره رسیدگی Temperature of maturity	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1
باد Wind	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$
ضریب اهمیت Impact factor	0.304	0.216	0.154	0.108	0.076	0.053	0.037	0.026

جدول ۵- ماتریس معیارهای کاربری اراضی
Table 5- Land use criteria matrix

کاربری اراضی Landuse	زراعت Agriculture (water)	اراضی دیم Dry lands	مراعات جنگل Pastures and forests	سایر کاربری‌ها Other land uses
زراعت آبی Irrigated lands	1	3	6	9
اراضی دیم Dryfarming lands	$\frac{1}{3}$	1	3	6
مراعات و جنگل Pastures and forests	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	3
سایر کاربری‌ها Other land uses	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	1
ضریب اهمیت Impact factor	0.524	0.269	0.142	0.072

جدول ۶- ماتریس معیارهای عمق خاک

Table 6- Soil depth criteria matrix

عمق خاک (سانتی‌متر) Depth soil (cm)	200	150	100	100>
200	1	2	6	7
150	$\frac{1}{2}$	1	2	6
100	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{2}$	1	2
100>	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{2}$	1
ضریب اهمیت Impact Factor	541.0	0.284	0.115	0.06

جدول ۷- ماتریس معیارهای توپوگرافی

Table 7- Topography criteria matrix

معیارها Criteria	ارتفاع Altitude	شیب Slope	جهت Aspect
ارتفاع Altitude	1	2	3
شیب Slope	$\frac{1}{2}$	1	2
جهت Aspect	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1
ضریب اهمیت Impact Factor	0.539	0.297	0.164

جدول ۸- شاخص ماتریس تصادفی

Table 8-the random matrix index (RI)

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.42	1.45	1.49

& Sadegi, 2014)

نتایج و بحث

هر یک از داده‌های مورد مطالعه، بر اساس روش تحقیق و با توجه به نیاز مطلوب اقلیمی نخود، ارزش‌گذاری شدند و با روش درون‌یابی در محیط GIS نقشه هر کدام به شرح زیر تهیه شد:

معیار بارش: بارش از مهم‌ترین عناصر اقلیمی تأثیرگذار در عملیات کشاورزی است و نوسانات آن در عملکرد محصول قابل توجه است (Fallah Ghalhari et al., 2015). تحقیقات نشان داده که در مناطقی که میزان بارندگی سالانه ۵۰۰-۴۰۰ میلی‌متر است برای کشت نخود مساعد است (Chalakhian, 2012). بر اساس مقادیر بارش ایستگاه‌های هواشناسی استان حدود دو درصد خیلی مناسب، ۲۵ درصد مناسب، ۲۳ درصد متوسط و ۵۰ درصد نامناسب برای کشت نخود هست. در شهرستان آق‌قلا بارش سالانه بیشتر از ۴۰۰ میلی‌متر، نواحی مناسب برای کشت نخود مکان‌یابی شده است (Kazemi

معیار درجه حرارت: درجه حرارت از عوامل تعیین‌کننده در جغرافیای گیاهان زراعی و باغی است (Fraiedi, 2007). دما در هریک از مراحل رشد نخود دارای اهمیت ویژه می‌باشد. تحقیقات انجام‌شده نشان داد که دمای مناسب برای جوانه‌زنی نخود ۱۲-۹ درجه سانتی‌گراد، گل‌دهی ۲۱-۱۷ درجه سانتی‌گراد، رسیدگی ۲۲-۲۰ درجه سانتی‌گراد است (Nezami et al., 2010; Namdarian et al., 2015) و همکاران (Zolfaghari et al., 2015) نیز در استان کرمانشاه دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد را برای جوانه‌زنی، ۱۹ درجه سانتی‌گراد را برای گل‌دهی و ۲۸ درجه سانتی‌گراد را برای رسیدگی نخود تعیین کرده‌اند. نتایج حاصل از تلفیق زیر معیارهای دما نشان داد که حدود ۴/۳۶ درصد از مساحت استان برای کشت نخود خیلی مناسب، ۱۵/۶۴ درصد مناسب، ۵۰/۴۸ درصد متوسط و

محیط GIS با همدیگر تلفیق و نقشه‌نمایی ارزیابی کشت محصول نخود بر اساس عناصر اقلیمی تهیه گردید (شکل ۱). نتایج نشان داد که حدود ۳۷ درصد خیلی مناسب، ۲۱ درصد مناسب، ۲۰ درصد مناسب و ۲۲ درصد نامناسب برای کشت نخود بر اساس داده‌های عناصر اقلیمی است.

پهنه‌بندی آگروکلیماتیک کشت نخود با تلفیق داده‌های اقلیمی و فیزیوگرافی

علاوه بر بررسی نقش مستقل داده‌های اقلیمی و فیزیوگرافی در پهنه‌بندی کشت نخود که در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. پس از تهیه تمام لایه‌های اطلاعاتی و تعیین عوامل مؤثر در امکان‌سنجی مناطق مستعد کشت نخود و با تجزیه و تحلیل داده‌های فضایی به کمک GIS به تهیه نقشه‌های معیارهای مؤثر در طول دوره رشد نخود اقدام شد. نتایج نشان داد که حدود ۱۸ درصد خیلی مناسب، ۴۵ درصد مناسب، ۲۵ درصد متوسط و ۱۲ درصد استان برای کشت نخود نامناسب می‌باشد. ذوالفقاری و همکاران (Zolfagari et al., 2015) نیز با مطالعه داده‌های اقلیمی و محیطی مکان‌یابی کشت نخود دیم در استان کرمانشاه به این نتیجه رسیده‌اند که حدود ۰/۱ درصد مساحت استان دارای شرایط بسیار خوب، ۲۶/۴ درصد شرایط خوب و ۷۳/۵ درصد شرایط متوسطی برای کشت نخود دارد. همچنین نتایج حاصل از عوامل تأثیر گذار بر کشت نخود در شهرستان آق‌قلا نشان داد که معیار اقلیم با وزن ۰/۶۱۹، دارای بالاترین اهمیت و توپوگرافی با ارزش وزنی ۰/۱۱۰ در رتبه آخر قرار گرفته است (Kazemi & Sadegi, 2014). با وزن‌دهی به نقشه‌های تهیه‌شده بر اساس روش AHP، از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به منظور تلفیق و همپوشانی نقشه‌ها استفاده شد و نقشه پهنه‌بندی آگروکلیماتیک کشت نخود تهیه گردید (شکل ۲). نقشه حاصل در چهار کلاس به شرح زیر طبقه‌بندی گردید.

۱- نواحی خیلی مناسب، شامل دشت اردبیل و شمال شهرستان مشکین‌شهر می‌باشد که منطبق بر مناسب‌ترین نواحی کشاورزی استان است و محدودیت برای کشت نخود وجود ندارد حدود ۱۸ درصد از مساحت استان اردبیل را تشکیل می‌دهد.

۲- نواحی مناسب که این نواحی در اطراف شهرستان‌های خلخال و کوثر، سرعین، نیر، بیله سوار را تشکیل می‌دهند. محدودیت عمده در این مناطق نیاز آبی، حداقل دما است که حدود ۴۵ درصد از

۲۹/۸ درصد که دمای کم‌تر از حد آستانه رشد دارند مناسب برای کشت نمی‌باشند. درجه حرارت بالاتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد در دوره گل‌دهی نخود مقدار غلاف‌های تشکیل شده را در گیاه کاهش داده و باعث کاهش عملکرد می‌شود (Summerfield, 1987).

معیار ارتفاع: پستی و بلندی یک ناحیه تعیین‌کننده ارزش آن ناحیه برای انجام فعالیت‌های زراعی و باغ است. زیرا افزایش ارتفاع به‌نوعی از عوامل عمده محدودکننده زراعت و باغداری محسوب می‌شوند (Naderi et al., 2013). در استان گلستان در محدوده منطقه آق‌قلا ارتفاع ۱۰۰۰ متر از سطح دریا برای کشت نخود مناسب می‌باشد (Kazemi & Sadegi, 2014) کشت نخود در استان اردبیل در دشت مغان تا ارتفاع ۸۰۰ متر و سایر مناطق تا ۱۵۰۰ متری از سطح دریا مناسب است (Chalakhian, 2012).

معیار شیب: نقشه شیب از نقشه توپوگرافی در محیط GIS استخراج گردید. بر اساس نیاز مطلوب کشت نخود در شیب‌های مختلف که جدول ۱ نشان داده شده است، شیب دو تا هشت درصد، شیب مناسب برای کشت نخود تعیین شده است (Chalakhian, 2012) نتایج حاصل تحلیل نقشه شیب نشان داد که حدود ۴۵ درصد خیلی مناسب، ۲۲ درصد نامناسب و ۳۳ درصد نامناسب برای کشت است.

معیار خاک: خاک در فرآیند رشد محصولات زراعی و باغی نقش مؤثر دارد. مناسب‌ترین خاک‌ها برای رشد نخود خاک‌های شنی، رسی، لومی شنی و لومی رسی (عاری از نمک‌های محلول) است. نتایج حاصل از نقشه خاک استان نشان داد که حدود ۴۵ درصد خیلی مناسب، ۲۲ درصد مناسب و ۳۳ درصد نامناسب برای کشت نخود است.

معیار کاربری اراضی: از کل مساحت استان ۴۰ درصد اراضی کشاورزی، ۵۶/۵ درصد مرتع، ۲/۹ درصد جنگل و مابقی را سایر کاربری‌ها تشکیل می‌دهد. استان اردبیل با داشتن بالاترین کاربری اراضی کشاورزی نسبت به کل وسعت استان، رتبه اول را در بین استان‌های کشور داراست.

پهنه‌بندی کشت نخود بر اساس عناصر اقلیمی

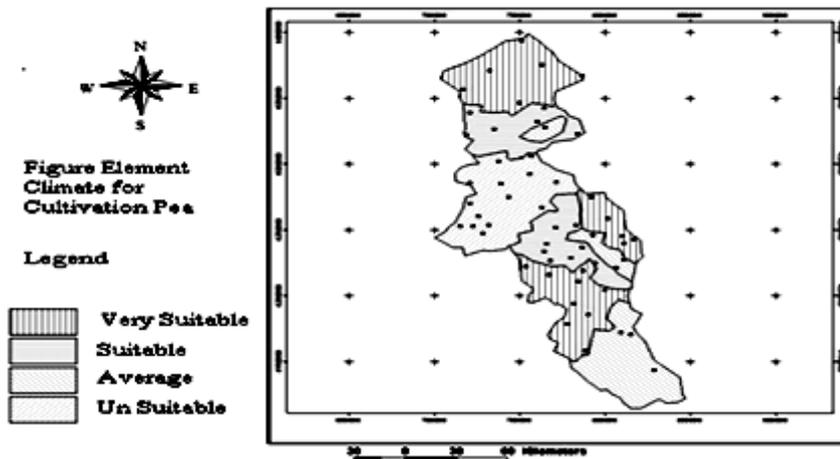
با تلفیق عناصر اقلیمی از قبیل مقادیر بارش‌های طول دوره نخود، دماهای طول رشد و رطوبت نسبی ویژگی هر کدام از داده‌ها بر اساس نیاز مطلوب اقلیمی برای کشت نخود، بر اساس روش AHP تحلیل و ماتریس زوجی آن‌ها تهیه شد. بر اساس مدل همپوشانی لایه‌ها، در

مساحت استان را تشکیل می‌دهد.

۳- نواحی که برای کشت نخود در حد متوسط هستند، معیارهای شیب، عمق خاک، ارتفاع و نوسانات دمایی عامل عمده در محدودیت کشت می‌باشد که شامل نواحی جنوبی، شمالی استان و اطراف شهرستان مشکین شهر را تشکیل می‌دهند که حدود ۲۵ درصد از

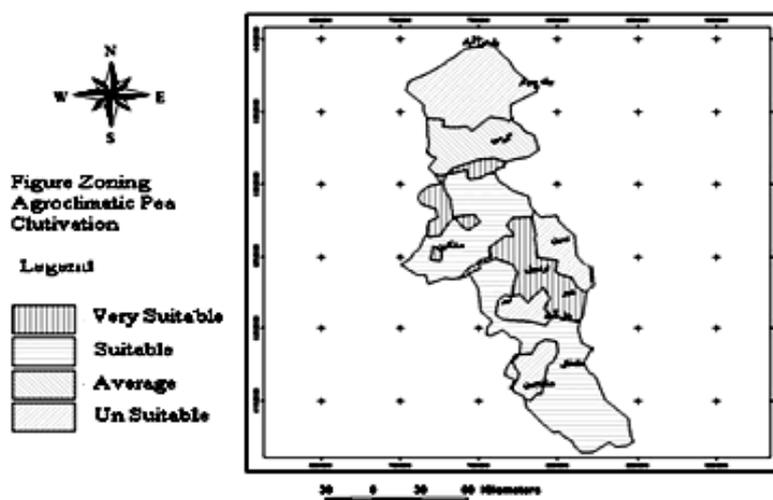
مساحت استان به خود اختصاص داده است.

۴- نواحی که نامناسب برای کشت نخود می‌باشد که به‌علت کوهستانی بودن منطقه، برودت هوا و نبود افق مناسب خاک امکان کشت با محدودیت شدید مواجه است که حدود ۱۲ درصد از مساحت استان را تشکیل می‌دهد.



شکل ۱- پهنه‌بندی کشت نخود بر اساس عناصر اقلیمی

Fig. 1- Zoning chickpea cultivation based on climatic elements



شکل ۲- پهنه‌بندی آگروکلیماتیک کشت نخود بر اساس عناصر اقلیمی و فیزیوگرافی

Fig. 2- Zoning Agroclimatic of chickpea based on physiographic and climatic elements

جدول ۹- بررسی سازگاری معیارها و زیر معیارها
 Table 9- The compatibility criteria and sub-criteria

شاخص سازگاری Compatibility Index	گزینه‌ها Options	شاخص سازگاری Compatibility index	عناصر عوامل اقلیمی Elements and climati cfactors	شاخص سازگاری Compatibility index
0.017	دمای فروردین April temperatures			
0.081	بارش دوره رشد Growing season rainfall			
0.175	دمای دوره رشد Temperature growth period			
0.011	رطوبت Humidity			
0.056	متوسط دما Average temperature			
-0.029	دمای دوره گل‌دهی Temperature flowering period	0.035	اقلیم Climate	معیارها Criteria
0.022	تبخیر Evaporation			0.016
0.368	دمای دوره رسیدگی Temperature of maturity			
0.0037	باد Wind			
0.045	ارتفاع Altitude		توپوگرافی Topography	
0.015	شیب slope	0.007		
0.013	جهت Direction			
0.021			خاک Soil	
0.0037			کاربری اراضی Land use	

منابع: محاسبات نگارندگان

Sources: Author's calculations

نتیجه‌گیری

شناسایی استعدادها و محدودیت‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها، به‌نحوی که بهترین بهره‌برداری از محیط صورت گیرد، از طریق مطالعه جامع اقلیمی-کشاورزی امکان‌پذیر است. کشت نخود علاوه بر تأمین غذای انسان و دام، از اجزاء مهم الگوهای کشت و عامل افزایش پایداری در نظام‌های تولیدی کشاورزی به شمار می‌رود. نتایج

وزن‌دهی حاصل از یافته تحقیق نشان داد که هرکدام از داده‌های مورد مطالعه در پهنه‌بندی کشت نخود مؤثر هستند، چنان‌که در جدول ۱۰ نشان داده شده میزان سازگاری هر یک از داده‌ها کم‌تر از ۰/۱ است که بیان‌گر دقت وزن‌دهی به داده‌ها می‌باشد. در بین معیارهای اصلی، اقلیم ۰/۶۰۳، توپوگرافی ۰/۲۴۵، خاک ۰/۱۱۴ و کاربری اراضی ۰/۰۳۸ و معیارهای فرعی ارتفاع با ضریب

با توجه به توزیع بارش طول دوره رشد نخود و رعایت تقویم زراعی کشت، مناطق دیم‌زار مرکز استان (دامنه‌های شرقی و شمالی کوه سیلان) نواحی مناسب برای کشت این محصول می باشد. در مناطق دشت نیاز آبی و نوسان دمایی به‌خصوص بعد از گل‌دهی عامل محدودیت کشت نخود محسوب می‌شود.

اهمیت ۵۳۹/۰، دما با ضریب اهمیت ۳۰۴/۰ و بارندگی با ضریب اهمیت ۲۱۶/۰ به‌ترتیب اولویت نقش بیش‌تری را در مکان‌یابی کشت نخود دارند. نتایج بررسی شاخص سازگاری معیارها نشان می‌دهد (جدول ۹) کلیه معیارهای مورد استفاده دارای شاخص سازگاری کم‌تر از ۱/۰ می‌باشند که بیان‌گر تأثیرگذاری داده‌ها در طول دوره رشد و دقت وزن انتخابی است.

منابع

- Chalakanian, J. 2012. Agroclimatological zoning the chickpea cultivation by using AHP method in GIS in Ardabil Province. MSc Thesis Climatology. University of Mohaghigh Ardabili, Ardabil, Iran. (In Persian with English Summary)
- Fallah Ghalhari, G., Asadi, M., and Dadashi Roudbari, A. 2015. Determination of suitable regions for wheat cultivation in Fars Province. *Journal of Agricultural Meteorology* 2: 68-73.
- FAO. 2013. Available in <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
- Fraiedi, Y. 2007. Study of agronomic characteristic and cold hardiness in Pea genotypes in an Utumn rainfed sowing conditions. *Seed and Plant* 23: 489-503. (In Persian with English Summary)
- Gholipoor, M., and Soltani, A. 2009. Future climate impacts on pea in Iran. *Reserch Journal Environment Science* 3: 16-28.
- Jalilian, J., Modarese Sanavi, S.A.M., and Sabbaghpour, S.H. 2005. Effect of plant density and supplemental irrigation on yield, yield components and protein content of pea cultivars under dry land condition. *Journal Agriculture Science and Nature Resources* 5: 1-9. (In Persian with English Summary)
- Kanouni, H. 2016. The present status and future prospects of agriculture chickpea production in the Iran. Sixth National Conference, 5 May, Khorram Abad, Iran p. 49. (In Persian)
- Kanouni, H., Khalily, M., and Malhotra, R.S. 2009. Assessment of cold tolerance of Pea at rainfed highlands of Iran. *American-Eurasian Journal Agriculture and Environment Science* 5: 250-254.
- Kanouni, H., Taleei, A., and Okhovat, M. 2011. Ascochyta blight of pea breeding strategies for resistance. *International Journal of Plant Breeding and Genetics* 5: 1-22.
- Kazemi, H., and Sadegi, S. 2014. Land suitability evaluation of Aq-Qalla region for rainfed chickpea cropping by Boolean logic and analytical hierarchy process (AHP). *Iranian Journal of Dry Farming* 1: 1-19. (In Persian with English Summary)
- Khoshhal Dastjerdi, J., and Mostafavi Owners, S.M. 2013. *Meteorological Agricultural Crops*. The Science Done Isfahan, Isfahan, Iran 532 pp. (In Persian)
- Malhotra, R.S., and Singh, K.B. 1991. Gene action for cold tolerance in pea. *Theoretical and Applied Genetics* 82: 598-601.
- Ministry of Jihad Agriculture. 2014. *Statistics of agricultural for field crop cultivation*. (In Persian)
- Naderi, H., Shokrpur, M., Ali, A., Homaun, K., and Esfandiari, E. 2013. Evaluation of cold tolerance in autumn sowing Pea phonological and morphological traits used in the Kurdistan region. *Iranian Journal of Cereals* 1: 80-69. (In Persian with English Summary)
- Namdarian, K., Naseri, A., Izadpanah, Z., and Maleki, A. 2015. Comparsion the FAO Penman-Monteith method and class evaporation pan with lysimeter data in estimating evapotranspiration in Khorramabad. *Iranian Journal of Pulses Research* 1: 92-99. (In Persian with English Summary)
- Naseri, R., Rahimi, M.J., Siyadat, S.A., and Mirzaei, A. 2015. The effects of supplementary irrigation and different plant densities on morphological traits, yield and its components and protein content of chickpea in Sirvan region in Ilam province. *Iranian Journal of Pulses Research* 1: 78-91. (In Persian with English Summary)
- Nasroollahi, N., Kazami, H., and Kamkar, B. 2015. Feasibility of annual alfalfa cropping in Aq. Qalla town ship (Golestan Province). *Journal of Agroecology* 7(3): 397-411. (In Persian with English Summary)
- Nezami, A., Sedaghatkhahi, H., Porsa, H., Parsa, M., and Bagheri, A.R. 2010. Evaluation of autumn sowing pea

- genotypes of cold tolerant under supplemental irrigation. *Iranian Journal of Field Crops Research* 8: 415-423. (In Persian with English Summary)
- Pirzadeh Moghaddam, M., Bagheri, A., and Malekzadeh-Shafaroudi, S., and Ganjeali, A. 2014. Multivariate statistical analysis in chickpea under limited irrigation. *Iranian Journal of Pulses Research* 2: 99-110. (In Persian with English Summary)
- Potop, V., Martin Mozny, M., and Soukup, J. 2012. Drought evolution at various time scales in the lowland regions and their impact on vegetable crops in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology* 156: 121-123.
- Saaty, T.L. 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal Services Sciences* 1: 83-98.
- Sadeghipour, O., and Aghaei, P. 2012. Comparison of autumn and spring sowing on performance of pea varieties. *International Journal of Biosciences* 2: 49-58. (In Persian with English Summary)
- Sarmadiazadeh, F., and Taati, A. 2015. Agroecological zoning of the Qazvin area for wheat using RS and GIS. *Journal of Agroecology* 7(3): 368-380. (In Persian with English Summary)
- Singh, K.B. 1991. Winter Pea: problems and potential in the Mediterranean region. *Ciheam-Options Mediterranean's* 9: 25-34.
- Soltani, A., and Sinclair, T.R. 2012. Optimizing pea phenology to available water under current and future climates. *European Journal of Agronomy* 38: 22-31.
- Summerfield, R.J., Roberts, E.H., and Hadley, P. 1987. Photothermal effects on flowering in chickpea and other grain legumes. In: *Adaptation of Chickpea and Pigeonpea to Abiotic Stress* p. 33-48. Proc. of the Consultation Workshop, 19-21 Dec. 1984, ICRISAT. Patancheru, India: ICRISAT.
- Zafarani, M., Nezami, A., Ziaee, S.M., and Jabbari, M. 2015. Possibility of Pea autumn planting in Saravan condition. *Iranian Journal of Pulses Research* 1: 23-32. (In Persian with English Summary)
- Zolfaghari, H., Fatahneya, A., and Shahriar, M. 2015. Determine suitable land cultivation in Kermanshah province using data on climate and the environment. *Researches in Geography* 2: 179-190.



Zoning Agroclimatic Chickpea in the GIS Environment Case Study: Ardebil Province

B. Sobhani^{1*} and Y. Hasanzadeh²

Submitted: 23-08-2016

Accepted: 15-04-2017

Sobhani, B., and Hasanzadeh, Y. 2018. Zoning Agroclimatic chickpea in the GIS environment. Case study: Ardebil Province. Journal of Agroecology. 10(3): 733-746.

Introduction

In many parts of the world, there is not enough precise information about suitable land for cultivation. Understanding climate and the required parameters during the growth period of crops is the most important factor in the zoning Agroclimate. In Iran, lentils with acreage of 240 thousand hectares and the production of 166 thousand tons per year after the peas in second place is important. Agro-ecological zoning is one of the land evaluating method that can be used to find better lands and improve the planning and management of land resources. The purpose of this research, zoning Agroclimatic Ardebil Province for the cultivation of lentils, In order to identify the characteristics of land resources for the planning and organize and optimal land, Assessing of land suitability, in any of the zone by using AHP is Agroclimatic.

Material and Methods

Ardebil Province is in northwestern Iran, with an area of 17953 square kilometers, 1.09 percent of the country's total area. The present study was conducted across Ardebil Province which is located in 37° 25' and 39° 42' N latitude and between 47° 03' and 48° 55' E longitude. Data used in this research; climatic factors such as rainfall, temperature, relative humidity, sunshine duration and degree-days during the growing season are the data of 37 synoptic and meteorological and data physiographic such as elevation, slope, aspect, soil and land use map of the study area were collected from relevant organizations. By performing the necessary calculations using SPSS and EXCEL software, the database was formed in GIS environment. Then for each of the parameters in the GIS environment with generalized point data, linear and polygon surrounding surfaces (Interpolation) were performed, as the data layers and maps. Each of the layers of the study, based on favorable climatic requirements lentils were categorized based on AHP.

Results and Discussion:

According to the purpose of this study, the role of the main criteria such as Climate, Soil, Physiography and land use criteria selected under Options AHP were calculated and then using the weighted important factor, weight and final weight of all criteria were determined.

Lentil planting zoning based on climatic factors: Data of climatic elements during the growing season lentils have an influential role. The sudden change of climate data is effective on crop yield. In this study, the rate of climate data based on hierarchical, weight coefficient was determined as follows: Temperature 0.382, precipitation 0.250, humidity 0.160, sunshine hours 0.101, evaporation 0.064 and wind 0.043. By overlaying maps of climatic elements, about 20.42 percent with a very suitable, 37.75 percent was suitable, 24.47 percent average and 17.34 percent of conditions are unsuitable for cultivation of lentils.

Zoning planting lentils, based on physiographic factors: For evaluation the cultivation of lentils, map each datas, elevation, slope and aspect were prepared in GIS environment. Based on the favorable climatic lentils product to physiographic factors, weighting layers were based on AHP. Therefore, the height by a factor of 0.614, slope 0.268 and slope were determined 0.117. By combining maps of physiographic province, 22.68 percent has a very suitable, 21.11 percent suitable, 17.33 percent average and 38.86 percent conditions are

1 and 2- Associate Professor and Graduate M.Sc.Student of the Department of Climatology, Climatology, Faculty of Humanities, Mohaghegh Ardebil University, Iran, Respectively

(*- Corresponding Author Email: sobhani@uma.ac.ir)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.57287

unsuitable for cultivation of lentils.

Zoning lentil cultivation, on the basis of physiographic and climatic elements: By combining all the maps of climatic and physiographic factors that were prepared based on hierarchical method weighting coefficient, the final zoning map Agroclimate lentil cultivation in this province was prepared. Based on the final map, in Ardebil province about 17% very suitable, 32% was suitable, 27% moderately and 24% had poor conditions for the cultivation of lentils.

Conclusion

This study aimed to Agroclimate land zoning for planning agriculture in the province of Ardabil. Based on the favorable climate condition for lentil crop, land evaluation of each data was done for production of lentils. So the the main criteria including; climate 0.565 factor, physiographic by a factor of 0.262, soil 0.188 and land the highest weight by a factor of 0.055 respectively has an effective role in the lentils, as well as minimum temperature during the growing season and maximum temperatures and low rainfall (during seed germination and flowering) altitude and the high slope is the limiting factor for the cultivation of lentils in the province.

Keywords: AHP, Ardabil Prvince, Climate, GIS, Lentil Crop, Physiography

بررسی اثرات پرایمینگ و تنش کم‌آبی بر رشد و عملکرد آفتابگردان آجیلی (*Helianthus annuus* L.)

امیررضا صادقی بختوری^{۱*}، بهمن پاسبان اسلام^۲ و نسترن حاجی‌زاده اصل^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۱۶

صادقی بختوری، ار.، پاسبان اسلام، ب.، و حاجی‌زاده اصل، ن. ۱۳۹۷. بررسی اثرات پرایمینگ و تنش کم‌آبی بر رشد و عملکرد آفتابگردان آجیلی (*Helianthus annuus* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳): ۷۴۷-۷۶۳.

چکیده

به‌منظور بررسی اثر پرایمینگ و تنش کم‌آبی بر رشد و عملکرد آفتابگردان آجیلی (*Helianthus annuus* L.) آزمایشی در دانشگاه شهید مدنی آذربایجان به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در تابستان ۱۳۹۳ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل فاکتور پرایمینگ در چهار سطح (آب یا نیتروکسین، آب یا اکسین، آب مقطر (شاهد) و بدون پرایمینگ) و فاکتور تنش کم‌آبی در سه مرحله (ساقه رفتن، پر شدن دانه و شاهد (بدون تنش در کل دوره رشد)) بودند. نتایج آزمایش نشان داد که تمامی صفات مورد بررسی تحت تأثیر اثرات اصلی پرایمینگ و تنش کم‌آبی قرار گرفتند. پیش تیمار کردن بذرها سبب افزایش معنی‌داری در سرعت رشد مطلق بوته و طبق، قطر طبق، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و نسبت مغز دانه به کل دانه و کاهش درصد دانه‌های پوک در طبق شد. اما تنش کم‌آبی باعث کاهش تمامی صفات، به‌جز درصد دانه‌های پوک گردید. تنش کم‌آبی در مرحله پر شدن دانه باعث بیشترین کاهش عملکرد دانه در بوته در واحد سطح گردید. بیشترین مقدار عملکرد دانه در پرایمینگ آب با نیتروکسین به دست آمد. نتایج کلی این تحقیق، بیانگر این بود که پرایمینگ کردن بذور باعث کاهش اثرات سوء تنش کم‌آبی از طریق تحریک رشد و تقسیم سلولی و افزایش بنیه اولیه گیاهچه شده و همچنین می‌تواند در افزایش اجزای عملکرد و عملکرد آفتابگردان آجیلی عاملی مؤثر برای دستیابی به کشاورزی پایدار باشد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌تیمار بذر، تنش رطوبتی، عملکرد دانه

مقدمه^۱

napus L.) و بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) چهارمین دانه روغنی زراعی یک‌ساله جهان است که به‌خاطر روغن خوراکی آن کشت می‌شود (Jamshidi et al., 2009). در همین راستا، توسعه کشت آفتابگردان بخش مهمی از برنامه‌های کشاورزی را تشکیل می‌دهد. بر اساس گزارش فائو سطح زیر کشت آفتابگردان در ایران طی سال‌های اخیر حدود ۸۲۵۰۰ هکتار با میانگین عملکرد حدود ۲۶۸۰ کیلوگرم در هکتار بوده است (FAO, 2015). آفتابگردان آجیلی از محصولاتی است که عمدتاً به‌صورت آجیلی و بعضاً در برخی صنایع غذایی مورد استفاده داشته و در بین ایرانیان و برخی کشورهای جهان جایگاه ویژه‌ای دارد (Choobforoush-Khoei et al., 2012). از دیدگاه تغذیه، روغن آفتابگردان به‌دلیل داشتن مقادیر فراوانی از اسیدهای چرب اشباع نشده نظیر اسید اولئیک و اسید

روغن‌ها از مواد عمده و اساسی در تغذیه انسان به‌شمار می‌روند و از طرف دیگر نیاز به تأمین روغن سبب افزایش کشت دانه‌های روغنی در ایران و جهان طی سال‌های اخیر شده است. در بین گیاهان زراعی، آفتابگردان به‌عنوان یکی از منابع مهم تأمین‌کننده روغن غیر قابل انکار است (Seile et al., 2017). آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) پس از سویا (*Glycine max* L.)، کلزا (*Brassica*

۱ و ۳- به‌ترتیب استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان
۲- دانشیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی
(Email: sadeghi.amir1@yahoo.com * - نویسنده مسئول)

لینولئیک می‌باشند که در حالت معمول به ترتیب ۲۰ و ۷۰ درصد کل اسیدهای چرب دانه آفتابگردان را تشکیل می‌دهد (Pal et al., 2015).

تنش‌های محیطی از عوامل مهم کاهش محصولات کشاورزی در دنیا هستند و گیاهان در طول دوره رشد در معرض تنش‌های غیر زنده محیطی مختلفی قرار می‌گیرند (Xu, 2016). در بین تنش‌های محیطی، خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده در تولید محصولات کشاورزی در سراسر دنیا بوده که بیش از ۴۵ درصد از زمین‌های کشاورزی به‌طور دائم در معرض خشکی قرار دارند. لذا در آینده، بیشترین تلاش‌ها در جهت تولید بیشتر محصول در شرایط کم‌آبی خواهد بود به‌عبارت دیگر، باید محصول بیشتری در ازای هر قطره آب تولید کرد (Sinaki et al., 2007). یکی از مهم‌ترین مدیریت‌های مزرعه برای دستیابی به شرایط مطلوب رشد جامعه گیاهی و عملکرد مناسب، تأمین آب کافی می‌باشد تا گیاه در مراحل حساس دچار تنش رطوبتی نگردد.

خشکی به‌طور نامطلوبی جوانه‌زنی، رشد گیاه و در نهایت تولید محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تنش خشکی، یکی از تنش‌های چند بعدی است و سبب اثرات فیزیولوژیکی متفاوتی در گیاهان می‌شود (Ramírez et al., 2011). میزان خسارت وارده به گیاه در اثر تنش خشکی بسته به طول دوره تنش خشکی، زمان وقوع تنش، فراوانی وقوع تنش خشکی، نوع گیاه و ویژگی‌های ذاتی خاک متفاوت می‌باشد (Joshi et al., 2014).

آفتابگردان به دلیل وجود سیستم ریشه‌ای گسترده و دارا بودن کرک‌های زبر و خشن در ساقه، برگ و دم برگ تا حدودی در برابر خشکی متحمل است (Angadi & Entz, 2002). با این حال، تنش محدودیت آب در دوره گلدهی، تعداد دانه در طبق و در مرحله پر شدن دانه‌ها، عملکرد دانه را به‌نحو قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد (Mazaheri laghab et al., 2001).

جوانه‌زنی اولین مرحله نمو گیاه است که از مراحل مهم و حساس در چرخه زندگی گیاهان بوده و یک فرآیند کلیدی در سبز شدن گیاهچه می‌باشد. این مرحله از رشد به‌شدت تحت تأثیر عوامل محیطی به‌ویژه دما و رطوبت خاک قرار می‌گیرد، جوانه‌زنی غیرهمزمان و کند، یکی از صفات نامطلوب بذر گیاهان زراعی می‌باشد (Najafi et al., 2010). راهکارهایی که محققان برای بهبود و یکنواختی جوانه‌زنی و سرعت سبز شدن پیشنهاد می‌کنند پرایمینگ

بذر می‌باشد. مطالعات زیادی درباره تأثیرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی پرایمینگ روی دانه‌های مختلف حبوبات انجام شده و نتایج نشان داده است که تیمار پرایمینگ قادر به بهبود فرآیند جوانه زنی و ایجاد مقاومت تحت شرایط تنش است. علاوه بر تأثیرات پرایمینگ روی بهبود رشد و جوانه‌زنی گیاهان و افزایش مقاومت آن‌ها به تنش‌های محیطی است. شیوه‌های مختلف پرایمینگ باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزی شده، به‌علت قابلیت دسترسی آسان گیاهچه به مواد غذایی در طول جوانه‌زنی، در بذره‌ای پرایمینگ شده، جوانه زنی سریع‌تر اتفاق افتاده و همچنین در زمان کوتاه‌تری فرآیند جوانه‌زنی تکمیل می‌شوند (Nonami et al., 1995). براساس مطالعات صورت گرفته پرایمینگ بذر در شرایط مزرعه‌ای نیز نتایج رضایت‌بخشی را در گیاهان مختلف به همراه داشته است. به‌طوری که با کاهش پتانسیل ماتریک خاک و تنش ناشی از آن، اثر مثبت پرایمینگ بذر گیاهان ذرت (*Zea mays* L.) و پنبه (*Gossypium herbaceum* L.) بر صفات وزن خشک و طول اندام‌های هوایی گیاه گزارش شده است (Murungu et al., 2004).

بنابراین با توجه به اهمیت بسیار بالای گیاه آفتابگردان و بهبود مدیریت آب کشاورزی به‌منظور تولید محصولات با حداقل مصرف آب و این‌که اطلاعات محدودی در زمینه کاربرد پرایمینگ در شرایط تنش کم‌آبی روی گیاه آفتابگردان صورت گرفته است انجام این تحقیق ضروری به‌نظر رسید. هدف اصلی از انجام این آزمایش، ارزیابی اثرات مثبت و منفی پرایمینگ تحت شرایط تنش کم‌آبی روی برخی صفات مهم آفتابگردان آجیلی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در دانشگاه شهید مدنی آذربایجان با طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۹۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۸۱ دقیقه شمالی و ۱۳۱۸/۸ متر ارتفاع از سطح دریای آزاد قرار گرفته است، در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۳ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل دو عامل تنش کم‌آبی در مرحله (ساقه رفتن، پر شدن دانه و بدون تنش) و پرایمینگ (آب و نیتروکسین ۰/۰۵ گرم در یک لیتر آب)، آب و اکسین ۰/۰۵ گرم در یک لیتر آب)، آب مقطر و بدون پرایمینگ) و با سه تکرار بود. در این بررسی از یک رقم آفتابگردان آجیلی توده محلی صوفیان استفاده شد. بذور مربوطه از محل‌های

جولوگیری از خسارت گنجشک در مرحله تشکیل و پر شدن دانه، تمام طبق‌ها توسط توری پوشانده شدند. پس از رسیدگی فیزیولوژیک در کرت‌های مربوطه، عمل برداشت انجام پذیرفت.

صفات مورد اندازه‌گیری

در زمان برداشت دو بوته از ابتدا و انتهای ردیف هر کرت حذف و پنج بوته از هر کرت برداشت شدند. نمونه‌ها بعد از برداشت به مدت یک هفته در مقابل آفتاب قرار داده شدند تا به‌صورت کامل خشک شوند.

سرعت رشد مطلق بوته: در مرحله ساقه رفتن دو بوته از هر کرت جدا شد. این دو بوته در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت در آن خشک و سپس وزن شدند. این کار ۱۰ روز بعد نیز تکرار شد. سپس با استفاده از معادله (۱) زیر سرعت رشد بوته محاسبه گردید.

معادله (۱)

$$\text{سرعت رشد مطلق} = \frac{\text{وزن خشک ثانویه بوته} - \text{وزن خشک اولیه بوته}}{\text{فاصله زمانی دو بین نمونه برداری}} \times \text{بوته}$$

سرعت رشد مطلق طبق: در مرحله ۵۰ درصد گلدهی طبق دو بوته از هر کرت جدا شد. این دو طبق در دمای ۷۵ درجه سانتی-گراد به مدت ۴۸ ساعت در آن خشک و سپس وزن شد. این کار ۱۰ روز بعد نیز تکرار شد. سپس با استفاده از فرمول زیر سرعت رشد طبق معادله (۲) محاسبه گردید (Paseban Eslam, 2015).

معادله (۲)

$$\text{وزن خشک طبق ثانویه} - \text{وزن خشک طبق اولیه} = \text{سرعت رشد مطلق طبق} \times \text{فاصله زمانی دو بین نمونه برداری}$$

قطر طبق: با استفاده از متر در موقع برداشت در دو جهت عمود بر هم، بر حسب سانتی‌متر (برای پنج بوته از هر کرت) اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها محاسبه شد.

تعداد دانه در طبق: تعداد دانه در هر طبق (برای پنج بوته از هر کرت) به‌صورت دستی شمارش گردید.

وزن هزار دانه: از هر طبق به‌صورت تصادفی ۴۰۰ عدد دانه انتخاب شده و توزین گردیده سپس وزن هزار دانه با استفاده از میانگین کل طبق‌ها به‌دست آمد.

درصد دانه‌های پوک در هر طبق: از طریق معادله (۳) تعیین گردید (Seyahjani et al., 2010).

فروش بذر از شهرستان صوفیان واقع در آذربایجان شرقی تهیه شد. بر اساس آمار هواشناسی میانگین بارندگی این ناحیه ۲۷۳/۱ میلی‌متر در سال می‌باشد که بیشترین مقدار آن ۴۲/۴ میلی‌متر در اردیبهشت ماه و کمترین مقدار آن ۲۲/۳ میلی‌متر در شهریور ماه در یک دوره ۱۰ ساله رخ داده است. میانگین دمای سالیانه ۱۱ درجه سانتی‌گراد، میانگین حداکثر و حداقل دمای سالیانه ۱۶/۵ و ۲/۷۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. میزان رس، سیلیت و شن به‌ترتیب ۳۰، ۲۸ و ۴۲ درصد و دارای خاک با بافت لومی بوده و مقدار کربن آلی خاک در حدود ۰/۷۲ درصد و pH خاک در حدود ۸/۱ در نوسان بود. آماده‌سازی زمین مورد نظر در پاییز سال ۱۳۹۲ انجام شد. عملیات تکمیلی شامل شخم سطحی زمین، کودپاشی و دیسک‌زنی در نیمه اول فروردین سال ۱۳۹۳ صورت گرفت.

قبل از کاشت، جوی و پشته‌هایی به فواصل ۶۰ سانتی‌متر و در راستای شمال- جنوب ایجاد گردید. کاشت در تاریخ ۱۱ اردیبهشت سال ۱۳۹۳ انجام شد. هر کرت آزمایشی دارای چهار ردیف کاشت به طول سه متر تشکیل شده بود. کاشت بذور در محل داغ آب به‌صورت دستی و به روش کپه‌ای انجام گردید. فاصله کپه‌ها از هم ۳۰ سانتی-متر بود (تراکم ۵۵۰۰۰ بوته در هکتار) و در هر کپه ۳ تا ۴ بذر قرار داده شد. بعد از کاشت، آبیاری در همان روز انجام گرفت. جوانه‌زنی ۱۱ الی ۱۵ روز بعد از کاشت صورت گرفت. آبیاری به‌روش جوی و پشته با دور آبیاری هفت روز انجام شد. وجین اول پس از ظهور برگ-های لپه‌ای و وجین دوم در مرحله ۱۰ تا ۱۲ برگی انجام شد. تنک کردن بوته‌ها به‌دلیل احتمال حمله کرم مفتولی ریشه (آگریوتیس) در مرحله ۶ تا ۸ برگی صورت پذیرفت. عملیات پرایمینگ ۴۸ ساعت قبل از کاشت انجام شد به‌طوری که بذرها به مدت ۱۶ ساعت در محلول-های مورد نظر خیسانده شده و سپس به مدت ۲۴ ساعت در سایه خشک شدند. آبیاری بر اساس تیمارهای آزمایش اعمال گردید. اعمال زمان آبیاری با استفاده از تشتک تبخیری (به قطر ۱۲۰/۷ سانتی‌متر و عمق ۲۵ سانتی‌متر) که از قبل در مزرعه مستقر شده بود انجام گرفت. میزان تبخیر از تشتک روزانه در ساعت ۷/۵ صبح یادداشت شد. آبیاری کلیه کرت‌ها تا مرحله ساقه رفتن به‌صورت یکسان انجام شد. آبیاری کرت‌های دارای سطوح مختلف تنش خشکی با استفاده از آمار برداشت شده از تشتک تبخیر و جدول محاسبه تبخیر از تشتک کلاس A انجام شد. تنش کم آبی در دو مرحله ساقه رفتن و گلدهی گیاه بر اساس ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر صورت گرفت. برای

معدله (۳)

$$\text{تعداد کل دانه های طبق} = \frac{\text{تعداد دانه های پوک}}{\text{درصد دانه های پوک در هر طبق}} \times 100$$

نسبت وزن مغز به وزن کل دانه: مقدار ۲۰ گرم دانه از هر نمونه جدا و پس از پوست‌گیری و توزین مغز، نسبت وزن مغز دانه به کل دانه تعیین گردید.

عملکرد دانه در بوته: با تعیین عملکرد در تک بوته کرت‌ها (پنج بوته از هر کرت) و عملکرد کل کرت تعیین گردید.

آنالیز آماری

بعد از اطمینان از توزیع نرمال باقیمانده‌ها، تجزیه واریانس داده‌ها در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی و مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون دانکن توسط نرم افزار -MSTAT C انجام گرفت. همبستگی ساده صفات مورد بررسی در نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ محاسبه گردید. برای رسم جداول و نمودارهای مربوطه نیز از نرم‌افزار 2013 EXCEL استفاده شد.

نتایج و بحث

سرعت رشد مطلق بوته

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که پرایمینگ و تنش کم‌آبی روی صفت سرعت رشد مطلق بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۱). مقایسه میانگین سطوح مختلف پرایمینگ نشان داد که بیشترین سرعت رشد مطلق بوته به تیمار آب با نیتروکسین و کمترین آن مربوط به شاهد بود. مصرف نیتروکسین وزن خشک گیاه را در مقایسه با شاهد افزایش داد. این تیمارها به دلیل فراهمی نیتروژن توانسته‌اند وزن خشک بیشتری را نسبت به سایر تیمارها ایجاد کنند که در نتیجه افزایش وزن خشک سرعت رشد بوته نیز افزایش یافته است. تیمارهای آب با نیتروکسین و آب با اکسین اختلاف معنی‌داری با شاهد داشتند ولی تیمار آب مقطر اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان نداد (جدول ۲). استفاده از کودهای بیولوژیک باعث آزاد شدن هورمون‌های رشد گیاه در خاک می‌شود و این موضوع به طور مستقیم یا غیرمستقیم باعث بهبود رشد و نمو محصولات زراعی می‌گردد (Sajadi Nik et al., 2011). محققان دیگر نیز گزارش کردند کود بیولوژیک نیتروکسین بر ارتفاع، طول

سنبله و سایر شاخص‌های رشد در گندم (*Triticum aestivum* L) تأثیر معنی‌داری دارد (Sharifi & Hagh Nia, 2006). محققان نشان دادند که اعمال پرایمینگ روی بذر به‌طور معنی‌داری وزن خشک کل گیاه را در مقایسه با شاهد افزایش می‌دهد (Moradi et al., 2009). مقایسه میانگین سرعت رشد مطلق بوته در سطوح مختلف تنش کم‌آبی مشخص نمود که بیشترین کاهش سرعت رشد مطلق بوته مربوط به تنش در مرحله ساقه رفتن بود و اختلاف معنی‌داری با شاهد داشت، اما تنش در مرحله پر شدن دانه اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان نداد (جدول ۲). تنش شدید منجر به بسته شدن روزنه‌ها و کاهش جذب دی‌اکسید کربن شده و به‌طور غیرمستقیم تولید ماده خشک را کاهش می‌دهد و در نهایت، از وزن تک بوته کاسته می‌شود. با افزایش درصد رطوبت، میزان ماده خشک تولید شده در واحد سطح افزایش پیدا می‌کند. در مطالعه‌ای محققان گزارش کردند که بیشترین وزن خشک ساقه و برگ آفتابگردان را در شاهد و کمترین آن را در تیمار اعمال تنش کمبود آب به‌دست آمد (Halaji, 2004).

سرعت رشد مطلق طبق

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که پرایمینگ بذر و تنش کم‌آبی روی صفت سرعت رشد مطلق طبق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۱). مقایسه میانگین سطوح مختلف پرایمینگ مشخص نمود که تیمارهای آب با نیتروکسین و آب با اکسین اختلاف معنی‌داری با شاهد داشتند، ولی تیمار آب مقطر اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان نداد. بیشترین سرعت رشد مطلق طبق مربوط به تیمار آب با نیتروکسین و کمترین آن مربوط به شاهد بود (جدول ۲). در این تیمارها به‌علت تحریک رشد و استفاده بهینه از منابع، ماده خشک بیشتری در واحد سطح تولید شد و به‌علت استقرار سریع‌تر گیاهان به دنبال جوانه‌زنی زودتر، فتوسنتز افزایش یافت و در نتیجه تولید تجمع ماده خشک در واحد سطح از سایر تیمارها بیشتر بود که این نیز باعث افزایش سرعت رشد طبق گردید. محققین گزارش کردند سرعت رشد محصول سویا و برنج (*Oryza sativa* L) در گیاهان پرایمینگ شده نسبت به گیاهان شاهد بیشتر بود و نیز نشان دادند که اعمال روش‌های مختلف پرایمینگ سبب افزایش معنی‌دار سرعت رشد محصول در برنج گردید (Farooq et al., 2006).

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه در آفتابگردان آجیلی تحت تأثیر پرایمینگ و تنش کم آبی
 Table 1- Analysis of variance (mean of squares) for study characteristics of sunflower nuts affected as priming and water stress

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	سرعت رشد مطلق بوته Plant growth rate	سرعت رشد مطلق طبق Head growth rate	سرعت طبق Head diameter	تعداد دانه در طبق No. of seed per head	وزن هزار دانه 1000-seeds weight	عملکرد دانه در هکتار Seed yield per hectare	نسبت وزن مغز به وزن کل دانه Kernel to seed ratio	درصد دانه‌های پوک در طبق Percentage of unfilled seeds
تکرار Replication	2	4.949	0.401	0.03	6799.85	218.59	404646.69	0	0.13
پرایمینگ Priming (P)	3	18.848**	2.855**	16.16**	84994.50**	5246.54**	3123126.89**	0.009**	7.82**
تنش کم آبی Water stress (W)	2	63.295**	25.471**	160.598**	81571.48**	8344.42**	4605356.77**	0.101**	9.57**
پرایمینگ × تنش کم آبی (W)	6	2.796	0.837	1.235	9395.94	636.30	575242.55	0.001	2.51
خطای آزمایش Error	22	1.758	0.406	0.54	7786.38	373.52	4111476.30	0.001	1.19
ضریب تغییرات Coefficient of Variation (%)	---	12.96	10.22	3.15	8.98	8.17	11.07	4.67	6.34

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.
 * and ** significant at $P \leq 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.

تنش در مرحله ساقه رفتن بود (جدول ۲). در شرایط آبیاری محدود، کمبود رطوبت قابل دسترس خاک موجب اختلال در فتوسنتز و عدم رشد کافی به همراه بیشتر شدن رقابت برای تخصیص مواد فتوسنتزی بین اندام‌های گیاه و در نهایت، کاهش وزن و میزان حجم تولیدی اندام‌های زایشی (طبق) می‌شود (Daneshian et al., 2005). نتایج آزمایش نشان می‌دهد که حداقل خشکی بر اندازه مخزن تأثیر منفی می‌گذارد. بنابراین، به‌خوبی واضح است که تنش خشکی می‌تواند هم با تأثیر بر منبع و هم بر مخزن سبب کاهش عملکرد نهایی شود. اثر تنش خشکی روی کاهش قطر طبق توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Andria et al., 1995; Soleymani et al., 2016).

تعداد دانه در طبق

تعداد دانه در طبق یکی دیگر از صفات بسیار مهم در تعیین عملکرد دانه آفتابگردان است که متأثر از میزان آب قابل دسترس گیاه است و تحت شرایط کم‌آبی کاهش می‌یابد. براساس جدول ۱ پرایمینگ و تنش کم‌آبی برای صفت تعداد دانه در طبق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. با توجه به مقایسه میانگین تعداد دانه در طبق در سطوح پرایمینگ تیمارهای آب با نیتروکسین و آب با اکسین اختلاف معنی‌داری با شاهد داشتند و تیمار آب مقطر اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان نداد که بیشترین تعداد دانه در طبق مربوط به تیمار آب با نیتروکسین بود (شکل ۱). به نظر می‌رسد تأثیر مثبت این باکتری‌ها بر اندام‌های زایشی سبب افزایش تعداد دانه در طبق گردیده است. محققان گزارش کردند که استفاده از باکتری‌های محرک رشد سبب افزایش تعداد دانه در نیام سویا می‌گردد (Sogut, 2006). هریس و همکاران (Harris et al., 2007) نیز گزارش دادند که پرایمینگ بذر باعث افزایش تعداد دانه در ردیف ذرت می‌گردد. در مطالعه‌ای محققان گزارش کردند که پرایمینگ بذر موجب افزایش تعداد دانه نخود در واحد سطح می‌گردد (Ghassemi-Golezani et al., 2008). در تحقیق حاضر نتایج مقایسه میانگین سطوح تنش کم‌آبی روی صفت تعداد دانه در طبق نشان داد، تنش در مرحله ساقه رفتن و تنش در مرحله پر شدن دانه اختلاف معنی‌داری با هم نداشته ولی با شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند که بیشترین کاهش در تعداد دانه در طبق مربوط به تنش در مرحله ساقه رفتن بود (شکل ۲).

دیگر محققان معتقدند افزایش سرعت رشد عمدتاً در نتیجه جوانه زنی سریع‌تر و استقرار یکنواخت‌تر بوته‌ها در تیمارهای پرایمینگ است. قاسمی‌گل‌نازی و همکاران (Ghassemi-Golezani et al., 2008) نیز نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند. مقایسه میانگین سرعت رشد مطلق طبق در سطوح تنش کم‌آبی مشخص نمود که بیشترین کاهش سرعت رشد مطلق طبق مربوط به تنش در مرحله ساقه رفتن بود و با شاهد اختلاف معنی‌داری داشت. کاهش میزان فتوسنتز در شرایط تنش خشکی و تحریک پیری برگ و در نتیجه کاهش تولید مواد فتوسنتزی یک دلیل عمده کاهش سرعت رشد می‌تواند باشد که با نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر مطابقت دارد. در این آزمایش تنش در مرحله پر شدن دانه اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان نداد (جدول ۲). تنش در هر مرحله از رشد گیاه که اتفاق بیافتد باعث کاهش وزن خشک طبق می‌گردد، گزارش شده که سطوح مختلف تنش کم‌آبی بر روی وزن خشک طبق تأثیر معنی‌داری می‌گذارد و از وزن خشک طبق کاسته می‌شود که این کاهش باعث افت سرعت رشد طبق می‌شود که با نتایج به دست آمده مطابقت دارد (Halaji, 2004).

قطر طبق

پرایمینگ بذر و تنش کم‌آبی بر صفت قطر طبق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۱). مقایسه میانگین قطر طبق در سطوح مختلف پرایمینگ نشان داد که بیشترین قطر طبق مربوط به تیمار آب با نیتروکسین و کمترین آن مربوط به تیمار آب مقطر بود. ریز جانداران موجود در کودهای زیستی که در محیط ریشه استقرار یافته‌اند تأثیر مثبتی بر رشد گیاه از جمله قطر طبق دارند این موجودات با سنتز موادی از جمله اکسین می‌توانند رشد و تکثیر سلولی را افزایش داده و به تبع آن، قطر طبق را نیز افزایش دهند. در تحقیق حاضر تیمار آب مقطر اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت ولی تیمارهای آب با نیتروکسین و آب با اکسین اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان دادند (جدول ۲). بر مبنای بررسی‌های انجام شده در آفتابگردان، مصرف کودهای زیستی باعث افزایش قطر طبق شده است (Akbari et al., 2009). قطر طبق در هر سه مرحله تنش کم‌آبی اختلاف معنی‌داری با هم داشتند و بیشترین کاهش مربوط به

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر نوع پرایمینگ و تنش خشکی بر برخی صفات آفتابگردان

Table 2- Mean comparisons of effects of priming and drought stress in sunflower characteristics

Treatments تیمارها	سرعت رشد مطلق بوته (گرم بر روز) Plant growth rate (g.day ⁻¹)	سرعت رشد مطلق طبق (گرم بر روز) Head growth rate (g.day ⁻¹)	قطر طبق (سانتی‌متر) Head diameter (cm)	نسبت وزن مغز به وزن کل دانه Kernel to seed ratio	درصد دانه‌های یوک در طبق Percentage of unfilled seeds
پرایمینگ Priming					
آب و اکسین Water and auxin	10.89 ^{a*}	6.66 ^a	24.24 ^a	0.50 ^a	14.99 ^b
آب و نیتروکسین Water and nitr auxin	12.06 ^a	6.79 ^a	24.71 ^a	0.51 ^a	14.80 ^b
آب مقطر Hydro priming	9.47 ^b	5.79 ^b	22.13 ^b	0.45 ^b	19.53 ^a
شاهد (بدون خیساندن) Control	8.83 ^b	5.72 ^b	22.24 ^b	0.46 ^b	19.76 ^a
تنش کم‌آبی Water stress					
تنش در مرحله پر شدن دانه Water deficit stress at seed filling stage	11.23 ^a	7.15 ^a	24.99 ^b	0.38 ^c	22.57 ^a
تنش در مرحله ساقه رفتن Water deficit stress on during stem stage	7.70 ^b	4.56 ^b	19.14 ^c	0.51 ^b	15.33 ^b
شاهد (بدون تنش) Control	12.02 ^a	7.01 ^a	25.88 ^a	0.55 ^a	13.89 ^c

* میانگین‌هایی که برای هر جزء در هر ستون دارای حروف مشابه می‌باشند، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

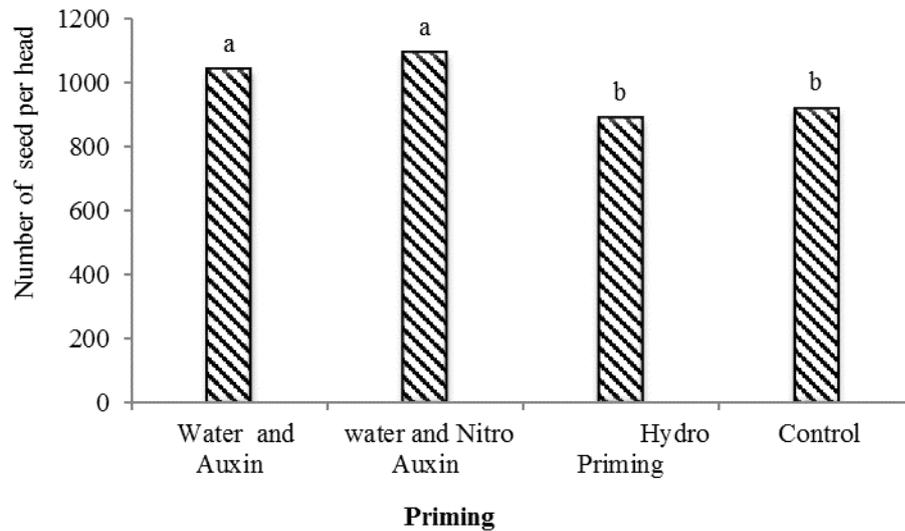
* Means within a column for each component followed by the same letters have not significantly difference based on Duncan test (p≤0.05).

نمایند (Vilalobos et al., 1996).

وزن هزار دانه

وزن دانه‌های آفتابگردان به‌عنوان یکی از اجزای مهم عملکرد است که کمیت آن به مرحله پر شدن دانه‌ها وابسته است. در این آزمایش وزن هزار دانه تحت تأثیر هر دو فاکتور پرایمینگ و تنش کم‌آبی قرار گرفت و این دو فاکتور در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند، اما اثر متقابل این دو فاکتور معنی‌دار نشد (جدول ۱). طبق مقایسه میانگین پرایمینگ آب با نیتروکسین و آب با اکسین اختلاف معنی‌داری با هم نداشته ولی با شاهد اختلاف معنی‌داری نشان دادند. بیشترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار آب با نیتروکسین و کمترین وزن هزار دانه مربوط به آب مقطر بود (شکل ۳). کمبود نیتروژن باعث متوقف شدن رشد اندام‌های هوایی به‌خصوص دانه‌ها می‌گردد.

طرح اولیه گل‌ها در آفتابگردان قبل از مرحله گلدهی شروع می‌شود، زیرا براساس تعریف شروع گلدهی زمانی است که گل‌های شعاعی طبق شروع به باز شدن می‌کنند و واضح است که در این هنگام بخش عمده‌ای از رشد و نمو گل‌آذین انجام شده است. لذا اعمال تنش خشکی قبل از دوره گل‌دهی که در این تحقیق مرحله ساقه رفتن می‌باشد، سبب کاهش تعداد گل و نهایتاً تعداد دانه در گل‌آذین می‌گردد. در اثر کاهش فتوسنتز به‌واسطه تنش خشکی، تولید سلول‌های بنیادی کاهش یافته و در نتیجه تعداد دانه کمتری در طبق تولید می‌شود، همچنین در مرحله رویشی کمبود آب باعث کاهش قدرت منبع در انتقال مواد فتوسنتزی شده و همین عامل در افت تعداد گلچه‌های بارور سطح طبق و در نتیجه تعداد دانه در طبق مؤثر می‌باشد (Baydar et al., 2010). نتایج سایر محققان نیز نشان داد که تعداد دانه در طبق تحت تأثیر شرایط محیطی حاد طی دوره زمانی قبل از شروع گرده‌افشانی و تا مدتی بعد از آن تغییر می‌-

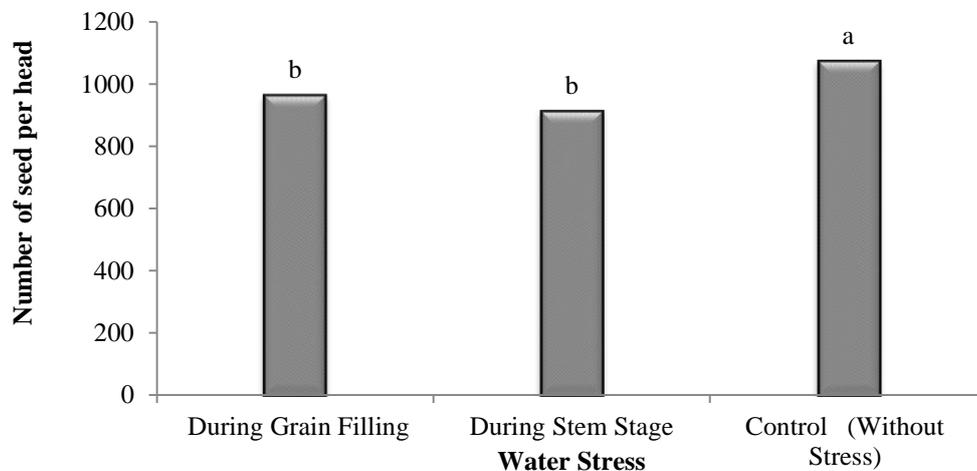


شکل ۱- مقایسه میانگین تأثیر روش‌های مختلف پرایمینگ بر تعداد دانه در طبق آفتابگردان

Fig. 1- Mean comparisons for the effect of different methods of priming on number of seed per head of sunflowers

* میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Means followed by the same letters have not significantly difference based on Duncan test ($p \leq 0.05$).



شکل ۲- مقایسه میانگین تأثیر تنش کم آبی بر تعداد دانه در طبق آفتابگردان

Fig. 2- Mean comparisons for the effect of deficit water stress on number of seed per head of sunflowers

* میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Means followed by the same letters have not significantly difference based on Duncan test ($p \leq 0.05$).

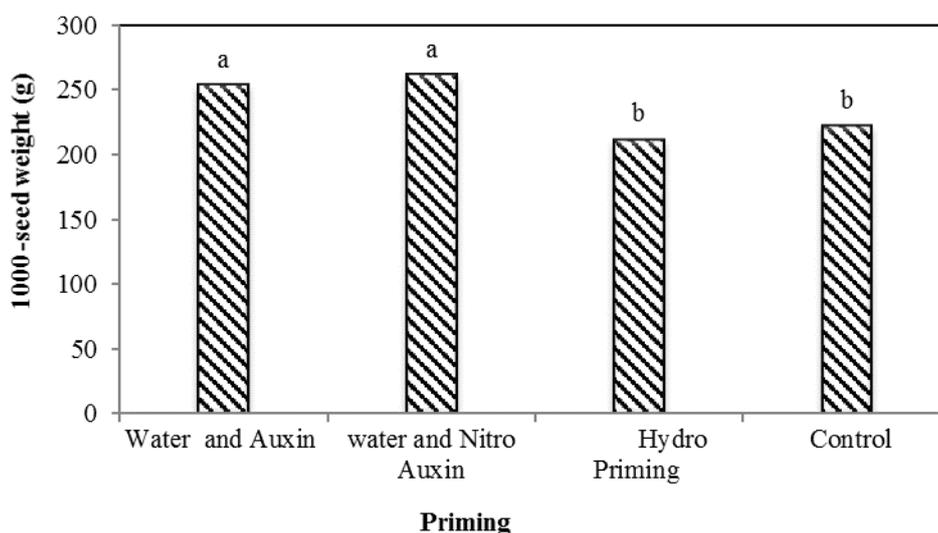
آفتابگردان داشتند (Rezvani et al., 2010; Pirasteh Anousheh et al., 2010). در مطالعه‌ای محققین نیز افزایش وزن هزار دانه گندم در اثر پرایمینگ بذور را گزارش نمودند (Farooq et al., 2006). طبق گزارش محققین تلقیح بذر با نیتروکسین افزایش

در این آزمایش با مصرف نیتروکسین وزن هزار دانه افزایش یافت این امر می‌تواند به دلیل کارایی جذب و مصرف اوره بیشتر گیاهان حاصل از بذره‌ای پرایم شده نسبت به گیاهان حاصل از بذره‌ای پرایم نشده باشد. کودهای زیستی تأثیر معنی‌داری در افزایش وزن هزاردانه

عملکرد دانه در واحد سطح

در تحقیق حاضر تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده این بود که پرایمینگ و تنش کم‌آبی برای عملکرد دانه در واحد سطح معنی‌دار بودند (جدول ۱). در نتیجه مقایسه میانگین سطوح مختلف پرایمینگ مشخص شد که بیشترین عملکرد به تیمار آب با نیتروکسین و کمترین عملکرد مربوط به شاهد بود (شکل ۵). افزایش عملکرد به وسیله پرایمینگ بذری، می‌تواند به دلیل جوانه‌زنی بهتر، رشد سریع گیاهچه، استقرار مناسب و در نهایت، استفاده مطلوب از مواد غذایی و عوامل محیطی باشد. در این آزمایش تیمارهای آب با نیتروکسین و آب با اکسین اختلاف معنی‌داری با هم نداشته ولی با شاهد اختلاف معنی‌داری نشان دادند. تیمار آب مقطر اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان نداد (شکل ۶). باکتری‌های مفید موجود در نیتروکسین (ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم) قادرند با ترشح هورمون‌های رشد به افزایش عملکرد کمک کنند. همچنین دیگر محققان گزارش کردند که پرایمینگ بذور باعث بهتر شدن استقرار، رشد گیاه، گلدهی زودتر و عملکرد بیشتر شد (Harris et al., 2002).

معنی‌دار در وزن هزاردانه کنجد (*Sesamum indicum* L.) ایجاد کرده است (Sajadi Nik et al., 2011). مقایسه میانگین وزن هزار دانه در سطوح تنش کم‌آبی نشان‌دهنده این بود که تنش در مرحله ساقه روی با شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت، در حالی‌که تنش در مرحله پر شدن دانه اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان داد. بیشترین کاهش در وزن هزار دانه مربوط به تنش در مرحله پر شدن دانه بود (شکل ۴). در شرایط تنش رقابت دانه‌های موجود در یک طبق، بر سر مصرف مواد فتوسنتزی محدود باعث کاهش وزن هزار دانه می‌گردد. همچنین از دلایل کاهش وزن هزار دانه در شرایط دیم (تنش خشکی) نسبت به حالتی که آبیاری تکمیلی انجام شده است، می‌توان به کاهش انتقال مواد از آوند آبکش که مواد اصلی را تأمین می‌کند اشاره کرد. همچنین تنش کم‌آبی، فتوسنتز و مصرف مواد فتوسنتزی را در برگ‌های در حال توسعه کاهش می‌دهد در نتیجه، خشکی به‌طور غیرمستقیم، میزان مواد فتوسنتزی صادر شده از برگ‌ها را به‌سمت دانه کاهش می‌دهد (Brown, 1971). آبیاری در مرحله دانه‌بندی باعث افزایش اندوخته‌های غذایی و پر شدن دانه‌ها و در نتیجه افزایش وزن دانه آفتابگردان می‌گردد (Mazaheri Laghab et al., 2001).

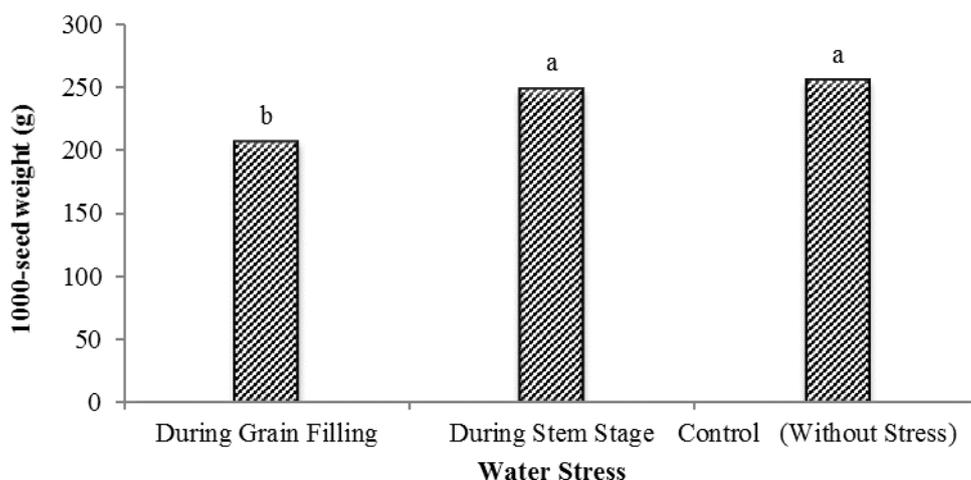


شکل ۳- مقایسه میانگین تأثیر روش‌های مختلف پرایمینگ بر وزن هزار دانه آفتابگردان

Fig. 3- Mean comparisons for the effect of different methods of priming on 1000-seed weight of sunflowers

* میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Means within a column followed by the same letters have not significantly difference based on Duncan test ($p \leq 0.05$).



شکل ۴- مقایسه میانگین تأثیر تنش کم‌آبی بر وزن هزار دانه آفتابگردان

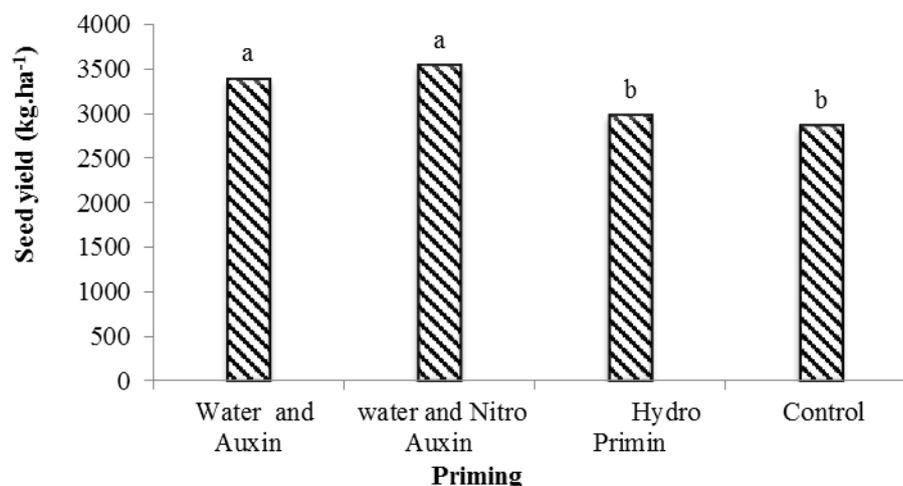
Fig. 4- Mean comparisons for the effect of deficit water stress on 1000-seed weight of sunflowers

* میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Means within a column followed by the same letters have not significantly difference based on Duncan test ($p \leq 0.05$).

تنش در مرحله پر شدن دانه بود. تنش در مرحله ساقه رفتن اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت (شکل ۶). کمبود آب می‌تواند سبب بسته شدن روزنه‌ها شده، در نتیجه میزان گاز کربنیک ورودی به گیاه نیز کاهش می‌یابد که به دنبال آن میزان فتوسنتز کم شده و این مسئله سبب کاهش اجزاء عملکرد و در نهایت، کاهش عملکرد کل بوته در واحد سطح می‌گردد. برخی از محققین علت عمده افت عملکرد دانه در اثر تنش خشکی را کاهش فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد طی دوره پر شدن دانه می‌دانند. وقتی که گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد، برای این که از اثرهای تنش فرار کند اقدام به کوتاه کردن چرخه زندگی خود می‌کند. بنابراین، به دلیل کوتاه‌تر شدن طول دوره پر شدن دانه و تأثیر منفی تنش کم‌آبی بر فتوسنتز جاری در نهایت، مواد منتقل شده به دانه کاهش و وزن هزاردانه کم می‌شود که این نیز باعث کاهش عملکرد می‌شود (Jafarzadeh Knarsry & Postini, 1998). نشان دادند که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد دانه در تمام ژنوتیپ‌های مورد مقایسه آفتابگردان شد که علت آن کاهش تعداد دانه و وزن دانه‌ها بوده است.

پیش تیمار کردن بذر با هورمون‌های رشد گیاهی نه تنها جوانه‌زنی و سبز شدن بلکه رشد و عملکرد نهایی گیاه را نیز تحت شرایط عادی و تنش آبی افزایش می‌دهد. تأثیر کود زیستی بر پارامترهای رشد، عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان بررسی و مشخص شد که کاربرد آن‌ها صفت‌های کیفی را در مقایسه با شاهد (عدم مصرف کود زیستی) بهبود بخشید (Shehata & El-Khawas, 2003). عملکرد دانه کنگد تحت تأثیر تیمار نیتروکسین قرار گرفت و تلقیح بذر با کود زیستی نیتروکسین افزایش ۸/۵ درصدی عملکرد دانه را به دنبال داشت (Sajadi Nik et al., 2011). عملکرد دانه در گیاهانی که بذر آن‌ها پرایمینگ شده بود نسبت به گیاهان پرایمینگ نشده در تمام سطوح مصرف کودی نیتروژن به صورت معنی‌داری بیشتر بود (Harris et al., 2007). از دلایل مهم دیگری که می‌توان در این زمینه بیان نمود نقش هورمون‌ها در این زمینه است. در واقع در تیمارهای تحت تنش میزان هورمون اسید آبسزیک افزایش می‌یابد که این هورمون نیز به نوبه خود از فعالیت اکسین و سیتوکینین که تقسیم و افزایش طول سلول‌ها را بر عهده دارند جلوگیری می‌کند (Andria et al., 1995). از طرفی، مقایسه میانگین عملکرد در سطوح تنش کم‌آبی نشان داد که بیشترین کاهش عملکرد مربوط به

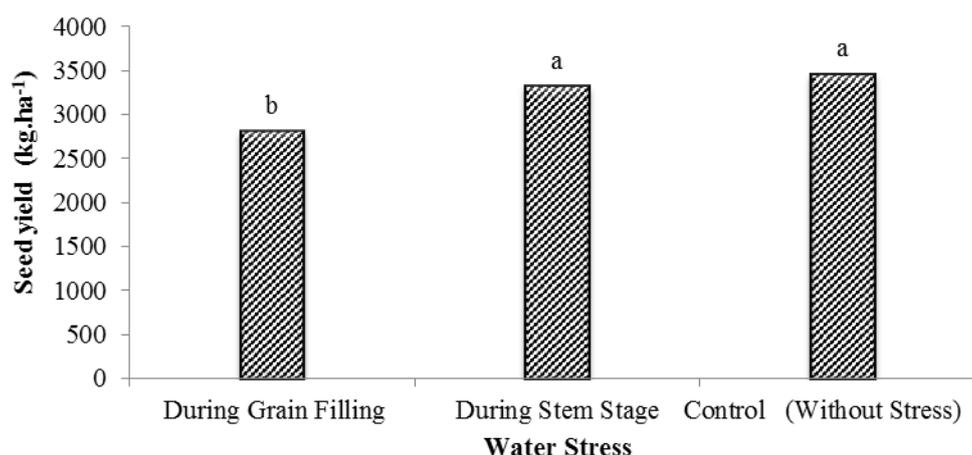


شکل ۵- مقایسه میانگین تأثیر روش‌های مختلف پرایمینگ بر عملکرد دانه آفتابگردان

Fig. 5- Mean comparisons for the effect of different methods of priming on seed yield of sunflower

* میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Means within a column followed by the same letters have not significantly difference based on Duncan test ($p \leq 0.05$).



شکل ۶- مقایسه میانگین تأثیر تنش کم آبی بر عملکرد دانه آفتابگردان

Fig. 6- Mean comparisons for the effect of deficit water stress on seed yield of sunflower

* میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Means within a column followed by the same letters have not significantly difference based on Duncan test ($p \leq 0.05$).

اختصاص داشت. تیمارهای آب با نیتروکسین و آب با اکسین با هم اختلاف معنی‌داری نداشته ولی، با شاهد اختلاف معنی‌داری نشان دادند. تیمار آب مقطر اخلاف معنی‌داری با شاهد نداشت (جدول ۲). محققین گزارش کردند که مصرف کامل سولفات پتاسیم مورد نیاز و مصرف اوره همراه با تلقیح بذر به صورت توأم با دو نوع کود زیستی نیتروژنه/ازتوباکتر و نیتروکسین، بیشترین تأثیر مثبت را بر افزایش

نسبت وزن مغز به وزن کل دانه

طبق جدول ۱ هر دو فاکتور پرایمینگ و تنش کم آبی برای صفت نسبت وزن مغز به کل دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین سطوح پرایمینگ نشان داد که تیمار آب با نیتروکسین باعث بیشترین افزایش در نسبت وزن مغز به کل دانه شد. کمترین مقدار نسبت وزن مغز به کل دانه نیز به تیمار آب مقطر

اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت، ولی بین تیمارهای آب با نیتروکسین و آب با اکسین با شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۲). کاربرد میکروارگانیزم‌های حل‌کننده نیتروژن در زراعت آفتابگردان می‌تواند مسیر انتشار و جذب نیتروژن را کوتاه نموده و موجب سهولت دسترسی عنصر نیتروژن برای گیاه گردد و همچنین از طریق بهبود تغذیه سایر عناصر، بر تعداد دانه پر در طبق مؤثر باشد (Moradi et al., 2009). با توجه به نقش نیتروژن در افزایش تقسیم و رشد سلولی و افزایش در فرآیند فتوسنتز و انتقال مواد آسمیلاتی، با به کار بردن کود زیستی نیتروکسین محدودیت مخزن تا حدودی از بین رفته و انتقال مواد فتوسنتزی به سمت دانه‌ها باعث پر شدن دانه و افزایش ابعاد دانه گشته و به دنبال آن درصد دانه‌های پوک کاهش می‌یابد (Choobforoush Khoei et al., 2012; Sajadi Nik et al., 2011). بین هر سه سطح تنش کم‌آبی اختلاف معنی‌داری مشاهده شد که تنش در مرحله پر شدن دانه بیشترین افزایش را در درصد دانه‌های پوک در طبق باعث شد (جدول ۲). سایر محققان نیز در مطالعات خود روی آفتابگردان افزایش تعداد دانه پوک را به دلیل تنش کم‌آبی گزارش نمودند که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد (Brown, 1997; Najafi, 2010).

درصد مغز دانه‌های آفتابگردان داشته است. نتایج مقایسه میانگین سطوح تنش کم‌آبی مشخص نمود که هر سه سطح تنش کم‌آبی با هم اختلاف معنی‌دار داشتند و بیشترین کاهش در نسبت وزن مغز به کل دانه مربوط به تنش در مرحله پر شدن دانه بود (جدول ۲). سایر محققین نتیجه گرفتند که تنش خشکی باعث افزایش وزن پوست دانه‌ها و کاهش درصد مغز به دانه آفتابگردان گردید که با نتیجه به- دست آمده مطابقت دارد (Khalilvand, 2006). در مطالعه‌ای وقوع تنش رطوبتی باعث کوچک‌تر شدن دانه و افزایش درصد پوست دانه-ها و کاهش درصد مغز دانه‌ها گردید (Jafarzadeh Knarsry & Postini, 1998).

درصد دانه‌های پوک در طبق

پوکی دانه‌ها یکی از فاکتورهای مؤثر در کاهش عملکرد دانه آفتابگردان است که در صورت بروز می‌تواند باعث کاهش شدید عملکرد دانه شود. در تحقیق حاضر پرایمینگ و تنش کم‌آبی برای صفت درصد دانه‌های پوک در طبق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). مقایسه میانگین سطوح پرایمینگ نشان داد که کمترین درصد دانه پوک در تیمار آب با نیتروکسین و بیشترین درصد دانه پوک در تیمار آب مقطر حاصل شد. تیمار آب مقطر

جدول ۳- ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد بررسی در آفتابگردان آجیلی تحت شرایط تنش کم‌آبی و پرایمینگ
Table 3- Correlation coefficients between measured traits of sunflower nuts under water deficit stress and priming conditions

صفت Trait	1	2	3	4	5	6	7	8
عملکرد دانه در بوته-۱ 1- Seed yield per plant	1							
سرعت رشد مطلق بوته-۲ 2- Absolute growth rate of plant	0.279	1						
سرعت رشد مطلق طبق-۳ 3- Absolute growth rate of head	0.01	0.817**	1					
قطر طبق-۴ 4- Head diameter	0.19	0.839**	0.835**	1				
تعداد دانه در طبق-۵ 5- No. of seeds per head	0.492**	0.633**	0.404*	0.711**	1			
وزن هزار دانه-۶ 6- 1000 seeds weight	0.667**	0.144	0.005	0.15	0.449**	1		
نسبت وزن مغز به وزن کل دانه-۷ 7- Kernel to seed ratio	0.682**	0.0290	-0.186	0.0490	0.323	0.741**	1	
درصد دانه‌های پوک در طبق-۸ 8- Percentage of unfilled seeds	-0.705**	-0.08	0.086	-0.114	*-0.392	-0.746**	-0.924**	1

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

* and ** Significant at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.

مشاهده گردید.

نتیجه‌گیری

در سیستم‌های کشاورزی عملکرد به‌طور چشمگیری تحت تأثیر شرایط محیطی می‌باشد. عامل محدودکننده در پتانسیل عملکرد محصولات، تنش‌های غیرزنده می‌باشد. البته بسته به مکانیزم سازگاری گیاه و مدیریت زراعی متفاوت می‌باشد. در آزمایش حاضر نتایج نشان داد که اعمال تنش کم‌آبی باعث کاهش معنی‌داری در سرعت رشد مطلق بوته و طبق، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد دانه در بوته و نسبت وزن مغز به کل دانه و افزایش معنی‌دار درصد دانه‌های پوک در طبق و اعمال پرایمینگ باعث افزایش معنی‌داری در صفات سرعت رشد بوته و طبق، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد دانه در بوته و نسبت وزن مغز به کل دانه و کاهش معنی‌دار درصد دانه‌های پوک در طبق شد. درحالی‌اثر متقابل تنش کم‌آبی و پرایمینگ برای هیچ‌کدام از صفات معنی‌دار نشد چون پرایمینگ باعث کاهش اثرات تنش کم‌آبی شده است و بیشترین تأثیر مثبت از نیتروکسین حاصل شده است. با کاهش میزان آب مصرفی و به دنبال آن بروز تنش کم‌آبی، از عملکرد آفتابگردان کاسته شد. اما، با به‌کارگیری کودهای زیستی به‌صورت پیش‌تیمار از بروز اثرات منفی تنش کم‌آبی روی صفات مورفولوژیکی و عملکرد این گیاه کاسته شد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که به‌کارگیری کود زیستی نیتروکسین ضمن کاهش مصرف کودهای شیمیایی و نداشتن عواقب سوء زیست‌محیطی روش مناسبی برای تولید سالم و پایدار محصولات می‌باشد و کود زیستی نیتروکسین در شرایط تنش کم‌آبی باعث بهبود شاخص‌های رشد و عملکرد دانه آفتابگردان آجیلی شد.

بروز محدودیت آب در مرحله پر شدن دانه موجب عدم رسیدن مواد پرورده کافی به دانه‌ها و باعث پوکی دانه‌ها می‌شود. محققین گزارش کردند که تنش خشکی باعث تولید ۲۱/۵ درصد دانه پوک در حالی که در آبیاری کامل ۹/۹ درصد می‌باشد (Ghaffaripor, 2004). محققان دیگری به این نتیجه رسیدند که درصد پوکی دانه حساس‌ترین صفت نسبت به خشکی می‌باشد، زیرا که کمبود آب منجر به پوکی شدید دانه‌ها می‌گردد (Razi & Assad, 1998).

همبستگی صفات مرتبط با عملکرد

ضرایب همبستگی صفات مورد اندازه‌گیری نشان داد که عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، نسبت وزن مغز به کل دانه اما همبستگی منفی و معنی‌داری با درصد دانه‌های پوک در طبق داشت (جدول ۳).

تعداد دانه در طبق از جمله صفات مؤثر بر عملکرد دانه در آفتابگردان است و وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار این صفت در سطح احتمال یک درصد با عملکرد نشان‌دهنده همین واقعیت می‌باشد. نتایج آزمون نشان داد که مقدار ضریب همبستگی بین صفات وزن هزار دانه و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد مثبت و معنی‌دار است. همبستگی بین نسبت وزن مغز به کل دانه با عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد مثبت و معنی‌دار بود که بیشترین همبستگی عملکرد دانه با نسبت وزن مغز به کل دانه است. بین وزن هزار دانه با تعداد دانه در طبق همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت. همبستگی بین درصد دانه‌های پوک در طبق و عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد منفی و معنی‌دار بود (جدول ۳). یعنی با افزایش تعداد دانه‌های پوک عملکرد دانه کاهش یافته است. همبستگی منفی بین درصد دانه‌های پوک و وزن هزار دانه در گیاه

منابع

- Akbari, P., Ghalavand, A., and Modarres Sanavy, S.A.M. 2009. Effects of different nutrition systems and biofertilizer (PGPR) on penology period yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Journal of Science and Natural Research 2(3): 119-134. (English with Persian in Summary)
- Andria, R., Chiaranda, F.Q., Magliulo, V., and Mori, M. 1995. Yeild and soil water uptake of sunflower sown in spring and summer. Agronomy Journal 87: 1122-1128.
- Angadi, S.V., and Entz, M.H. 2002. Root system and water use patterns of different height sunflower cultivars. Agronomy Journal 94: 136-145.
- Baldini, M.F., Cecconim, G., Vanzozi, P., and Benvenuti, A. 1998. Effect of drought on yield reduction in different

- sunflower hybrids. *Helia* 14: 71-76.
- Baydar, H., and Erbas, S. 2005. Influence of seed development and seed position on oil, fatty acids and total tocopherol contents in sunflower. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 29: 179- 186.
- Brown, C.L. 1977. Effect of data of final irrigation on yield components of sunflower. *Agronomy Journal* 54: 19-23.
- Chimenti, C., Pearson, A., and Hall, J. 2002. Osmotic adjustment and yield maintenance under drought in sunflower. *Field Crops Research* 75: 235-246.
- Choobforoush Khoei, B., Roshdi, M., Jalili, F., and Ghaffari, M. 2012. The effect of biofertilizers on the yield and yield components of sunflower nuts in the Khoy region. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)* 103: 132-139. (In Persian with English Summary)
- Daneshian, J., Ardakani, M.R., and Habibi D. 2005. Effect of drought stress on yield and quantitative characteristics of new sunflower hybrids. Proceedings of the 2nd International Conference on Integrated Approaches to Sustain and Improve Plant Population under Drought Stress, Roma, Italy, 24-28 September, 2005. P. 406.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 2015. Statistics: FAOSTAT agriculture. Available at Web site <http://fao.org/crop/statistics>.
- Farooq, M., Basra, S.M.A., Warraich, E.A., and Khaliq, A. 2006. Optimization of hydro priming techniques for rice seed invigoration *Seed Science. Technology* 34: 529- 534.
- Fereres, E., Gimenez, C., and Fernandez, J.M. 1986. Genetic variability in sunflower cultivars under drought. *Australian Journal of Agricultural Research* 37: 573- 582.
- Ghaffaripor, A. 2004. Drought effect on yield and quantitative and qualitative attributes in new sunflower hybrids. MSc. AIU. Karaj Branch, Karaj, Iran. (In Persian with English Summary)
- Ghassemi-Golezani, K., Sheikhzadeh-Mosaddegh, P., and Valizadeh, M. 2008. Effects of hydro priming duration and limited irrigation on field performance of chickpea. *Research Journal of Seed Science* 1(1): 34-40. (In Persian with English Summary)
- Halaji, H. 2004. The effect of efficiency water and plant density on yield and yield components of sunflower Azargol. Master Thesis. Borojerd Azad University, Borojerd, Iran 150 pp. (In Persian)
- Harris, D., Rashid, A., Hollington, P.A., Jasi, L., and Riches, C. 2002. Prospects of improving maize yields with 'on-farm' seed priming. Sustainable Maize Production Systems for Nepal: Proceedings of Maize Symposium held at Kathmandu, Nepal, 3-5 December, 2002, P. 180-185.
- Harris, D., Rashid, A., Miraj, G., Arif, M., and Shah, H. 2007. Seed priming with zinc sulphate solution-A cost-effective way to increase the maize yields of resource-poor farmers. *Field Crops Research* 102: 119-127.
- Jafarzadeh Knarsry, M., and Postini, K. 1998. Effect of drought stress in various stages of growth on morphological parameters and yield components of sunflower (*Helianthus annus* L). *Iranian Journal of Agriculture Science* 29(2): 353-361. (In Persian with English Summary)
- Jamshidi, E., Aghaalikhani, M., and Ghalavandm, A. 2009. Effect of defoliation intensity at different reproductive stages on seed and oil yield in sunflower (*Helianthus annuss* L.). *Iranian Journal of Crop Science* 10(4): 349-361. (In Persian with English Summary)
- Joshi, B., Garg, A., Rls, S., and Ap, T. 2014. The altered output of *Aloe vera* L. Burm. f. Crop under differential water stress conditions. *Journal of Natural Remedies* 4(1): 112-118.
- Kalhari, J. 2002. Effect of drought stress in various stages of growth on yield and yield components of oil sunflower. Master of Thesis. Faculty of Agriculture, University of Tehran, Iran. (In Persian with English Summary)
- Khalilvand, E. 2006. Effect of drought on two sunflower (*Helianthus annuss* L.) hybrid yield and yield components in different density MSc. Thesis. IAU. Tabriz Branch, Iran. (In Persian with English Summary)
- Mazaheri laghab, H., Nouri, F., Hamid, Z.A., and Vafaei, H. 2001. Effects of supplemental irrigation on important agronomy traits of three cultivars of sunflower in dry farming. *Agricultural Research* 3: 33-43. (In Persian with English Summary)
- Moradi, M., Madani, H., Malboubi, M.A., and Pilehvari Khomami, R. 2009. Comparison the effect of biologic fertilizer with chemical on oil sunflower (*Helianthus annus* L.) in Arak condition. *New Findings in Agriculture* 3(2): 167-177. (In Persian with English Summary)
- Murungu, S., Chiduzo, C., Nyamugafat, P., Clark, L.J., Whalley, W.R., and Finch-Savage, W.E. 2004. Effects of 'on-farm seed priming' on consecutive daily sowing occasions on the emergence and growth of maize in semi-arid Zimbabwe. *Field Crops Research* 89: 49-57.

- Najafi, S., Taheri, G., and Jafarnejad, A. 2010. Evaluation of the effect of seed priming on the characteristics of Maize (*Zea mays* L.). Var. 704. The International Congress of Water, Soil, Plant and Agricultural Mechanization Science. Islamic Azad University of Dezful, Iran. 2-3 March. (In Persian)
- Nonami, H., Tanimoto, K., Tabuchi, A., Fukwjama, T., and Hashimoto, Y. 1995. Salt stress under hydroponic conditions causes changes in cell wall extension during growth. *Seed Science Research* 396: 91-98.
- Pal, U.S., Patra, R.K., Sahoo, N.R., Bakhara, C.K., and Panda, M.K. 2015. Effect of refining on quality and composition of sunflower oil. *Journal of Food Science and Technology* 52(7): 4613-4618.
- Paseban Eslam, B. 2015. Effects of planting date on grain yield, yield components and oil content of safflower spring cultivars in Tabriz. *Sustainable Agriculture and Production Science* 25(2): 155-164. (In Persian with English Summary)
- Pirasteh Anousheh, H., Imam, Y., and Jamali Ramin, F. 2010. Comparative effect of biofertilizers with chemical fertilizers on sunflower (*Helianthus annuus* L.) growth, yield and oil percentage in different drought stress levels. *Journal of Agroecology* 2(3): 492-501. (In Persian with English Summary)
- Ramírez, I., Estay, D., Stange, C., and Cardemil, L. 2011. Superoxide dismutase is a critical enzyme to alleviate oxidative stress in *Aloe vera* (L.) Burm. Plants subjected to water deficit. *Plant Ecology and Diversity* 5(2): 183-195.
- Razi, H., and Assad, M.T. 1998. Evaluating variability of important agronomic traits and drought tolerant criteria in sunflower cultivars. *JWSS-Isfahan University of Technology* 2 (1): 31-44. (In Persian with English Summary)
- Sajadi Nik, R., Yadavi, A., Balouchi, H.R., and Farajee, H. 2011. Effect of chemical (Urea), organic (Vermicompost) and biological (Nitroxin) fertilizers on quantity and quality yield of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science* 21 (2):87-101. (In Persian with English Summary)
- Seiler, G.J., Qi, L.L., and Marek, L.F., 2017. Utilization of sunflower crop wild relatives for cultivated sunflower improvement. *Crop Science* 57: 1-19.
- Seyahjani, E.A., Farhvas, F., Khorshidi Benam, M.B., and Sadeghi, A. 2010. Studying the effect of drought stress on yield and yield components of three sunflower cultivars. *Environmental Stresses in Crop Sciences* 3(1): 59-68.
- Soleymani, F., Ahmadvand, G., and Safari Sanjani, A.A. 2016. The Effect of chemical, biological and organic nutritional treatments on sunflowers yield and yield components under the influence of water deficit stress. *Journal of Agroecology* 8(1): 107-119. (In Persian with English Summary)
- Sharifi, Z., and Hagh Nia, G.H. 2008. Effect of nitroxin biofertilizer application on grain yield and yield components of wheat (cv. Sabalan). In 2nd National Conference on Agro Ecology in Iran, 17th-18th October, Gorgan, Iran, p. 123. (In Persian)
- Shehata, M.M., and EL-Khawas, S.A. 2003. Effect of two bio fertilizers on growth parameters, yield characters, nitrogenous components, nucleic acids content, minerals, oil content, protein profiles and DNA banding pattern of sunflower yield. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 6(14): 1257-1268.
- Sinaki, J.M., Heravan, E.M., Shirani, Rad, A.H., Noormohammadi, G., and Zarei, G. 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 2(4): 417-422.
- Sogut, T. 2006. *Rhizobium* inoculation improves yield and nitrogen accumulation in soybean (*Glycine max* L.) cultivars better than fertilizer. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 34: 115-120.
- Vilalobos, F.J., Hall, A.J., Ritchie, J.T., and Orgaz, F. 1996. Oil crop–Sun. A development, growth, and yield model of the sunflower crop. *Agronomy Journal* 88: 403-415.
- Xu, Y. 2016. Envirotyping for deciphering environmental impacts on crop plants. *TAG. Theoretical and Applied Genetics. Theoretische Und Angewandte Genetik* 129: 653-673.



Studying of Seed Priming and Water Stress Effects on Growth and Yield of Sunflower Nuts (*Helianthus annuus L*)

A.R. Sadeghi Bakhtevvari^{1*}, B. Paseban Eslam² and N. Hajizadeh Asl³

Submitted: 03-09-2016

Accepted: 05-0-2017

Sadeghi Bakhtevvari, A.R., Paseban Eslam, B., and Hajizadeh Asl, N. 2018. Effects evaluation of seed priming and deficit water stress on growth and yield of sunflower confectionary. Journal of Agroecology. 10(3): 747-763.

Introduction

Water stress is one of the most important environmental stresses that affect the germination, growth and yield of plants. Seed priming is a technology that positively influences seedling establishment in many crops and may improve field performance under adverse environmental conditions. Seeds can be primed using different media such as tap water (hydro-priming), low water potential solutions (osmo-priming) such as polyethylene glycol or salt solutions, solid matrix (matri-priming), and plant growth regulators (hormonal priming). Nitroauxin and auxin are the rich source of macro-nutrients, micro-nutrients, vitamins, enzymes and hormones of plant growth promoters. Therefore, the use of these media in sustainable agriculture causes the rapid growth of oil seed plants. Limited information is available about the response of sunflower under water deficiency conditions in priming, so the aim of this research was to study the growth and yield of these species under these conditions.

Materials and Methods

An experiment was conducted in 2014 at the field research station of the Faculty of Agriculture of Azerbaijan Shahid Madani University, Iran. The experiment was laid out as a randomized complete block design arranged in a factorial with three replications. Priming factor included (water treatment and nitro auxin, water and auxin, hydro-priming and control (without priming)) and factor water stress include (stress during stem stage, stress during grain filling stage and control (normal)). The seed priming 48h before sowing were treated with the water and nitro auxin, water and auxin and hydro-priming for 16h, after priming, seeds are air-dried back near to the original weight. Seedlings planted by hand on 2 may 2014 by density of 38000 plants ha⁻¹ (60×30 cm). Weeds were controlled by hand during crop growth and development as required. At maturity, five plants randomly were harvested from each plot and plant growth rate, head growth rate, head diameter, No. of seed per head, 1000 seed weight, seed yield per plant and kernel to grain ratio, husk to grain ratio and percentage of unfilled seeds were recorded. The data were analyzed by SPSS 16 software. The means were compared using the Duncan multiple range test at $p \leq 0.05$. Excel software was used to draw figures.

Results and Discussion

Analyses of variance of the data showed that all traits were affected by water stress and seed priming main effects. Priming of seeds increased significantly the absolute growth rate, head diameter, grain number, 1000 seeds weight, grain yield and kernel to grain ratio and husk to grain ratio was reducing the percentage of unfilled seeds per head. Water stress also reduces all traits except unfilled seeds per head, which enhances it. Water stress at the grain filling stage was causing the most reduction of grain yield per unit area.

The increase in growth and yield of sunflower with seed priming treated nitro auxin and auxin could be due to the fact that by promoting germination and providing more uptakes of phosphorus and nitrogen. Reduction in the growth and yield under water stress could be the result of a preferential allocation of biomass production to the roots or a reduction in chlorophyll content and, consequently, photosynthesis efficiency. Seed yield decreased on account of water deficit stress. Decrease in seed weight and increase in unfilled seeds were the main reasons for decreasing in seed yield. Decrease in seed yield due to decrease in yield components, especially seed weight has been reported by other researchers previously. The increase in Percentage of unfilled Seeds under water stress could be due to the fact that water stress effect on available assimilates during seed filling

1 and 3- Assistant Professor and MSc. Graduated, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University, Iran, respectively.

2- Associate Professor, Agriculture and Natural Resources Research Center, Eastern Azarbaijan, Iran.

(*- Corresponding Author Email: sadeghi.amir1@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.58044

stage and decreases sink capacity and leads to unfilled seeds and low seed weight.

Conclusion

In conclusion, this study showed that application of seed priming play useful role in improving the growth, yield and performance components of sunflower, and also the seed priming with auxin and nitro auxin, were better than seed hydro-priming, this can be related to the chemical properties of these compounds. The results of this study indicate that pre-treatment of seeds are effective in increasing yield and yield components of sunflower seeds in order to avoid adverse effects of water stress.

Keywords: Seed priming, Seed yield, Water stress

تأثیر جمعیت علف‌هرز تاج‌خروس (*Amaranthus retroflexus* L.) بر عملکرد روغن و ترکیب اسیدهای چرب دانه کرچک (*Ricinus communis* L.)

علیرضا پیرزاد^{۱*}، ناصر جعفرزاده^۲، هاشم هادی^۳ و رامین ملکی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۰۹

پیرزاد، ع.، جعفرزاده، ن.، هادی، ه.، و ملکی، ر. ۱۳۹۷. تأثیر جمعیت علف‌هرز تاج‌خروس (*Amaranthus retroflexus* L.) بر عملکرد روغن و ترکیب اسیدهای چرب دانه کرچک (*Ricinus communis* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳): ۷۶۵-۷۷۴.

چکیده

کرچک (*Ricinus communis* L.) از مهم‌ترین گیاهان زراعی با ارزش است که در صنایع داروسازی، آرایشی و صنعت کاربرد فراوان دارد. به منظور بررسی اثرات تداخلی تاج‌خروس (*Amaranthus retroflexus* L.) بر عملکرد، درصد روغن و ترکیب اسیدهای چرب گیاه کرچک آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی آذربایجان غربی (ارومیه) در سال ۱۳۹۲ اجرا شد. عامل اول شامل تراکم‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ بوته در مترمربع کرچک و عامل دوم تراکم‌های صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ بوته در مترمربع تاج‌خروس بود. نتایج نشان داد عملکرد روغن کرچک تحت تأثیر تراکم‌های کرچک، تاج‌خروس و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت، ولی ترکیب اسیدهای چرب روغن کرچک فقط تحت تأثیر معنی‌دار تراکم‌های تاج‌خروس بودند. با توجه به نتایج به دست آمده با افزایش تراکم تاج‌خروس کاهش ۲۸-۲۰ درصدی در عملکرد دانه، ۳۹ درصدی در عملکرد روغن کرچک نسبت به کشت خالص (بدون علف‌هرز) مشاهده شد. با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد روغن کرچک که ناشی از ریسینولئیک اسید است با افزایش تراکم تاج‌خروس، این اسید چرب تا ۱۹ درصد کاهش و پالمیتیک اسید (۷۴ درصد) و استئاریک اسید (۱۰۸ درصد)، لینولئیک اسید (۱۲ درصد) و اولئیک اسید (۶۴ درصد) در مقایسه با کشت خالص کرچک افزایش یافت. به‌طور کلی، نتایج نشان داد علف‌هرز تاج‌خروس وحشی در تراکم‌های ۱۰ و ۱۵ بوته در مترمربع علاوه بر کاهش عملکرد دانه و روغن با تغییر در ترکیب اسیدهای چرب باعث کاهش کیفی روغن کرچک نیز می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اسید اولئیک، اسید پالمیتیک، اسید ریسینولئیک، تداخل، عملکرد روغن

مقدمه

کرچک با نام علمی (*Ricinus communis* L.) متعلق به تیره

فرفیون^۵ از مهم‌ترین گیاهان زراعی با ارزش است که در صنایع داروسازی، آرایشی و صنعت کاربرد فراوان دارد (Oguniyi, 2006). کرچک رقابت‌کننده قوی با علف‌های هرز نیست و علت آن را در طولانی بودن ظهور گیاهچه (۲۱-۱۰ روز پس از کاشت) و رشد کند گیاهچه در اوایل دوره رشد می‌دانند (Oplinger et al., 1990). شینگو و همکاران (Shinggu et al., 2011) طی تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که در چهار هفته اول بعد از ظهور گیاهچه‌های کرچک، علف‌های هرز سبب حداقل ۱۵-۱۰ درصد کاهش عملکرد می‌گردند. از طرف دیگر، آزودو و همکاران (Azevedo et al., 2001)

۱- استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی ایران

۳- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۴- استادیار جهاد دانشگاهی ارومیه

*- نویسنده مسئول: (Email: a.pirzad@urmia.ac.ir)

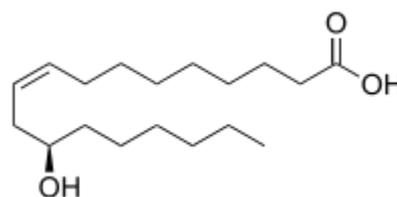
ژنوتیپ، اکولوژی، مورفولوژی، فیزیولوژی، عملیات زراعی (Sabzalian et al., 2008; Cosge et al., 2007) نوسانات درجه حرارت (Fayyaz et al., 2005)، تاریخ کاشت و برداشت (Gupta et al., 1994)، شرایط توپوگرافی (Turan et al., 2010) گزارش شده است. از مهم‌ترین عوامل محیطی که تأثیر عمده‌ای بر کمیت و کیفیت مواد مؤثره گیاهان دارویی دارند می‌توان به نور، تراکم گیاه، آب، عناصر غذایی، حرارت، موقعیت جغرافیایی و عوامل مربوط به خاک و غیره اشاره کرد (Palerich, 1987). رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2004) و ولدآبادی و همکاران (Valadabadi et al., 2010) بیشترین عملکرد دانه و روغن کرچک را به ترتیب در تراکم‌های ۴ و ۵/۵ بوته در مترمربع گزارش کردند.

تاج‌خروس ریشه قرمز (*Amaranthus retroflus* L.) از خانواده تاج‌خروس^۱ که از سرعت رشد و قدرت تولید بذر فراوان برخوردار است (Mitich, 1997) و به علت تپ رشد نامحدود، روز کوتاهی و سیستم فتوسنتزی چهار کربنه، قدرت رقابت بالایی در شرایط دمایی بالا، رطوبت کم و شدت نور بالا دارد (Guo & Al-khatib, 2003). تاج‌خروس یکی از علف‌های هرز مهم و خطرناک است که در محدوده وسیعی در دنیا باعث ایجاد خسارت به گیاهان زراعی می‌شود (Aguyoh & Masiunas, 2003). این گیاه با برخورداری از ارتفاع بلند، از طریق جذب نور، به‌خصوص با گیاهان زراعی پاکوتاه رقابت می‌کند و ذخیره ماده خشک خود را افزایش می‌دهد (Santos et al., 2007).

با توجه به جایگاه ویژه کشت کرچک و اهمیت تاج‌خروس به عنوان علف‌هرز شایع و از عوامل مهم کاهش عملکرد این گیاه زراعی (Grichar et al., 2012)، شناخت جنبه‌های اکوفیزیولوژیکی رقابت این دو گیاه در تراکم‌های مختلف با کرچک از اهمیت خاصی برخوردار است. از آنجایی که در خصوص واکنش گیاه کرچک مخصوصاً تغییرات روغن و اجزاء آن به علف‌هرز اطلاعات کمی در دسترس است. بنابراین، با توجه به اهمیت موضوع، به منظور بررسی اثر تراکم-های تاج‌خروس بر روی عملکرد دانه، میزان روغن و ترکیب اسیدهای چرب که از عوامل مهم در کیفیت روغن کرچک محسوب می‌شود، این آزمایش به اجرا در آمد.

در بررسی‌های خود به این نتیجه رسیدند که رقابت علف‌های هرز با کرچک ممکن است عملکرد را تا ۸۶ درصد کاهش دهد. در ایران تحقیقات انجام شده بر روی کرچک بسیار ناچیز است (Rezvani Moghaddam et al., 2004). با توجه به رشد اولیه کند کرچک، توانایی آن در جذب منابع نسبت به دیگر گیاهان ضعیف است و کاهش محصول کرچک در اثر حضور و رقابت علف‌های هرز گزارش شده است (Maciel et al., 2007). بررسی‌های جعفرزاده و همکاران (Jafarzadeh et al., 2016) حداکثر تولید ماده خشک و شاخص سطح برگ کرچک در کشت خالص بود که با افزایش تراکم تاج‌خروس از مقدار آن صفات کاسته شد.

مهم‌ترین ماده تشکیل دهنده دانه کرچک، روغن و ترکیب اسیدهای چرب آن است. روغن حاصل از کرچک به‌علت بالا بودن نقطه ذوب و نیز به دلیل سفت بودن در ساختن لوازم پلاستیکی و حلال‌های صنعتی کاربرد گسترده‌ای دارد. این دامنه کاربرد، دلیل اساسی برای تداوم تقاضای جهانی روغن کرچک است (Gana et al., 2013). گروه هیدروکسیل اسید ریسینولیک خاصیت ویسکوزیته و پایداری نسبتاً بالایی در مقابل اکسیداسیون به روغن کرچک می‌بخشد. روغن کرچک یکی از معدود روغن‌های طبیعی با ویژگی‌های خاص است. روغن کرچک به دلیل دارا بودن اسید چرب ریسینولیک (۱۲ هیدروکسی اولئیک اسید) با فرمول $C_{12}H_{22}O_4$ در نوع خود بی‌نظیر است. این اسید چرب از یک زنجیر ۱۸ کربنه تشکیل شده یافته است که یک باند مضاعف فرم سیس بین اتم‌های کربن ۹ و ۱۰ و یک گروه هیدروکسیل در اتم کربن ۱۲ دارد (شکل ۱) (Salimon et al., 2010).



شکل ۱- ساختار شیمیایی اسید ریسینولیک

Fig. 1- Chemical structure of Ricinoleic acid

سایر اسیدهای چرب شناسایی شده در روغن دانه کرچک شامل لینولئیک اسید (۲/۲۵٪ تا ۴/۷۳٪)، پالمیتیک اسید (۰/۹٪ تا ۲/۱۳٪)، اولئیک اسید (۳/۰۵٪ تا ۴/۲۲٪)، استئاریک اسید (۰/۵۵٪ تا ۱/۵۴٪)، لینولئیک اسید (۱/۳۵٪ تا ۲/۸۸٪)، دی‌هیدروکسی استئاریک اسید (۰/۵۱٪ تا ۰/۸۵٪) و ایکوزانویک اسید (۰/۸۶٪) بودند (Salimon et al., 2010). محتوای روغن و ترکیب اسیدهای چرب تحت تأثیر

مواد و روش

تاج‌خروس سال قبل از مزارع اطراف جمع‌آوری و تا زمان کشت در دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگهداری و قبل از کاشت در یک آزمایش جوانه‌زنی ارزیابی شدند. بر اساس نتایج آزمایشگاهی درصد جوانه‌زنی بذور کرچک ۹۶ و بذور تاج‌خروس ۹۲ تعیین شد. زمین مورد آزمایش در پاییز ۱۳۹۲ شخم خورده و سپس عملیات ثانویه تسطیح و فاروبندی زمین بعد از مساعد شدن شرایط محیطی در فصل بهار انجام گردید. پس از آماده‌سازی زمین، بر اساس نتایج آزمون خاک، ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار از کود فسفات آمونیوم و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم در اوایل بهار و کود نیتروژنه به شکل اوره و به مقدار ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار در دو قسمت مساوی به هنگام کاشت و بعد از تنک به زمین اضافه شد.

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی (ایستگاه ساعتلو) در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ که دارای خاک لومی- شنی بود اجرا گردید. سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش تا عمق ۳۰ سانتی‌متر در جدول ۱ ارائه شده است. مختصات این محل در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۴ دقیقه و ۱۸ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۱۰ دقیقه و ۵۳ ثانیه شرقی با ارتفاع ۱۳۳۸ متر از سطح دریا بوده که در ۲۷ کیلومتری شمال غرب شهرستان ارومیه واقع شده است. در این تحقیق از کرچک رقم مبارکه اصفهان استفاده شد. کشت این رقم به همراه تاج‌خروس ریشه قرمز به طور همزمان در تاریخ ۱۴ خرداد به صورت کپه‌ای روی پشته‌ها و با دست انجام گرفت. بذور علف‌هرز

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical properties of experimental site

ماده آلی (درصد)	اسیدیته pH	نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen (kg.ha ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available Potassium (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available Phosphorus (mg.kg ⁻¹)	شن (درصد) Sand (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	رس (درصد) Clay (%)
0.89	8	400	425	12	33	55	12

طول پنج متر بود. فاصله بین تکرارها دو متر و بین کرت‌ها یک ردیف نکاشت منظور شد. علف‌های هرز در طول فصل رشد به‌روش دستی کنترل شدند. برداشت نهایی کرچک در ۱۵ مهر انجام گرفت. به‌منظور تعیین عملکرد دانه و درصد روغن در مرحله رسیدن فیزیولوژیک از هر کرت چهار مترمربع با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای کف بر شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از پاک کردن و خشک کردن بذور، نمونه‌های خشک شده به‌وسیله آسیاب، خرد شده و سپس میزان ۵۰ گرم برای روغن‌گیری در دستگاه سوکسله با حلال ان-هگزان مورد استفاده قرار گرفت. پس از آن حلال موجود با استفاده از دستگاه تقطیر در خلأ جدا شده و میزان روغن و عملکرد روغن (حاصلضرب عملکرد دانه و درصد روغن) محاسبه شد (Azadmard- Damirchi, et al., 2005). برای تعیین نوع و مقدار اسیدهای چرب روغن، از دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) استفاده شد. به‌منظور تجزیه و تحلیل متیل استراسیدهای چرب، از دستگاه گاز کروماتوگرافی مجهز

کرت‌های آزمایشی به مساحت ۱۵ مترمربع در ابعاد ۵×۳ متر در نظر گرفته شد. برای سبز شدن بهتر بذرها بلافاصله بعد از کاشت اولین آبیاری صورت گرفت. آبیاری‌های بعدی با توجه به وضعیت خاک و نیاز گیاه به روش غرقابی انجام شد. استقرار گیاهچه‌های تاج‌خروس در کلیه کرت‌ها در طرفین ردیف‌های کاشت به فاصله ۱۰ سانتی‌متر از ردیف گیاه زراعی تنظیم گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گردید. عامل اول شامل تراکم‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ بوته در متر مربع کرچک و عامل دوم تراکم‌های صفر (عدم حضور علف هرز)، ۵، ۱۰ و ۱۵ بوته در مترمربع تاج‌خروس بود. تراکم‌های مورد نظر از طریق کاشت بذور در مقادیر بیشتر از تراکم مورد نظر و سپس تنک دستی گیاهچه‌ها حاصل شد. بعد از سبز شدن بوته‌های کرچک و تاج‌خروس برای ایجاد تراکم مناسب در مرحله چهار برگی تنک شد. هر کرت دارای پنج ردیف کاشت با فاصله ۶۰ سانتی‌متر از یکدیگر و به

نتایج و بحث

اثر متقابل بین تراکم کرچک و تراکم تاج‌خروس در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه کرچک معنی‌دار بود. تراکم تاج‌خروس تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر درصد روغن دانه کرچک داشت (جدول ۲).

به ستون موئینی سیلیکایی (TRCN100) با طول ۱۰۰ متر و قطر ۰/۲۵ سانتی‌متر با قطر لایه داخلی ۰/۲۵ میکرومتر استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

جدول ۲ - تجزیه واریانس صفات عملکرد دانه، درصد و عملکرد روغن کرچک در تراکم‌های تاج‌خروس

Table 2- Analysis of variance for grain yield, oil percent and yield in castor bean under densities of pigweed

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	عملکرد دانه Seed yield	درصد روغن Oil Percent	عملکرد روغن Oil yield
بلوک Block	2	16697.43	1.85	2845
تراکم کرچک Castor bean density (C)	3	2915544.8**	0.75 ^{ns}	583153**
تراکم تاج‌خروس Redroot pigweed density (R)	3	810493.19**	8.39**	196380**
اثر متقابل C×R	9	2068865**	0.48 ^{ns}	5220**
خطا Error	30	592034	1.38	1085
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)		14.05	12.7	13.95

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

ns and **: non-significant and significant at $P \leq 0.05$, respectively.

عملکرد دانه کرچک

مقایسه میانگین ترکیبات تیماری حاکی از آن است که بیش‌ترین عملکرد دانه (۲۶۶۴ کیلوگرم در هکتار) از تراکم شش بوته کرچک در کشت خالص (بدون علف‌هرز) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری نیز با تراکم پنج بوته کرچک در کشت خالص (۲۵۹۱ کیلوگرم در هکتار) نداشت. کمترین عملکرد دانه (۹۲۴ کیلوگرم در هکتار) نیز از تراکم سه بوته کرچک و ۱۵ بوته تاج‌خروس در هر مترمربع به‌دست آمد که نسبت به تیمار سه بوته کرچک در کشت خالص ۹۴ درصد کاهش نشان داد (جدول ۳). در این ترکیب تیماری (سه بوته کرچک و ۱۵ بوته تاج‌خروس در هر مترمربع) تعداد کم بوته گیاه زراعی در واحد سطح و تراکم بالای بوته‌های تاج‌خروس، قدرت رقابت برون‌گونه‌ای از طرف تاج‌خروس را افزایش داد که در نتیجه به عملکرد پایین کرچک منجر شد. از طرف دیگر با افزایش تراکم کرچک در واحد سطح قدرت رقابتی بوته‌های کرچک افزایش یافته و در نتیجه از

شدت رقابت بین گونه‌ای بوته‌های تاج‌خروس کاسته شد. این روند تا تراکم پنج بوته در مترمربع ادامه داشته و سپس احتمالاً به‌دلیل افزایش رقابت درون‌گونه‌ای بین بوته‌های کرچک از افزایش توان رقابت بین گونه‌ای آن‌ها نسبت به بوته‌های تاج‌خروس جلوگیری کرده است. نتایج این آزمایش نشان داد بهترین تراکم در شرایط کشت خالص کرچک و در شرایط رقابت با علف هرز تاج‌خروس تراکم پنج بوته در مترمربع کرچک است، هر چند تفاوت معنی‌داری با تراکم شش بوته در مترمربع کرچک نداشت. بررسی‌های رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2004) نشان داد عملکرد دانه کرچک تحت تأثیر تراکم‌های کرچک قرار گرفت. آن‌ها بیش‌ترین عملکرد کرچک را از تراکم چهار بوته در مترمربع به میزان ۱۴۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آوردند. تولنار و همکاران (Tollenar et al., 1998) و تیزدال (Teasdal, 1998) گزارش کردند که با افزایش تراکم سویا (*Glycine max* L.) و ذرت (*Zea mays* L.) در

شرایط تداخل با علف‌های هرز عملکرد افزایش می‌یابد. زمیدال (Zimdal, 1980) نیز کاهش عملکرد سورگوم (*Sorghum bicolor*) را با افزایش تراکم تاج‌خروس گزارش کرد.

عملکرد روغن دانه کرچک

باتوجه به این‌که عملکرد روغن حاصلضرب عملکرد دانه و درصد روغن می‌باشد، بنابراین معنی‌دار شدن عملکرد روغن متأثر از عملکرد دانه می‌باشد. بیش‌ترین عملکرد روغن در کشت خالص شش بوته کرچک مشاهده شد و با افزایش تراکم تاج‌خروس از صفر تا ۱۵ بوته در مترمربع عملکرد روغن تا ۳۲ درصد نسبت به کشت خالص کاهش یافت. میانگین عملکرد روغن در تراکم‌های ۳، ۴ و ۵ بوته کرچک و ۱۵ بوته تاج‌خروس در متر مربع به ترتیب ۳۹، ۲۴ و ۲۲ درصد کمتر از کشت خالص کرچک در همان تراکم‌ها بود (جدول ۳). رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghddam et al., 2004) گزارش کردند در تراکم‌های مختلف کرچک درصد روغن اختلافی با هم ندارند، اما از نظر عملکرد روغن اختلاف معنی‌داری وجود دارد. درآزمایشی تیمارهای نیتروژن و تراکم گیاهی در کرچک بررسی و نتایج نشان داد که اثر تراکم گیاهی بر عملکرد روغن و درصد روغن معنی‌دار نبود (Valadabadi et al., 2010).

درصد روغن دانه کرچک

اثر تراکم‌های مختلف تاج‌خروس بر درصد روغن کرچک معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود. بیش‌ترین درصد روغن دانه کرچک مربوط به کشت خالص کرچک (۴۴/۳۹ درصد) بود که در حضور علف‌هرز تاج‌خروس میزان آن کاهش یافت، ولی بین تراکم‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ بوته در مترمربع تاج‌خروس تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. مقدار روغن در دانه کرچک یک صفت ژنتیکی است اما تحت تأثیر شرایط محیطی، تاریخ کاشت، عملیات زراعی و زمان برداشت قرار می‌گیرد (Koutroubas et al., 1999; Shaheen, 2002). با توجه به این‌که روغن یک صفت چندژنی است. بنابراین، احتمال این‌که همه ژن‌ها تحت پوشش تنش‌های محیطی قرار گیرند کم است (Arshi et al., 1996).

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه و عملکرد روغن دانه کرچک در تراکم‌های مختلف کرچک و تاج‌خروس

Table 3-Means comparisons of castor seed and seed oil yield of castor bean affected by different pigweed densities

تراکم کرچک (بوته در مترمربع) Castor density (Plants.m ⁻²)	تراکم تاج‌خروس (بوته در مترمربع) Redroot density (Plants.m ⁻²)	عملکرد دانه کرچک (کیلوگرم در هکتار) Castor yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار) Oil yield (kg.ha ⁻¹)
3	0	1488 ^{i*}	656 ^g
	5	1475 ⁱ	631 ^g
	10	1250 ^j	543 ^h
	15	924 ^k	405 ⁱ
4	0	1977 ^{fg}	882 ^e
	5	1834 ^h	792 ^f
	10	1580 ^h	689 ^g
	15	1490 ⁱ	642 ^g
5	0	2591 ^a	1172 ^a
	5	2360 ^{bc}	1046 ^b
	10	2160 ^{de}	946 ^{cd}
	15	2065 ^{ef}	893 ^{de}
6	0	2664 ^a	1214 ^a
	5	2448 ^b	1062 ^b
	10	2238 ^{cd}	966 ^c
	15	1863 ^{gh}	793 ^f

*میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
*Means followed by the letters in each column are not significantly different based on Duncan test ($p \leq 0.05$).

ترکیب اسیدهای چرب دانه‌های کرچک
 نتایج تجزیه واریانس نشان داد تراکم تاج‌خروس بر ترکیب
 اسیدهای چرب در کرچک در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود
 (جدول ۴).

جدول ۴- تجزیه واریانس اسیدهای چرب کرچک در تراکم‌های تاج‌خروس

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) for fatty acids compositions of castor bean affected as pigweed densities

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	ریسینولئیک Ricinoleic	لینولئیک Linoleic	پالمیتیک Palmitic	اولئیک Oleic	استئاریک Stearic	لینولئیک Linolenic
بلوک Replication	2	60.35	0.005	15.52	0.32	5.92	0.17
تراکم کرچک Castor density (C)	3	24.56 ^{ns}	0.18 ^{ns}	5.24 ^{ns}	1.02 ^{ns}	1.87 ^{ns}	0.32 ^{ns}
تراکم تاج‌خروس Redroot pigweed density (R)	3	610.76 ^{**}	0.31 ^{**}	76.54 ^{**}	29.16 ^{**}	39.64 ^{**}	5.97 ^{**}
اثر متقابل C×R	9	15.29 ^{ns}	0.11 ^{ns}	3.14 ^{ns}	0.78 ^{ns}	2.03 ^{ns}	0.33 ^{ns}
خطا Error	30	54.57	0.11	7.46	2.54	5.87	0.69
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)		11.56	12.28	28.76	23.8	19.29	10.7

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

ns and **: non-significant and significant at $P \leq 0.05$, respectively.

نتایج بررسی حاضر مبنی بر اختصاص بیشتر ترکیبات تشکیل‌دهنده به اسیدهای چرب غیراشباع مطابقت دارد. با افزایش تراکم تاج‌خروس به ۱۵ بوته در مترمربع ریسینولئیک اسید (۱۹ درصد) کاهش یافت، ولی پالمیتیک اسید (۷۴ درصد) و استئاریک اسید (۱۰۸ درصد) لینولئیک اسید (۱۲ درصد) و اولئیک اسید (۶۴ درصد) در مقایسه با کشت خالص کرچک افزایش نشان داد (جدول ۵). بررسی جدول ۵ همچنین نشان می‌دهد تراکم پنج بوته در مترمربع تاج‌خروس تفاوت معنی‌داری با کشت خالص کرچک از نظر کاهش اسیدهای چرب نداشته است. بنابراین، وجود این تعداد تاج‌خروس در مزارع کرچک قابل تحمل است، چرا که کاهش عملکرد دانه و روغن نیز در سطح پنج درصد معنی‌دار نبود (جدول ۳). کلینکمن و اولیور (Klingman & Oliver, 1994) در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که علف‌هرز تاج‌خروس در تراکم‌های پایین نیز قدرت رقابت بیشتری دارد. در این تحقیق کرچک با برخورداری از ارتفاع بلند و رشد قابل توجه خود توانست در تراکم‌های پایین تاج‌خروس، قدرت رقابتی آن را کمتر کند. به نظر می‌رسد حداقل در این گیاه زراعی این موضوع همخوانی ندارد.

در این آزمایش همانند درصد روغن، اجزای تشکیل‌دهنده روغن هم شامل میزان اسیدهای چرب روغن کرچک تحت تأثیر تراکم‌های علف‌هرز تاج‌خروس قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که بین ترکیب اسیدهای چرب به‌دست آمده در تراکم‌های مختلف تاج‌خروس تفاوت معنی‌داری وجود دارد. ریسینولئیک اسید به‌مقدار ۷۱/۷ درصد که بیشترین ویژگی‌های ارزشمند کرچک بدان نسبت داده می‌شود، در کشت‌های خالص اسید چرب غالب دانه کرچک بود. میزان این اسید از دانه‌های کرچک هندوستان و برزیل به ترتیب ۹۴ و ۹۰/۲ درصد به‌دست آمد (Gupta et al., 1951) که از نمونه‌های این بررسی بالاتر است. مقدار کم ریسینولئیک اسید در دانه‌های این آزمایش به نظر می‌رسد ناشی از ژنوتیپ و شرایط اقلیمی متفاوت باشد. در این راستا بررسی‌های امیدبگی و علی‌رضالو (Omidbagi & Alirezalo, 2011) نشان دادند که میزان روغن و ترکیب اسیدهای چرب روغن کرچک تحت تأثیر آب و هوای محل کشت قرار داشت. به طوری که بیش‌ترین میزان ریسینولئیک اسید از منطقه ارومیه (۸۸/۹۴ درصد) گزارش شد. میزان اسیدهای چرب غیراشباع در مناطق سرد بیشتر از مناطق گرم می‌باشد (Jose et al., 1991) که با

جدول ۵- مقایسه میانگین محتوی اسیدهای چرب کرچک در تراکم‌های تاج‌خروس

Table 5 – Mean comparison of fatty acids compositions of castor bean in different densities of redroot pigweed

تراکم تاج خروس (بوته در مترمربع) Pigweed density (Plants.m ⁻²)	ریسینولئیک (درصد) Ricinoleicm (%)	لینولئیک (درصد) Linoleic (%)	پالمیتیک (درصد) Palmitic (%)	اولئیک (درصد) Oleic (%)	استتاریک (درصد) Stearic (%)	لینولئیک (درصد) Linolenic (%)
0	71.73 ^{a*}	2.89 ^a	6.69 ^b	5.02 ^b	3.67 ^c	7.47 ^b
5	68.18 ^a	2.71 ^{ab}	8.02 ^b	5.76 ^b	5.49 ^{bc}	6.99 ^b
10	57.70 ^b	2.66 ^{ab}	11.68 ^a	7.77 ^a	7.23 ^{ab}	8.39 ^a
15	58.01 ^b	2.50 ^b	11.59 ^a	8.26 ^a	7.66 ^a	8.34 ^a

*میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

*Means followed by the letters are not significantly different based on Duncan test ($p \leq 0.05$).

نتیجه‌گیری

اسیدهای چرب تحت تأثیر تراکم‌های ۱۰ و ۱۵ بوته در مترمربع تاج‌خروس قرار گرفت و ضروری است برای حصول حداکثر عملکرد دانه و روغن و بالا بودن میزان اسید ریسینولئیک این علف‌هرز کنترل گردد. به نظر می‌رسد در تراکم‌های پایین تاج‌خروس در زراعت کرچک، شاید ضرورتی بر کنترل این علف‌هرز نباشد، اما برای جلوگیری از افزایش بذر این علف‌هرز در خاک عملیات مدیریتی برای کنترل علف‌هرز تاج‌خروس نیاز باشد.

رقابت علف‌هرز تاج‌خروس در این آزمایش توانست عملکرد دانه، روغن و مهمترین اسید چرب موجود در روغن دانه کرچک را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد. روغن کرچک به دلیل دارا بودن اسید چرب ریسینولئیک ویژگی‌های خاصی به این روغن داده است. بر اساس نتایج این آزمایش تراکم گیاه زراعی بر عملکرد دانه و روغن تأثیر به-سزایی داشت که برای دستیابی به حداکثر بازده روغن تراکم پنج بوته در مترمربع کرچک قابل توصیه است. عملکرد دانه و روغن و ترکیب

منابع

- Aguyoh, J.M., and Masiunas, J.B. 2003. Interference of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*) with snap beans. *Weed Science* 51: 202-207.
- Arshi, Y., Moazaffari, K., and Zeinali, H. 1996. Survey of effect drought stress on some morphological traits and grain yield of sunflower. *Iranian Journal of Seed and Plant* 12(3): 296-605. (In Persian with English Summary)
- Azadmard- Damirchi, S., Savage, G.P., and Dutta, P.C. 2005. Sterol fractions in hazelnut and virgin olive as possible markers for detection of adulteration of virgin olive oil. *Journal of the American oil chemists Society* 82: 717-725.
- Azevedo, D.M.P., Beltrao, N.E.M., Nobrega, L.B., and Vieira, D.J. 2007. Plantas daninha e seu controle. D.M.P. Azevedo and E.F. Lima, editors. O Agronegocio da Mamona no Brasil. Embrapa Algodao/ Embrapa Informacao Tecnologica, Campina Grande, Brasilia, Brazil p. 161-189.
- Cosge, B., Gurbuz, B., and Kiralan, M. 2007. Oil content and fatty acid composition of some safflower varieties sown in spring and winter. *International Journal of Natural Engineering Science* 1: 11-15.
- Fayyaz, H., Hakoomat, A., Cheema, M.A., and Manal, A. 2005. Effects of environmental variation on oil content and fatty acid composition of canola cultivars. *Journal of Research Science* 16(2): 65-72.
- Gana, A.K., Yusuf, A.F., and Apuyor, B. 2013. Castor oil plant and its potential in transformation and industrialization of under developing nations in the world. *Advanced Journal of Agricultural Research* 1(5): 72-79.
- Grichar, W.J., Dorthy, P.A., and Trostle, C.L. 2012. Castor (*Ricinus communis* L.) tolerance to postemergence herbicide and weed control efficacy. *International Journal of Agronomy* 832749: 1-5.
- Guo, P.G., and Al-Khatib, K. 2003. Temperature effect on germination time and density on redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*), palmer amaranth (*A. palmeri*), and common water hemp (*A. rudis*). *Weed Science* 51: 869-875.

- Gupta, S., Subrahmanyam, D., and Rathore, V.S. 1994. Influence of sowing date on yield and oil quality in sunflower. *Journal of Agronomy and Crops Science* 17(2): 137-144.
- Gupta, S.S., Hilditch, T.P., and Riley, J.P. 1951. The fatty acids and Glycerides of castor oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2(6): 245-251.
- Jafarzadeh, N., Pirzad, A.R., Hadi, H. 2016. Castor (*Ricinus communis* L.) and pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) growth indices in terms of interference. *Journal of Agroecology* 8(2): 182-196. (In Persian with English Summary)
- Jose, R.L., Ursicino, D., and Rafael, D.Q. 1990. Definite influence of location and climatic condition on the fatty acid composition of sunflower seed oil. *Journal of the American Oil Chemists Society* 67(10): 618-623.
- Klingman, T.E., and Oliver, L.R. 1994. Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri* L.) interference in soybeans (*Glycine max* L.). *Weed Science* 42: 523-527.
- Koutroubas, S.D., Papakosta, D.K., and Doitsini, A. 1999. Adaption and yielding ability of castor plant (*Ricinus communis* L.) genotypes in a Mediterranean climate. *European Journal of Agronomy* 11: 227-237.
- Maciel, C.D.G., Poletine, J.P., Velini, E.D., Zanotto, M.D., Amaral, J.G., Santos, H.R., Artioli, J.C., Ferreira, R.V., Lolli, J., and Raimondi, M.A. 2007. Weeds interference periods over vegetative development characteristics of savana castor bean genotype. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas* 11: 23-29.
- Mitich, L.W. 1997. Redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*). *Weed Technology* 11: 199-202.
- Oguniyi, D.S. 2006. Castor oil: A vital industrial raw material. *Bioresource Technology* 97: 1086-91.
- Omidbagi, R., and Alirezalu, A. 2011. Effect of sowing location on oil content and fatty acids composition of medicinal castor bean plant (*Ricinus communis* L.). *Iranian Journal of medicinal and Aromatic plants* 26(4): 521-530. (In Persian with English Summary)
- Oplinger, E.S., Oeke, E.A., Kaminski, A.R., Combs, S.M., Doll, J.D., and Schuler, R.T. 1990. Castor bean production. USDA. Farmers Bulletin. No. 2041. <https://hort.purdue.edu/newcrop/afcm/castor.html>
- Palerich, D. 1987. Recent advance in the cultivation of medicinal plants. *Journal of Acta Horticulture* 208: 29-34.
- Rezvani Moghaddam, P., Nabati, J., Norozpoor, G., and Mohamadabdi, A. 2004. Investigation on morphological characteristics, grain and oil yields of castor bean at different plant densities and irrigation intervals. *Iranian Journal of Field Crops Research* 2(1): 1-12. (In Persian with English Summary)
- Sabzalian, M.R., Saeidi, G., and Mirlohi, A. 2008. Oil content and fatty acid composition in seeds of three safflower species. *Journal of the American Oil Chemistry Society* 85: 717-721.
- Turan, H., Citak, N., Pehlivanoglu, H., and Mengul, Z. 2010. Effects of ecological and topographic conditions on oil content and fatty acid composition in sunflower. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 16(5): 553-558.
- Salimon, J., Azleema, D., Nazrizwati, A.T., MohdFirdaus, M.Y., and Noraishah, A. 2010. Fatty acid composition and physicochemical properties of Malaysian castor bean *Ricinuscommunis* L. seed oil. *Sains Malaysiana* 39(5): 761-764.
- Shaheen, A.M. 2002. Morphological variation within castor bean (*Ricinus communis* L.) in Egypt: Fruit, Seed and Pollen. *Pakistan Journal of Biology Science* 5: 1202-1206.
- Santos, B.M., Dusky, J.A., Stall, W.M., Shilling, D.J., and Bewick, T.A. 2007. Influence of smooth pigweed and common purslane on lettuce as affected by phosphorus fertility. In: *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. 110: 315-317.
- Shinggu, C.P., Mahadi, M.A., and Adekpe, D.I. 2011. Performance of castor (*Ricinus communis* L.) as influenced by period of weed interference in Samaru, Nigeria. *International Journal of Science Natural* 2(1): 75-78.
- Teasdal, J.R. 1998. Influence of corn population and row spacing on corn and velvet leaf (*Abutilon theophrasti*) yield. *Weed Science* 43: 425-431.
- Tollenar, M.A., Dibo, A., Aguilera, A., Weise, S.F., and Swanton, C.J. 1998. Effect of crop density on weed interference in maize. *Agronomy Journal* 86: 591-595.
- Valadabadi, A., Alimohammadi, M. Aref, B., and Daneshian, J. 2010. Effects of different levels of nitrogen and plant density on oil yield and its component in Castor bean (*Ricinus communis* L.). *Ecophysiological Crop* 2(4): 312-318. (In Persian with English Summary)
- Zimdahl, R. L. 1980. *Weed-Crop Competition: A Review*. International Plant Protection center, Corvallis, Oregon 196 pp.

The Impact of Pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) Population on Oil Yield and Fatty Acid Composition of Castor Bean (*Ricinus communis* L.)

A. Pirzad^{1*}, N. Jafarzadeh², H. Hadi³, and R. Maleki⁴

Submitted: 06-09-2016

Accepted: 29-04-2017

Pirzad, A., Jafarzadeh, N., Hadi, H., and Maleki, R. 2018. The impact of Pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) population on oil yield and fatty acid composition of castor bean (*Ricinus communis* L.). Journal of Agroecology. 10(3): 765-774.

Introduction

Castor bean, as an important commercial oil-based by products are used in the manufacture of several commercially important commodities like surfactants, coatings, greases, pharmaceuticals, cosmetics, polyesters, polymers. Castor bean is a non-edible oilseed crop which produces an oil rich in Ricinoleic acid, commonly over 80%. The seeds of castor consist of 40-60% by weight of the most useful natural plant oil. Interactive effects among species on inter-species populations are called interference. Interference is one of the main issues on the eco-physiology of plant populations where weeds impose negative effects by approaching the plant to compete in light, water and nutrient elements availability and results in reduced growth and yield. Various reasons have been attributed for the low productivity of crops, among them weed competition is the most important. Redroot pigweed belongs to the Amaranthaceae family, as an important competitor to slow growth of the castor bean plant, can deprive it from nutrients. The purpose of this research was determining the effects of redroot pigweed plant density interference on the yield of oil and fatty acids composition of castor bean plant to increase quantity and quality of oil.

Materials and Methods

To evaluate the effects of Pigweed interference on yield, oil content and fatty acid composition of castor oil plant, a factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications at the Center for Agricultural Research in West Azerbaijan (Urmia) (Saatlu station: 37°44'18" N Latitude and 45° 10' 53" E Longitude, at 1338 m above sea level) with silty-sandy soils. The first factor included Castor plant densities (3, 4, 5 and 6 plants per square meter) and the second was Amaranth densities (zero, 5, 10 and 15 plants per square meter). Castor seeds cv. Mobarakeh were planted with red root pigweed simultaneously on 14 June 2013. After Soxhlet extraction, fatty acid analysis was performed by Gas Chromatography. Data were analyzed with SAS 9.1 software.

Result and Discussion

The results showed the significant effects of castor and amaranth densities, and their interaction effects on the castor oil yield, but only significant effect of amaranth density on the fatty acid composition. According to the results, increasing Amaranth density caused to reduction of 20-38% in castor grain yield, 39% in oil yield compared to pure cultures (without weed). Due to the unique characteristics of ricinoleic acid, it was reduced 19% by increasing pigweed density, but the palmitic acid (74%) and stearic acid (108%), linoleic acid (12%) and Oleic acid (64%) were increased compared with pure cultures (weed free). The results of the survey indicated that the pigweed at densities of 10 and 15 plants per square meter is one of the most important factors affecting yield, oil content and fatty acid composition. In this experiment, Amaranth weed caused to significant reduction of the yield of castor grain, oil and major fatty acids. In this regard, pigweed control at the beginning of the growing season will be effective to reduce seed production, in order to reducing crop yield loss and reduce the scope of its release in the next years. In general, despite the importance of castor plant there has been limited

1- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran.

2- Assistant Professor of Research and Education Agricultural of West Azarbayjan Center (AREEO), Iran.

3- Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran.

4- Assistant Professor, Research, Culture and Research (ACECR), Urmia Branch, Urmia, Iran.

(*- Corresponding Author Email: a.pirzad@urmia.ac.ir)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.58693

research work carried out on the crop in Iran to increase the crop competitive ability. In this present study, the oil content, oil yield and fatty acids composition of Iranian castor bean oil have been outlined. The results of this experiment showed that changes in oil content and fatty acid composition is depending on environmental conditions such as competition with weed and the Pigweed is a competitive weed which significantly reduces the quantitative (seed and oil) and qualitative (oil composition) yield.

Conclusion

Increasing pigweed density decrease grain yield, oil yield and fatty acids composition of castor bean. The amount of this reduction was related to pigweed density. On the other hand, 6 plants/m² of Castor bean can be recommended for reducing pigweed damage in Castor bean.

Keywords: Interference, Oil yield, Oleicacid, Palmitic acid, Ricinoleic acid

ارزیابی امکان نشاء‌کاری آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*) در شرایط آب و هوایی کرمانشاه

ژاله زارعی^۱، حسن حیدری^{۲*}، ایرج نصرتی^۳ و محمود خرمی‌وفا^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۲۷

زارعی، ژ.، حیدری، ح.، نصرتی، ا.، و خرمی‌وفا، م. ۱۳۹۷. ارزیابی امکان نشاء‌کاری آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*) در شرایط آب و هوایی کرمانشاه. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳): ۷۷۵-۷۸۷.

چکیده

آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*) از گیاهان زراعی است که به‌منظور تولید روغن یا آجیل زراعت می‌شود. به‌منظور ارزیابی امکان نشاء‌کاری آفتابگردان در شرایط آب و هوایی استان کرمانشاه این پژوهش در دو بخش گلخانه و مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه در دو سال (۹۴-۱۳۹۳) انجام شد. آزمایش در سال اول به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار بود که فاکتورها شامل سه روش کاشت (کشت مستقیم بذر، کشت نشاء چهار هفته‌ای و کشت نشاء شش هفته‌ای) و دو تاریخ کاشت (کشت زود هنگام و کشت زمان معمول) بود. آزمایش در سال دوم به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد که تیمارها شامل نشاء‌کاری چهار هفته‌ای زودهنگام (تیمار برتر سال اول) و کشت مستقیم بذر (شاهد) بود. نتایج سال اول نشان داد که بیشترین ماده خشک تولید شده و بالاترین سطح برگ مربوط به نشاء چهار هفته‌ای زودهنگام بود که جهت تکرار آزمایش برای کشت در سال دوم انتخاب شد. نتایج پژوهش در سال دوم نشان داد که نشاء‌کاری در مقایسه با کشت مستقیم بذر به‌طور معنی‌دار باعث افزایش تعداد برگ، سطح برگ، ماده تازه و خشک بوته، ارتفاع بوته، تعداد دانه در طبق، وزن مغز و وزن پوست دانه، عملکرد دانه و وزن صد دانه شد.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، روش کاشت، عملکرد دانه، کشت مستقیم بذر، ماده خشک

مقدمه

خشکی از اصلی‌ترین عوامل غیرزنده محدودکننده رشد گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا از جمله ایران محسوب می‌شود (Jamshidi et al., 2009). کاشت در تاریخ مناسب در مناطق مختلف، ضمن تأثیر بر رشد رویشی و زایشی گیاه، باعث افزایش بازدهی فتوسنتز، انتقال مواد فتوسنتزی و ذخیره آن‌ها در دانه-ها شده و افزایش عملکرد را سبب می‌گردد (Daneshian et al., 2008). با تأخیر کاشت آفتابگردان در قروه، تعداد و وزن دانه در طبق، وزن هزار دانه و عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری کاهش، ولی درصد پوکی افزایش یافت (Mazahery-Laghab et al., 2012). همچنین تأخیر در کاشت زیره سبز (*Cuminum cyminum L.*) در کرمانشاه باعث برخورد مراحل رشد زایشی گیاه با شرایط هوای گرم آخر فصل رشد و تنش شدید رطوبت و در نتیجه کاهش چشمگیر عملکرد شد

آفتابگردان با نام علمی (*Helianthus annuus L.*) از گیاهان بومی نواحی مرکزی قاره آمریکا می‌باشد (Khajehpour, 2012) که به‌عنوان یک گیاه زراعی مطمئن در دامنه وسیعی از شرایط محیطی عملکرد قابل توجهی دارد (Karimizade Asl et al., 2003). یکی از مهم‌ترین مدیریت‌های مزرعه برای دستیابی به شرایط مطلوب رشد جامعه گیاهی و عملکرد مناسب، تأمین آب کافی می‌باشد تا گیاه در مراحل حساس رشد دچار تنش رطوبتی نگردد (Roshdi et al.,

۱، ۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد آگرواکولوژی و استادیاران، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی (*- نویسنده مسئول: Email: heidari1383@gmail.com)

(Heidari et al., 2009). کشت نشائی به دلیل جلو انداختن فصل رشد به تولید بذر بیشتر کمک می‌کند. همچنین نشاءکاری نسبت به کشت مستقیم بذر به سبب عدم برخورد گیاهچه‌ها با سرمای یخبندان ابتدای فصل رشد و افزایش طول دوره گلدهی، باعث افزایش تولید کمی و کیفی بذر می‌گردد (Dong et al., 2005). طی آزمایشی بر روی کلزا (*Brassica napus* L.) در پنج تاریخ کاشت (۲۰ و ۳۰ آبان به عنوان تاریخ کاشت مطلوب، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ آذر به عنوان تاریخ کاشت‌های دیرتر از مطلوب) و دو روش کاشت (کشت مستقیم و نشاءکاری) گزارش شده است که با تأخیر در کاشت، فاصله زمانی کاشت تا جوانه‌زنی در کشت مستقیم و زمان انتقال تا استقرار نشاءها افزایش، اما طول دوره گلدهی و عملکرد دانه کاهش یافت. به علاوه نتایج حاصل از مقایسه کشت مستقیم بذر و نشاءکاری نشان داده است که کشت نشائی سبب افزایش تعداد خورجین در گیاه، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و عملکرد دانه شد (Rahnema & Bakhshande, 2006). یکی از عوامل مؤثر بر عملکرد سن نشاء گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) می‌باشد که با افزایش سن نشاء عملکرد دانه، بیوماس، تعداد دانه در خوشه کاهش، اما وزن هزار دانه افزایش یافت (Guilani et al., 2003). در دو روش کاشت به هنگام (۲۱ شهریور ماه) و دیر هنگام (۵ مهرماه) کلزا گزارش شده است که در تاریخ کاشت مهرماه در مقایسه با تاریخ کاشت شهریور ماه از تعداد برگ در بوته، قطر طوقه، وزن خشک بوته، عملکرد دانه و روغن کاسته شده است (Paseban Iaslam, 2009). نتایج بررسی چهار تاریخ نشاءکاری کلزا (۱۰ و ۳۰ آبان، ۲۰ آذر و ۱۰ دی) نشان داد که بیشترین عملکرد دانه، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف مربوط به تاریخ نشاءکاری ۱۰ آبان بود. به علاوه تاریخ کاشت بهینه روی عملکرد اثر قابل توجه داشت و تأخیر در کاشت، موجب کاهش عملکرد دانه شد (Golmohammadi & Nahvi, 2009). این پژوهش به منظور ارزیابی نشاءکاری آفتابگردان در تاریخ کاشت معمول و زود هنگام در شهرستان کرمانشاه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو بخش گلخانه و مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه در سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ با موقعیت جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۸ درجه

و ۳۰ دقیقه طول خاوری از نصف‌النهار گرینویچ با ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا انجام شد. مشخصات خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. آزمایش در سال اول به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. فاکتورها شامل سه روش کاشت (کشت مستقیم بذر، کشت نشاء چهار هفته‌ای و کشت نشاء شش هفته‌ای) و دو تاریخ کاشت (کشت زود هنگام (۱۰ فروردین) و کشت زمان معمول (یک اردیبهشت) بود. زمان‌های نشاءکاری با توجه به تاریخ معمول کشت مستقیم بذر در منطقه انتخاب گردید. از آنجایی که در سال اول هدف ارزیابی امکان نشاءکاری گیاه بود، لذا گیاهان تا ابتدای رشد زایشی در مزرعه نگهداری شدند و سپس ماده خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد ولی در سال دوم که امکان نشاءکاری گیاه به اثبات رسید گیاهان تا رسیدگی فیزیولوژیک دانه در مزرعه باقی ماندند. آزمایش در سال دوم به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل نشاءکاری چهار هفته‌ای زود هنگام (تیمار برتر سال اول، ۱۰ فروردین) و کشت مستقیم بذر در زمان معمول (شاهد، یک اردیبهشت) بود. آزمایش در مساحت تقریبی ۱۰۰ مترمربع انجام شد. هر کرت آزمایشی شامل پنج خط کشت به طول چهار متر در نظر گرفته شد و فاصله خطوط ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی خطوط کاشت، ۲۰ سانتی‌متر بود. زمین حدود یک‌ماه قبل از زمان انتقال نشاءها به زمین اصلی آماده شد. در کشت مستقیم بذر در هر کپه سه بذر کاشته شد، سپس در مرحله چهار برگی به یک بوته تنک گردید. جهت تهیه نشاء در گلخانه، ۱۸۰ گلدان با قطر هفت سانتی‌متر و ارتفاع ۷/۵ سانتی‌متر آماده و توسط مخلوطی از یک‌سوم ماسه، یک‌سوم کود دامی کاملاً پوسیده و یک‌سوم خاک پر و شش عدد بذر آفتابگردان (رقم سنقری و با مصرف آجیلی) در هر گلدان کشت شد که پس از سبز شدن به سه بوته در هر گلدان تقلیل داده شد. پس از انتقال نشاءها به زمین اصلی و بعد از اطمینان از استقرار کامل گیاهچه‌ها، مبادرت به تنک کردن آن‌ها به یک بوته گردید. در طول آزمایش آبیاری به صورت منظم و هر هفته یکبار به صورت جوی و پشته‌ای انجام شد. کنترل علف‌های هرز به صورت دستی و طی دو مرحله انجام گرفت. در مرحله رسیدگی چهار بوته از ردیف‌های میانی هر کرت انتخاب و صفات مورفولوژیکی شامل ارتفاع بوته و ساقه اصلی، قطر ساقه، تعداد برگ، طول میانگره، طول و عرض برگ در مزرعه اندازه‌گیری شد و سپس برای اندازه‌گیری سایر صفات، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و در آن‌جا مورد آزمایش قرار گرفت.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش
Table 1- Soil physical-chemical properties of experimental site

عمق (سانتی متر) Depth (cm)	بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس در متر) EC (dS.m ⁻¹)	کربن آلی (درصد) OC (%)	نیتروژن کل (درصد) N (%)	فسفر (میلی- گرم بر کیلوگرم) P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم (میلی- گرم بر کیلوگرم) K (mg.kg ⁻¹)
0 – 30	لوم رسی - سیلتی Silty clay loam	7.2	1.6	1.3	0.8	10	230

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه آفتابگردان در سال اول
Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of studied traits of sunflower in the first year

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	درصد زنده‌مانی Survival percent	شاخص سبزی‌نگی SPAD	ارتفاع بوته Plant height	محتوای نسبی آب برگ Relative water content	وزن- خشک برگ Leaf dry weight	وزن- خشک ساقه Stem dry weight	وزن- خشک کل Total dry weight	نسبت برگ به ساقه Leaf to stem ratio	سطح برگ Leaf area
بلوک Block	3	97.4 ^{ns}	6.041 ^{ns}	40.1 ^{ns}	583.0 ^{**}	24.0 ^{**}	25.9 ^{**}	6.0 ^{ns}	1.22 ^{**}	9124 ^{ns}
تاریخ کاشت (S) Sowing date (S)	1	24.6 ^{ns}	0.001 ^{ns}	2845.7 ^{**}	404.9 [*]	519.0 ^{**}	512.1 ^{**}	2062.2 ^{**}	0.07 ^{ns}	68154577 ^{**}
روش کاشت (M) Planting method (M)	2	146.7 ^{ns}	9.855 ^{ns}	288.3 ^{**}	18.5 ^{ns}	50.4 ^{**}	20.4 [*]	197.5 ^{**}	0.03 ^{ns}	6820551 ^{**}
M*S	2	450.1 ^{ns}	16.861 ^{ns}	92.7 [*]	359.8 [*]	71.8 ^{**}	33.2 ^{**}	197.0 ^{**}	0.18 ^{ns}	9745139 ^{**}
ضریب تغییرات (%) C.V (%)		12.75	7.55	12.67	14.29	19.86	23.75	16.94	27.11	28.11

ns و * و **: به ترتیب عبارتند از غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۰.۰۵ و ۰.۰۱.
ns, * and **: Non-significant and significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively.

اندازه‌گیری شد. برگ‌ها به مدت ۱۶ تا ۱۸ ساعت در آب مقطر قرار داده شد و پس از آن وزن اشباع آن‌ها اندازه‌گیری گردید. سپس برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون ۷۰ درجه گذاشته و وزن خشک آن‌ها نیز به دست آمد. محتوای نسبی آب برگ از تقسیم تفاضل وزن تر و خشک برگ بر تفاضل وزن تورم کامل و خشک حاصل شد (Turner & Kramer, 1980). وزن مخصوص برگ از تقسیم وزن خشک برگ بر سطح برگ محاسبه شد. جهت اندازه‌گیری محتوای کلروفیل (a) و (b) ابتدا یک گرم برگ از هر کرت انتخاب و درون یک هاون چینی ریخته شد و به آن ۴۰-۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد اضافه گردید. سپس محلول در داخل سانتریفوژ با ۱۰۰۰۰-۵۰۰۰ دور در دقیقه و به مدت پنج دقیقه قرار داده شد و این روش آنقدر تکرار گردید تا محلول بی‌رنگی باقی بماند. در طول موج‌های ۶۴۷ نانومتری

وزن تر برگ، وزن تر ساقه، وزن تر گیاهچه، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه و وزن خشک کل با استفاده از ترازوی دقیق الکترونیکی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. برای تخمین مقدار سبزی‌نگی (SPAD) از دستگاه کلروفیل‌متر استفاده گردید و هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پرومتر روی آخرین برگ توسعه یافته اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین سطح برگ از نرم‌افزار دیجی‌مایزر (نسخه ۴.۱.۱۰، شرکت سازنده مدکال سافتور) استفاده شد (P30download, 2016). برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، برگ یکی از بوته‌ها در هر پلات را از قسمت پهنک بریده و بلافاصله در یک کیسه پلاستیکی و در فلاسک یخ قرار داده شدند و پس از انتقال به آزمایشگاه، وزن تازه

دانه، وزن دانه در طبق، درصد پوسته و درصد مغز دانه بود. داده‌های حاصل از یادداشت‌برداری‌ها و نمونه‌گیری‌های صفات مورد نظر، به کمک نرم‌افزار SAS نسخه ۹.۲ تجزیه و تحلیل شد. برای مقایسه میانگین‌های مربوط به هریک از تیمارها از روش LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید. برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

برای کلروفیل (a) و ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل (b) میزان جذب نور قرائت شد و از معادله‌های زیر کلروفیل (a) و (b) به دست آمد (Arnon, 1949):

$$\text{Chlorophyll}_a = 12.7(A_{663}) - 2.69(A_{645}) \quad (۱)$$

$$\text{Chlorophyll}_b = 22.9(A_{645}) - 4.68(A_{663})$$

$$\text{Total Chlorophyll: } 20.2(A_{645}) + 8.02(A_{663})$$

صفات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد شامل وزن صد دانه، تعداد دانه پر، پوک و کل در طبق، قطر طبق، طول، عرض و قطر

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه آفتابگردان در سال اول
Table 3- Mean comparison of measured traits of sunflower in the first year

تیمار Treatment	ارتفاع (سانتی‌متر) Plant height (cm)	محتوای نسبی آب برگ (درصد) RWC (%)	وزن خشک برگ (گرم در بوته) Leaf dry weight (g.plant ⁻¹)	وزن خشک ساقه (گرم در بوته) Stem dry weight (g.plant ⁻¹)	وزن خشک کل (گرم در بوته) Total dry weight (g.plant ⁻¹)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع در بوته) Leaf area (cm ² .plant ⁻¹)
بذرکاری زود هنگام Early seeding	43.00	64.64	7.40	9.46	16.86	2708.0
نشاء ۴ هفته‌ای زود هنگام 4 weeks transplant, early	43.25	56.25	18.21	16.37	34.58	6663.8
نشاء ۶ هفته‌ای زود هنگام 6 weeks transplant, early	50.41	52.82	11.01	14.58	25.59	3930.2
بذرکاری زمان معمول Seeding, the usual time	13.57	40.97	3.15	4.56	7.71	1155.3
نشاء ۴ هفته‌ای زمان معمول 4 weeks transplant, the usual time	27.33	54.85	2.28	3.37	5.65	837.2
نشاء ۶ هفته‌ای زمان معمول 4 weeks transplant, the usual time	30.25	53.24	3.27	4.77	8.05	1198.6
LSD (5%)	6.62	11.59	2.26	3.17	4.19	1167.1

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیکی

کشت مستقیم بذر شده است (جدول ۵). در کشت زود هنگام گیاه فرصت رشد رویشی بیشتری داشته در نتیجه ارتفاع گیاه بیشتر خواهد شد (Asgarnezhad et al., 2015). به نظر می‌رسد علت کاهش ارتفاع با تأخیر در کاشت برخورد گیاه با شرایط نامساعد محیطی و کوتاه شدن دوره رشد باشد (Rezvani Moghaddam & Motlagh, 2007). طی بررسی‌های پیشین تأخیر در تاریخ نشاء کاری به دلیل رسیدگی دیر هنگام و کاهش طول دوره رشد موجب کاهش ارتفاع شد (Golmohammadi & Nahvi, 2009).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تاریخ کاشت و روش کاشت بر ارتفاع بوته در سال اول و اثر روش کاشت در سال دوم بر ارتفاع بوته، طول ساقه، تعداد برگ سبز، تعداد برگ زرد، معنی‌دار ولی بر عرض برگ، طول برگ، طول میانگره، غیرمعنی‌دار بود (جدول‌های ۲ و ۴). مقایسه میانگین در سال اول نشان داد که بالاترین ارتفاع بوته مربوط به نشاء شش هفته‌ای زود هنگام و کمترین ارتفاع مربوط به کشت مستقیم بذر زمان معمول بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین در سال دوم نشان داد که نشاء کاری باعث افزایش ارتفاع بوته، طول ساقه، تعداد برگ سبز، تعداد برگ زرد در مقایسه با

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیکی آفتابگردان در سال دوم
Table 4- Analysis of variance of morphologic traits of sunflower in the second year

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	طول میانگره Length of internodes	تعداد برگ زرد Yellow leaf number	تعداد برگ سبز Green leaf number	طول ساقه Stem length	ارتفاع بوته Plant height	طول برگ Leaf length	عرض برگ Leaf width
بلوک Block	2	0.36 ^{ns}	0.57 ^{ns}	12.61 ^{ns}	4384.6*	4357.7*	7.03 ^{ns}	91.19*
تیمار Treatment	1	0.11 ^{ns}	1.11*	47.48*	2977.9*	2716.1*	13.53 ^{ns}	2.47 ^{ns}
خطا Error	2	3.35	0.04	2.52	133.8	134.4	3.27	1.19
ضریب تغییرات (%) C.V (%)		14.30	9.40	6.05	11.56	9.16	8.66	6.06

ns و * : به ترتیب نشان دهنده غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد
ns, * and **: Non-significant and significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین برخی صفات مورفولوژیکی آفتابگردان در سال دوم
Table 5- Mean comparison of some morphological traits of sunflower in the second year

تیمار Treatment	تعداد برگ زرد Yellow lead number	تعداد برگ سبز Green lead number	طول ساقه (سانتی‌متر) Stem length (cm)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)
نشاءکاری Transplanting	2.77	29.07	156.7	147.7
بذرکاری Seeding	1.88	23.45	112.2	105.2
LSD (5%)	0.77	5.58	40.6	40.7

صفات فیزیولوژیکی

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تاریخ کاشت و روش کاشت بر شاخص سبزی‌نگی، درصد زنده‌مانی و نسبت برگ به ساقه غیر معنی‌دار ولی بر سطح برگ، وزن خشک ساقه، برگ و کل، محتوای نسبی آب برگ در سال اول معنی‌دار بود و در سال دوم اثر روش کاشت بر نسبت برگ به ساقه، وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ و وزن خشک کل، وزن تازه ساقه، تازه برگ و وزن تازه کل، سطح برگ و کلروفیل a معنی‌دار ولی بر وزن مخصوص برگ، هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل b و کلروفیل کل

غیرمعنی‌دار بود (جدول‌های ۲ و ۶). مقایسه میانگین در سال اول نشان داد که بالاترین وزن خشک تولید شده و سطح برگ مربوط به نشاء چهار هفته‌ای زود هنگام بود و کشت مستقیم بذر به صورت زود هنگام محتوای نسبی آب برگ بالاتری نسبت به کشت مستقیم بذر زمان معمول داشت و کمترین وزن خشک تولید شده و سطح برگ مربوط به هر سه روش کاشت در زمان معمول و کمترین محتوای نسبی آب برگ مربوط به کشت مستقیم بذر زمان معمول بود (جدول ۳).

جدول ۶- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات فیزیولوژیکی آفتابگردان در سال دوم
 Table 6- Analysis of variance (mean of squares) of physiological traits of sunflower in the second year

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	محتوای نسبی آب برگ Leaf relative content	هدایت روزنمای Leaf porometer	وزن مخصوص برگ Leaf specific weight	مساحت برگ Leaf area	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	وزن تازه برگ Leaf fresh weight	وزن تازه ساقه Stem fresh weight	وزن تازه کل Total fresh weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight	وزن خشک کل Total dry weight	نسبت برگ به ساقه Leaf to stem ratio
بلوک Block	2	33.10 ^{ns}	81.54 ^{ns}	0.0085 ^{ns}	473.4 ^{ns}	117.86*	34.65 ^{ns}	67.02 ^{ns}	13779 ^{ns}	123146 ^{ns}	214550 ^{ns}	1111 ^{ns}	6372 ^{ns}	5555 ^{ns}	0.0126*
تیمار Treatment	1	857.29 ^{ns}	1.37 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	2750 7.8*	108.54*	20.35 ^{ns}	51.04 ^{ns}	33751*	734993	108375 8*	3059*	97114*	134643 3**	0.0076*
خطا Error	2	58.68	32.93	0.0044	1237. 5	5.59	16.52	26.73	1816	21016	35116	135	1302	986	0.00003
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)		10.60	12.14	17.99	11.76	8.26	8.66	16.99	11.29	9.46	9.81	10.55	9.13	6.21	2.03

ns, * and **: Non-significant and significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively.
 ns و * و **: به ترتیب عبارتند از غیرمعنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

جدول ۷- مقایسه میانگین برخی صفات فیزیولوژیکی آفتابگردان در سال دوم
Table 7- Mean comparison of some physiological traits of sunflowers in the second year

تیمار Treatment	سطح برگ Leaf area (cm ² .plant ⁻¹)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g ⁻¹)	وزن تازه برگ (گرم در بوته) Leaf fresh weight (g.plant ⁻¹)	وزن تازه ساقه (گرم در بوته) Stem fresh weight (g.plant ⁻¹)	وزن تازه کل (گرم در بوته) Total fresh weight (g.plant ⁻¹)	وزن خشک برگ (گرم در بوته) Leaf dry weight (g.plant ⁻¹)	وزن خشک ساقه (گرم در بوته) Stem dry weight (g.plant ⁻¹)	وزن خشک کل (گرم در بوته) Total dry weight (g.plant ⁻¹)	نسبت برگ به ساقه Leaf to stem ratio
نشاءکاری Transplanting	366.6*	32.89	452.2	1881.1	2333.3	132.6	522.2	654.9	0.330
بذرکاری Seeding	231.2	24.38	302.2	1181.1	1483.3	87.5	267.7	355.3	0.259
LSD (5%)	123.5	8.3	149.7	509.3	658.3	40.8	126.7	110.3	0.021

عملکرد و اجزای عملکرد

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر روش کاشت در سال دوم بر عملکرد دانه، وزن صد دانه، تعداد کل دانه در طبق، تعداد دانه پر در طبق، وزن پوسته و وزن مغز دانه معنی‌دار ولی بر شاخص برداشت، قطر دانه، عرض دانه، طول دانه، قطر طبق، تعداد دانه پوک در طبق، درصد پوسته و درصد مغز غیرمعنی‌دار بود (جدول ۸). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که نشاءکاری در مقایسه با کشت مستقیم بذر موجب افزایش عملکرد دانه، وزن صد دانه، تعداد دانه پر در طبق، وزن پوسته و وزن مغز دانه شد (جدول ۹). تأخیر در کاشت فرصت و فضای بیشتری برای استقرار علف‌های هرز فراهم می‌آورد در نتیجه باعث کاهش عملکرد می‌گردد (Ghorbani et al., 2013). بنابراین نشاءکاری زود هنگام موجب کاهش رقابت علف‌های هرز و در نتیجه افزایش عملکرد در مقایسه با کشت مستقیم بذر می‌گردد.

بقاء و عملکرد بیشتر ممکن است مربوط به سیستم ریشه‌ای با استقرار بالاتر در گیاهچه‌های مسن تر باشد که گیاه را قادر به جذب بیشتر آب و عناصر از خاک می‌کند (Shukla et al., 2011).

در نشاءکاری به علت عدم برخورد مراحل حساس گیاه با شرایط نامساعد محیطی و به دلیل ایجاد پوشش گیاهی مناسب و همچنین طولانی شدن دوره پر شدن دانه و ذخیره مواد فتوسنتزی در دانه موجب افزایش وزن هزار دانه و در نتیجه افزایش عملکرد دانه می‌گردد (Rabiee et al., 2011). برخی پژوهشگران افزایش معنی‌دار عملکرد را به افزایش اجزای عملکرد همچون تعداد دانه و وزن هزار دانه مربوط دانسته‌اند (Rezvani Moghaddam et al., 2008). به-

نظر می‌رسد یکی از عوامل مؤثر در دستیابی به عملکرد بالا در نشاءکاری، تعداد برگ بیشتر و سطح برگ بالا بوده که موجب شده است گیاه از تشعشع خورشیدی با کارایی بالا استفاده نموده و در نتیجه ذخیره مواد غذایی افزایش یافته است. بنابر یافته‌های برخی محققان دریافت بیشتر نور به‌ویژه در مراحل ابتدایی رشد برای سبقت گرفتن و برتری بر علف‌هرز در میدان رقابت بسیار مهم بوده و موجب حصول عملکرد بیشتری می‌گردد (Ala et al., 2014). همچنین در نشاءکاری در مقایسه با کشت مستقیم به دلیل کنترل علف‌های هرز، تسهیل در استقرار گیاهچه (Rao et al., 2007)، دوره رشد کوتاه‌تر، گل‌دهی سریع‌تر (Ghiasabadi et al., 2014)، توانسته است عملکرد بالاتری تولید نماید. در بررسی‌های دیگر روی نشاءکاری هندوانه (*Citrullus lanatus* L.) گزارش شده است که در روش نشاءکاری میوه زودرس‌تر از کشت مستقیم بود (Ghamkhar et al., 2011).

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش در سال اول نشان داد که بیشترین ماده خشک تولید شده و سطح برگ مربوط به نشاء چهار هفته‌ای زود هنگام بود که به‌عنوان بهترین تیمار برای کشت در سال دوم انتخاب شد. از نتایج سال اول چنین به نظر می‌رسد که با افزایش سن نشاء از چهار به شش هفته‌ای، احتمالاً نشاء به سرما حساس‌تر شده و دمای پایین هوا موجب خسارت به گیاه و در نتیجه باعث تولید ماده خشک کمتری گردیده است.

جدول ۸- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد آفتابگردان در سال دوم
Table 8- Analysis of variance (mean of squares) of yield and yield component of sunflowers in the second year

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	وزن مغز دانه Dehulled seed weight	وزن پوسته Hull weight	درصد مغز Dehulled seed percentage	درصد پوسته Hull percentage	تعداد دانه			تعداد کل			عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index	
						تعداد دانه پوک در طبق Empty seed number per head	تعداد دانه پر در طبق Full seed number per head	تعداد کل دانه در طبق Total seed number per head	طول دانه Seed length	عرض دانه Seed width	قطر دانه Seed diameter			وزن صد دانه 100- seed weight
بلوک Block	2	3.60 ^{ns}	1.03 ^{ns}	13.07 ^{ns}	13.07 ^{ns}	29.90*	971566*	1033249*	0.38 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.07 ^{ns}	9.5 ^{ns}	5480.0*	141.39 ^{ns}
تیمار Treatment	1	9.93*	6.38*	0.23 ^{ns}	0.23 ^{ns}	8.21 ^{ns}	738504*	582193 ^{ns}	43.65 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.73 ^{ns}	27.77*	7169.1*	14.14 ^{ns}
خطا Error	2	0.43	0.31	6.90	6.90	1.51	37879	45213	5.56	0.54	0.14	1.21	287.6	28.96
ضریب تغییرات (%)		8.51	10.53	4.50	4.50	3.05	8.82	7.77	8.82	3.38	4.56	8.27	11.97	19.19
C.V (%)														

ns و * و **: به ترتیب عبارتند از غیرمعنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ۰/۵، ۰/۱ و ۰/۰۱.
ns, * and **: Non-significant and significant at the 5% and 1% levels of probability, respectively.

جدول ۹- مقایسه میانگین برخی صفات عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان در سال دوم

Table 9- Mean comparison yield and yield components traits of sunflowers in the second year

تیمار Treatment	وزن مغز دانه (گرم در بوته) Dehulled seed weight (g.plant ⁻¹)	وزن پوسته (گرم در بوته) Hull weight (g.plant ⁻¹)	تعداد دانه پر در طبق Full seed number per head	وزن صد دانه (گرم در بوته) 100-seed weight (g)	عملکرد دانه (گرم در بوته) Seed yield (g.plant ⁻¹)
نشاءکاری Transplanting	9.07	6.40	2556.7	15.47	176.2
کشت مستقیم بذر Direct seeding	6.50	4.33	1855.0	11.17	107.0
LSD (5%)	2.32	1.98	683.7	3.87	59.5

تواند جبران هزینه‌های اولیه را نماید. ضمناً با نشاءکاری می‌توان از زمان حمله آفات و امراض و علف‌های هرز نیز فرار کرد. لذا با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان کاشت آفتابگردان را به‌روش نشاءکاری با استفاده از نشاء چهار هفته‌ای زود هنگام در شرایط آب و هوایی شهر کرمانشاه و مناطق مشابه محل آزمایش توصیه نمود.

نتایج پژوهش در سال دوم نشان داد که نشاءکاری در مقایسه با کشت مستقیم باعث افزایش ماده تازه و خشک بوته، ارتفاع بوته، تعداد دانه در طبق، وزن پوسته و وزن مغز دانه، عملکرد دانه و وزن صد دانه شد. با وجود هزینه‌های بالا در تولید و انتقال نشاء به زمین اصلی در نشاءکاری، ماده خشک تولید شده و عملکرد بالای دانه می‌

منابع

- Aghayari, F., Faraji, A., and Kordkatooli, A. 2016. Determination of yield and yield components response of soybean (*Glycine max* L.) to swing date, temperature and sunshine hours. *Journal of Agroecology* 7(4): 547-562. (In Persian with English Summary)
- Ala, A., Aghaalikhani, M., Amiri Larijani, B., and Soofizadeh, S. 2014. Light use efficiency of rice varieties under direct seeding and transplanting systems with weed interference. *Iranian Journal of Field Crop Science* 45(1): 147-160. (In Persian with English Summary)
- Aron, D. 1949. Copper enzymes isolated chloroplasts, polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology* 24: 1- 15.
- Asgarnezhad, M.R., Zaraei, G.R., and Zarezadeh, A. 2015. The effect of planting date and plant density on yield and yield components of black mustard (*Brassica nigra*) the weather conditions. *Abarkuh Electronic Journal of Crop Production* 8(3): 183-198. (In Persian with English Summary)
- Daneshian, J., Jamshidi, E., Ghalavand, A., and Farrokhi, E. 2008. Determination of the suitable plant density and planting date for new hybrid (CMS-26 × R-103) of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences* 10(1): 72-87. (In Persian with English Summary)
- Dong, H.Z., Li, W.J., Tang, W., Li, Z.H., and Zhang, D.M. 2005. Increased yield and Revenue with a seedling transplanting system for hybrid seed production in *Bt* cotton. *Journal of Agronomy and Crop Science* 191(2): 116-124.
- Ghamkhar, F., Hassanpour, A.G., Bagheri, S., and Mohamadi, A.H. 2011. Effect of medium composition type and bed volume on production and establishment of transplanted watermelon CV. Crimson Sweet. National Conference on Advances in Agronomy, Quds City, Islamic Azad University, Quds city Branch, Iran Available at: http://www.civilica.com/Paper-NCAAGRI01-NCAAGRI01_181.html. (In Persian)
- Ghiasabadi, M., Khajeh-Hosseini, M., and Mohammad-Abadi, A.A. 2014. Investigating effects of transplanting date on growth indexes and yield of forage corn (*Zea mays* L.) in Mashhad. *Iranian Journal of Field Crops Research* 12(1):

- 137-145. (In Persian with English Summary)
- Ghorbani, R., Miralavi, S.V.A., and Sabet timori, M. 2013. Effect of sowing density and date of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) on density and weed biomass in Shirvan climate conditions. *Journal of Agroecology* 4(4): 294-306. (In Persian with English Summary)
- Golmohammadi, M.J., and Nahvi, M. 2009. Effects of different dates of transplanting on rapeseed (*Brassica napus* L.) yield and its components as second crop after rice in Ghilan (Rasht) conditions. *Journal of Agroecology* 1(2): 8-81. (In Persian with English Summary)
- Guilani, A.A., Siadat, S.A., and Fathi, G. 2003. Effect of plant density and seedling age on yield and yield components in 3 rice cultivars in Khusestan growth conditions. *Iranian Journal Agriculture Sciences* 34(2): 427-438. (In Persian with English Summary)
- Heidari Zolleh, H., Bahraminejad, S., Maleki, G., and Papzan, A.H. 2009. Response of cumin (*Cuminum cyminum* L.) to sowing date and plant density. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 5: 597-602.
- Jamshidi, E., Ghalavand, A., Salehi, A., Javad Zare, M., and Jamshidi, A.R. 2009. Effect of Arbuscular mycorrhizal on yield, yield components and plant characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences* 11(1):136-150. (In Persian with English Summary)
- Karimzade Asl, K.H., Mazaheri, D., and Peighambari, A. 2003. Effect of four irrigation intervals on the seed yield and quantitative characteristics of three sunflower cultivars. *Iranian Journal Agriculture Sciences* 34(2): 293-301. (In Persian with English Summary)
- Khajehpour, M.R. 2012. *Industrial Plants*. Jihade-Daneshgahi of Isfahan University, Isfahan, Iran 571 pp. (In Persian)
- Shukla, Y.R., Chhopal, T., and Sharma, R. 2011. Effect of age of transplants on growth and yield of capsicum. *International Journal of Farm Sciences* 1(2): 56-62.
- Mazahery-Laghab1, H., Salvati, S., and Mahmoudi, R. 2012. Response of the yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivar Armavirski to sowing time and plant density in rain fed conditions in Ghorveh Kordestan. *Plant Production Technology* 11(2): 63-74. (In Persian with English Summary)
- Mirzaee, Y., and Khodadadi, M. 2008. The survey of production methods effects (transplant, onion set and seed) on the some traits in onion (*Allium cepa* L.) cultivars at continued production design in Jiroft region. *Pajouhesh & Sazandegi* 80: 69-76. (In Persian with English Summary)
- Ozalkan, C., Seprto, H., and Daur, I. 2010. Relationship between some plant growth parameters and grain yield chickpea during different growth stages. *Turkish Journal of Field Crops* 15(1): 79-83.
- P30download. 2016. Digimizer, software for precise measurement of things existing in images. Available at Web site <http://p30download.com/fa/entry/35475/> (verified 13 April 2016).
- Paseban Islam, B. 2009. Comparing the yield of winter rapeseed cultivars in different planting dates. *Journal of Agricultural Sciences* 3(10): 2-10. (In Persian with English Summary)
- Rabiee, M., Alinia, F., and Tousi Kehal, P. 2011. Effect of transplanting date on seed yield and its components of four rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars as second crop in Rasht in Iran. *Seed and Plant Production Journal* 2- 27(2): 251-267. (In Persian with English Summary)
- Rahnama, A.A., and Bakhshandeh, A.M. 2006. Effect of sowing dates and direct seeding and transplanting methods on agronomic characteristics and grain yield of canola under Ahwaz conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences* 7(4): 324-336. (In Persian with English Summary)
- Rao, A.N., Johnson, D.E., Sivaprasad, B., Ladha, J.K., and Mortimer, A.M. 2007. Weed management in direct-seeded rice. *Advances in Agronomy* 93: 153-255.
- Rezvani Moghaddam, P., Bromand Rezazadeh, Z., Mohamad Abadi, A.A., and Sharif, A. 2008. Effects of sowing dates and different fertilizers on yield, yield components, and oil percentage of castor bean (*Ricinus communis* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 6(2): 303-313. (In Persian with English Summary)
- Rezvani Moghaddam, P., and Motlagh, M. 2007. Effect of sowing date and plant density on yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa*) in Islamabad-Ghayein. *Iranian Journal of Field Crops Research* 76: 62-68. (In Persian with English Summary)

- Roshdi, M., Heydari Sharifabad, H., Karimi, M., Noor Mohammadi, G., and Darvish, F. 2006. A survey on the impact of water deficiency over the yield of sunflower seed cultivar and its components. *Journal of Agriculture Sciences* (1): 109-122. (In Persian with English Summary)
- Taleie1, N., Hamidoghli, Y., Rabiei, B., and Hamidoghli, S. 2012. Effects of plant density and transplanting date on herbage, stevioside, phenol and flavonoid yield of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 4(6): 298-302.
- Turner, N.C., and Kramer, P.J. 1980. Adoption of plant to water and high temperature stress. *Forest Science* 27(4): 640.



Evaluating Possibility of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Transplanting in Kermanshah Climate

Z. Zarei¹, H. Heidari^{2*}, I. Nosratti³ and M. Khoramivafa⁴

Submitted: 07-11-2016

Accepted: 17-06-2017

Zarei, Z., Heidari, H., Nosratti, I., and Khoramivafa, M. 2018. Evaluating possibility of sunflower (*Helianthus annuus* L.) transplanting in Kermanshah climate. Journal of Agroecology. 10(3): 775-787.

Introduction

Sunflower (*Helianthus annuus* L.) is one of the plants cultivated for oil or seed. Sunflower oil contains many useful fatty acids. One of methods to increase plant yield and decrease input consumption is transplanting. Transplanting can increase seed yield components such as head number per plant, seed number per head, 1000-seed weight. Transplanting increased seed yield and quality compared to direct seeding due to no frost at the beginning of growth season and increasing flowering length. By delaying transplanting, seed germination or transplant establishment is reduced. Time interval from seeding till beginning and terminating flowering length can be reduced by delaying at seeding, but by transplanting flowering duration length increases. Drought losses crop productions especially at plant critical growth periods such as seed filling stage. In arid and semi-arid areas like Iran, water shortage leads farmers to plant low- water crops. By transplanting of sunflower, water can be saved, because seedling can be grown by a little water in controlled condition. In addition, some plant growth stages coincide with cool and rainy weather in spring. Many farmers use transplanting for warm season crops, but transplanting of sunflower has not been well studied. This research was aimed to assess sunflower transplanting under common sowing date and early sowing in Kermanshah climate condition.

Material and Methods

An experiment was conducted at greenhouse and research field, campus of agriculture and natural resources, Razi University in 2015 and 2016. In the first year, factors included three planting methods (direct seeding, 4-week transplanting and 6-week transplanting) and sowing date (early sowing, common date sowing). In the second year, treatments included 4- week transplanting at early sowing (superior treatment in the first year) and direct seeding (control). At harvesting stage, four plants per plot were selected and traits such as plant height, stem height, stem diameter, leaf number, internode length, leaf width, leaf length, leaf fresh weight, stem fresh weight, seedling fresh weight, leaf dry weight, stem dry weight and biomass were measured. Leaf greenness was measured by SPAD device and stomatal conductance was measured by porometer device. Leaf area was determined by digimizer software. Leaf relative water content, chlorophyll a and b, seed yield and yield components also were measured. Data were analyzed by SAS software. Mean were compared using LSD test.

Results and Discussion

Analysis of variance of 2015 data, showed that planting method and planting date had significant effect on plant height, leaf relative water content, dry matter and leaf area. 4-week transplant at early planting date had the highest dry matter production and leaf area selected for the second year. It seems that by delaying in transplanting, sunflower plant become more sensitive to cold air and low temperature damages plants, so lower dry matter production was produced. Results of the second year showed that transplanting increased green leaf number, leaf area, chlorophyll a, plant fresh weight, plant dry weight, leaf to stem ratio, stem length, plant height, seed number per head, dehulled seed weight, hull weight, seed yield and 100-seed weight. It seems in transplanting, maximum stem length, plant height, green leaf number and leaf area was occurred when sunlight was maximum, so plant had higher radiation use efficiency and dry matter production. In addition, transplanting had higher seed yield than seeding probably due to weed suppression, rapid establishment, shorter growth duration and faster flowering. Transplanting increased seed yield and weight due to lack of coincidence of plant critical stages to adverse environmental conditions, suitable plant cover, prolonging the grain filling period and

1, 2, 3 and 4- MSc. Student in Agroecology and Assistant Professors, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: heidari1383@gmail.com)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.59751

store assimilates in grain.

Conclusion

In conclusion, it is suggested to plant 4-week sunflower transplant at early date in Kermanshah climate condition.

Keywords: Direct seeding, Dry matter, Planting method, Seed yield, Yield components



ارزیابی تأثیر سامانه‌های کشت مخلوط ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) بر جمعیت، زیست‌توده، محتوای عناصر غذایی کم‌مصرف علف‌های هرز و عملکرد محصول

سحر افضلی هرسینی^{۱*}، محمد صادق تقی زاده^۲، علی بهپوری^۳ و فرزانه فرامرزی^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۲۹

افضل‌ی هرسینی، س.، تقی زاده، م. ص.، بهپوری، ع. و فرامرزی، ف. ۱۳۹۷. ارزیابی تأثیر سامانه‌های کشت مخلوط ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) بر جمعیت، زیست‌توده، محتوای عناصر غذایی کم‌مصرف علف‌های هرز و عملکرد محصول. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳): ۷۸۹-۸۰۳.

چکیده

به‌منظور ارزیابی تأثیر کشت مخلوط ردیفی ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) بر تراکم، زیست‌توده و محتوای عناصر غذایی کم‌مصرف شاخساره علف‌های هرز و عملکرد محصول، یک آزمایش مزرعه‌ای در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هشت تیمار و سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل کشت مخلوط ردیفی ارقام گندم (I₁): کشت مخلوط شیروودی + لاین ۹۱-۱۱، I₂): کشت مخلوط شیروودی + لاین ۹۱-۱۵، I₃): کشت مخلوط لاین ۹۱-۱۱ + لاین ۹۱-۱۵ و I₄): کشت مخلوط شیروودی + لاین ۹۱-۱۱ + لاین ۹۱-۱۵ و کشت خالص آن‌ها (S₁): کشت خالص شیروودی، S₂): کشت خالص لاین ۹۱-۱۱، S₃): کشت خالص لاین ۹۱-۱۵ و S₄): کشت خالص نسل ناخالص F₂ به صورت توده بذری) بود. نتایج نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار مخلوط ژنوتیپ‌ها در کاهش تراکم، زیست‌توده و محتوای عناصر غذایی کم‌مصرف علف‌های هرز بود. بیشترین تراکم علف‌های هرز در کشت خالص شیروودی (۳۹/۳۳ بوته در مترمربع) و بیشترین زیست‌توده علف‌های هرز در کشت خالص لاین ۹۱-۱۱ (۱۳۰ گرم در مترمربع) و کشت خالص شیروودی (۱۲۱/۳ گرم در مترمربع) مشاهده شد. بیشترین محتوای آهن، روی، مس و منگنز شاخساره علف‌های هرز نیز به ترتیب در کشت خالص لاین ۹۱-۱۵ و کشت خالص شیروودی (به ترتیب ۲۷۵ و ۲۴۵/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم)، کشت خالص شیروودی (۲۷/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم)، کشت خالص لاین ۹۱-۱۵ (۲۱/۲۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) و کشت خالص شیروودی (۶۳/۸۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) مشاهده شد. همچنین بیشترین عملکرد دانه در کشت مخلوط شیروودی + لاین ۹۱-۱۵ به میزان ۵/۴ تن در هکتار مشاهده شد. استفاده از کشت مخلوط ارقام گندم می‌تواند باعث کاهش جذب منابع محیطی به‌ویژه عناصر کم‌مصرف توسط علف‌های هرز و کاهش رشد آن‌ها شود. نتایج این مطالعه می‌تواند برای مدیریت غیرشیمیایی و اکولوژیک علف‌های هرز و افزایش عملکرد گیاه زراعی گندم در اگرواکوسیستم‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: اگرواکوسیستم، تراکم، کشت خالص، مدیریت غیرشیمیایی، منابع محیطی

مقدمه

آمد (Kremen et al., 2012). استفاده از علف‌کش‌های شیمیایی برای کنترل علف‌های هرز اغلب به دلیل جلوگیری از کاهش عملکرد گیاهان زراعی و کاهش جمعیت علف‌های هرز به‌عنوان روشی کارآمد در نظر گرفته شده است (Buhler et al., 2000). اما استفاده مکرر از علف‌کش‌ها به‌عنوان تنها ابزار مدیریتی علف‌های هرز به دلایلی همچون هزینه بالای علف‌کش‌ها، مقاومت گونه‌های علف‌هرز به یک یا چند علف‌کش و آلودگی‌های محیط زیستی مورد انتقاد و سوال است (Buhler et al., 2000). کاهش استفاده از علف‌کش‌ها

افزایش تولید محصولات کشاورزی در سامانه‌های کشاورزی فشرده طی قرن بیستم، در نتیجه مصرف سطوح بالای نهاده‌های خارجی و مدیریت شیمیایی علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها به‌دست

۱ و ۲- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اگرواکولوژی و استادیار، گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز
(* - نویسنده مسئول: (Email: sahar13af95@gmail.com
DOI: 10.22067/jag.v10i3.60348

(Hosseini et al., 2011).

علاوه بر کنترل علف‌های هرز در کشت مخلوط، گزارش‌های متعددی مبنی بر افزایش عملکرد محصول در این نوع کشت وجود دارد. در کشت مخلوط با استفاده بیشتر گیاهان زراعی از عوامل محیطی مانند نور، آب و مواد غذایی، پویایی سطح برگ و تفاوت خصوصیات مورفولوژیک در بین اجزای کشت مخلوط، عملکرد نسبت به کشت خالص افزایش می‌یابد (Baumann et al., 2002; Mazaheri, 1998). در بررسی کشت مخلوط دو رقم هیبرید ذرت (*Zea mays* L.) گزارش شده است که میزان عملکرد دانه در کشت مخلوط دو رقم بیشتر از تک‌کشتی هر یک از ارقام بود (Oveysi, 2005). همچنین در مطالعه کشت مخلوط ارقام پابلند دیررس گیاه کتان (*Linum usitatissimum* L.) در نسبت‌های مختلف کاشت با ارقام پاکوتاه زودرس، مشاهده شده است که ترکیب‌های کشت مخلوط به‌طور متوسط ۲/۵ درصد افزایش عملکرد نسبت به کشت خالص هریک از ارقام داشتند (Gubbels & Kenachuko, 1987).
با توجه به این‌که علف‌های هرز موجود در مزرعه می‌توانند از طریق رقابت با گیاه زراعی و مصرف عناصر غذایی موجود، رشد و عملکرد محصولات زراعی را کاهش دهند و از آنجایی که مطالعات اندکی تأثیر کشت مخلوط ارقام گندم بر عملکرد محصول و رشد علف‌های هرز به‌خصوص جذب عناصر غذایی کم‌مصرف توسط آن‌ها را مورد بررسی قرار داده است، هدف از اجرای این آزمایش بررسی تأثیر کشت مخلوط ارقام گندم بر جمعیت، زیست‌توده و محتوای عناصر غذایی کم‌مصرف علف‌های هرز و عملکرد دانه گیاه زراعی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی بخش اگرواکولوژی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز واقع در ۷ کیلومتری شهرستان داراب، با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۳۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و با ارتفاعی حدود ۱۱۰۷ متر از سطح دریاهای آزاد با متوسط دمای سالانه ۲۳ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه ۲۷۰ میلی‌متر در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام شد. قبل از اجرای آزمایش، از خاک مزرعه آزمایش از دو عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر با استفاده از آگر، نمونه برداری صورت گرفت و بعد از هوا خشک کردن و عبور از الک دو میلی‌متری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد

یکی از اهداف کشاورزی پایدار است و جایگزین‌های متعدد با این هدف مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Agegnehu et al., 2006). متنوع ساختن نظام‌های زراعی با استفاده از کشت مخلوط گیاهان زراعی به-عنوان راه‌حلی در جهت کاهش استفاده از علف‌کش‌ها در کشاورزی مدرن معرفی شده است (Shennan, 2008). علاوه بر کشت مخلوط گونه‌های مختلف گیاهان زراعی، استفاده از کشت مخلوط ارقام یا لاین‌های یک نوع گیاه زراعی نیز می‌تواند موجب افزایش تنوع در مزرعه و مقاومت جامعه گیاهی در برابر شیوع آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز شود (Finckh et al., 2000; Mundt, 2002).

در منابع علمی همواره به کشت مخلوط به‌عنوان یک گزینه برای مدیریت تلفیقی علف‌های هرز به‌ویژه در نظام‌های کشاورزی کم‌نهاد اشاره شده است (Schoofs & Entz, 2000; Liebman & Davis, 2000). در کشت مخلوط به دلایل مختلف همچون افزایش پوشش گیاهی، افزایش رقابت و سرعت رشد اولیه بیشتر گیاهان زراعی رشد و هجوم علف‌های هرز به میزان چشمگیری کاهش می‌یابد، بنابراین بهره‌گیری از کشت مخلوط می‌تواند به‌میزان قابل توجهی از کاربرد علف‌کش‌های شیمیایی در مزرعه بکاهد؛ این مورد علاوه بر ارزش اقتصادی از اهمیت زیست‌محیطی بسزایی نیز برخوردار است (Schippers & Kropff, 2001). در کشت مخلوط استفاده از منابع محیطی به شکل مؤثرتری صورت می‌گیرد و به همین سبب مقدار منابع قابل دسترس برای علف‌های هرز کاهش می‌یابد (Sanjani et al., 2009). در یک بررسی علمی گسترده نظام‌های کشت مخلوط و کشت خالص گزارش شده است که وزن خشک علف‌های هرز در نظام‌های کشت مخلوط در پنجاه درصد مطالعات انجام شده کمتر از نظام‌های کشت خالص و تنها در هشت درصد این مطالعات بیشتر از کشت خالص بوده است (Liebman & Dyck, 1993). در مطالعه کشت مخلوط دو گیاه زراعی ارزن (*Eleusine coracolon* L.) و سویا (*Glycine max* L.) گزارش شده است که گیاه ارزن به سبب داشتن قدرت پنجه‌زنی بالا قادر است از رشد علف‌های هرز به میزان قابل توجهی ممانعت به عمل آورده و جمعیت آن‌ها را کاهش دهد (Samarajeewa et al., 2006). در بررسی رقابت علف‌هرز تاج خروس وحشی (*Amaranthus retroflexus* L.) در کشت خالص و مخلوط دو رقم سویا گزارش شده است که این نوع کشت مخلوط بدلیل افزایش توان رقابتی گیاه زراعی می‌تواند به‌عنوان یک روش زراعی در جهت کاهش توان رقابتی علف‌های هرز و کاهش مصرف علف‌کش‌ها به‌کار رود

نشت آب از داخل جوی به سمت محل قرارگیری بذر روی پشته) در طول فصل رشد انجام شد. دور آبیاری در ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند ۱۲ روز و در ماه‌های فروردین و اردیبهشت ۸ روز یکبار بود. در طول فصل رشد هیچ‌گونه کنترلی علیه علف‌های هرز صورت نگرفت. گونه‌های مختلفی از علف‌های هرز در مزرعه آزمایشی مشاهده شد، اما در این آزمایش تراکم و وزن خشک کل علف‌های هرز تعیین شد. برداشت نهایی گیاه زراعی بعد از حذف ردیف‌های حاشیه‌ای از سطحی به مساحت یک مترمربع در تاریخ ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۳ به صورت دستی انجام شد. برای اندازه‌گیری تراکم و وزن خشک علف‌های هرز، در هر کرت یک کودرات یک مترمربعی به صورت تصادفی قرار داده شد و تعداد علف‌های هرز آن شمارش، سپس علف‌های هرز موجود در کودرات (قسمت‌های هوایی) برداشت و برای اندازه‌گیری وزن خشک و محتوای عناصر غذایی کم‌مصرف به آزمایشگاه منتقل شدند. برای اندازه‌گیری وزن خشک علف‌های هرز نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت داخل آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و بعد از خروج از آون، وزن خشک آن‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری عناصر کم‌مصرف با استفاده از دستگاه جذب اتمی (PG-990) ساخت کمپانی PG Instrument انگلستان و به روش لیندزوی و نورول (Lindsay & Norvell, 1978) انجام شد. تجزیه واریانس داده‌ها با نرم‌افزار MSTAT-C و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel 2010 استفاده شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) تأثیر نظام‌های کشت بر تراکم و زیست‌توده کل علف‌های هرز معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود.

تراکم علف‌های هرز: علف‌های هرز مختلفی از خانواده‌های متفاوت در مزرعه آزمایشی مشاهده شد و فراوانی هر یک از آن‌ها نیز در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد، با این حال چون هدف اندازه‌گیری جمعیت کل علف‌های هرز بود، تراکم کل علف‌های هرز در هر تیمار مورد آنالیز قرار گرفت (جدول ۴ و ۵ گونه‌های علف هرز موجود در مزرعه و فراوانی هر یک از آن‌ها را در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد).

(جدول ۱). آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هشت تیمار و سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل کشت مخلوط ردیفی ارقام گندم (I₁): کشت مخلوط شیروودی + لاین ۱۱-۹۱، I₂: کشت مخلوط شیروودی + لاین ۱۵-۹۱، I₃: کشت مخلوط لاین ۱۱-۹۱ + لاین ۱۵-۹۱ و I₄: کشت مخلوط شیروودی + لاین ۱۱-۹۱ + لاین ۱۵-۹۱) و کشت خالص آن‌ها (S₁): کشت خالص شیروودی، S₂: کشت خالص لاین ۱۱-۹۱، S₃: کشت خالص لاین ۱۵-۹۱ و S₄: کشت خالص نسل ناخالص F₂ به صورت توده بذری) بود. ارقام و لاین‌های مورد استفاده در این آزمایش از مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان داراب تهیه شدند، معیار انتخاب این ارقام داشتن خصوصیات مورفولوژیک متفاوت مانند پنجه‌دهی، ارتفاع، تعداد و زاویه برگ به منظور ایجاد یک تاج پوشش گیاهی گندم که نسبت به کشت خالص از تنوع بیشتری برخوردار باشد (جدول ۲) بود و نسل ناخالص F₂ هم صرفاً به این دلیل انتخاب شد که گیاهان زراعی در آن از تنوع مورفولوژیک بسیار بالایی برخوردارند و یکنواخت نیستند.

زمین محل اجرای آزمایش، سال قبل به صورت آیش رها شده بود. عملیات آماده‌سازی زمین جهت کاشت شامل شخم، دیسک و تسطیح لیزری قبل از کاشت انجام شد، سپس کرت‌ها به صورت جوی و پشته آماده شدند. ابعاد کرت‌های آزمایشی دو در سه متر، فاصله بین کرت‌ها نیم‌متر و فاصله بین بلوک‌ها یک متر بود و در هر کرت ۱۴ ردیف با فاصله خطوط کاشت ۲۰ سانتی‌متر جهت کاشت آماده شد. عملیات کاشت به صورت دستی در تاریخ نهم آذر ماه سال ۱۳۹۲ روی پشته‌های ۲۰ سانتی‌متر با عمق کاشت سه سانتی‌متر انجام شد. میزان بذر مصرفی بر اساس ۲۳۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد. در کرت‌های کشت مخلوط با توجه به نوع تیمار، یک طرف پشته رقم اول و در طرف دیگر پشته رقم دوم کشت شد و در کرت‌های کشت خالص تمامی ردیف‌های موجود در کرت به کشت آن رقم اختصاص داده شد. در کرت‌های کشت مخلوط دو رقم (کشت مخلوط شیروودی + لاین ۱۱-۹۱، کشت مخلوط شیروودی + لاین ۱۵-۹۱ و کشت مخلوط لاین ۱۱-۹۱ + لاین ۱۵-۹۱) میزان بذر مصرفی ۵۰ درصد از هر رقم و در تیمار کشت مخلوط سه رقم (شیروودی + لاین ۱۱-۹۱ + لاین ۱۵-۹۱) ۳۳ درصد از هر رقم بود. آبیاری به صورت جوی و پشته

- 1- Intercropping
- 2- ERWYT-91-11
- 3- ERWYT-91-15
- 4- Sole cropping

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1- Soil physical and chemical characteristics of the experimental field

عمق (سانتی متر) Depth (cm)	بافت Texture	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (dS.m ⁻¹)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	نیتروژن (درصد) Nitrogen (%)	فسفر (میلی گرم در کیلوگرم) P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم (میلی گرم در کیلوگرم) K (mg.kg ⁻¹)
0-15	لوم Loam	2.64	0.04	0.06	52	150
15-30	لوم Loam	1.59	0.04	0.12	60	150
عمق (سانتی متر) depth (cm)	اسیدیته pH	آهن (میلی گرم در کیلوگرم) Fe (mg.kg ⁻¹)	منگنز (میلی گرم در کیلوگرم) Mn (mg.kg ⁻¹)	روی (میلی گرم در کیلوگرم) Zn (mg.kg ⁻¹)	مس (میلی گرم در کیلوگرم) Cu (mg.kg ⁻¹)	
0-15	7.54	4.11	4.87	1.48	1.69	
15-30	7.64	7.3	1.91	1.7	1.63	

جدول ۲- خصوصیات ارقام گندم مورد استفاده در آزمایش نیکزاد و همکاران (Nickzad et al., 2013)

Table 2- Characteristics of wheat cultivars used in the experiment Nickzad et al. (2013)

رقم Cultivar	خصوصیات Characteristics
شیرودی Shirudi	نیمه پاکوتاه، توانایی پنجه زنی پایین، زاویه برگ عمودی و عملکرد بالا Semi dwarf, low tillering ability, erect leaf angle and high yield
91-11	پابلند، توانایی پنجه زنی بالا، زاویه برگ عمودی و عملکرد متوسط Tall, high tillering ability, erect leaf angle and average yield
91-15	پاکوتاه، توانایی پنجه زنی متوسط، زاویه برگ عمودی و عملکرد بالا Dwarf, average tillering ability, erect leaf angle and high yield
نسل ناخالص F ₂ Generation	پابلند، توانایی پنجه زنی متوسط، زاویه برگ عمودی و عملکرد متوسط Tall, average tillering ability erect leaf angle and average yield

و با سایر تیمارهای کشت خالص تفاوت معنی داری داشت (جدول ۶). کشت مخلوط لاین ۹۱-۱۱ + لاین ۹۱-۱۵ (I₃) تراکم علف‌های هرز را نسبت به کشت خالص شیرودی (S₁) و کشت خالص لاین‌های ۹۱-۱۱ (S₂) و ۹۱-۱۵ (S₃) به ترتیب ۵۵، ۴۵/۸۵ و ۴۴/۰۹ درصد کاهش داد. در کشت مخلوط با افزایش تنوع، آشیان‌های اکولوژیک کمتری در اختیار علف‌های هرز قرار می‌گیرد، در نتیجه تعداد علف‌های هرز در واحد سطح (تراکم) کاهش می‌یابد

مقایسه میانگین نظام‌های کشت نشان داد که تراکم کل علف‌های هرز در تیمارهای کشت مخلوط به صورت معنی داری کمتر از تیمارهای کشت خالص بود، بیشترین تراکم علف‌های هرز در کشت خالص شیرودی (S₁) با ۳۹/۳۳ بوته در مترمربع و کمترین تراکم در کشت مخلوط لاین ۹۱-۱۱ + لاین ۹۱-۱۵ (I₃) با ۱۷/۳۳ بوته در مترمربع مشاهده شد (جدول ۶). در میان تیمارهای کشت خالص، کشت خالص رقم شیرودی دارای بیشترین تراکم علف‌هرز بود

aestivum L.) و کلزا (*Brassica napus* L.) و کشت مخلوط گندم، کلزا و نخود (*Cicer arietinum* L.) گزارش شده است، که نشان‌دهنده همکاری بین اجزای کشت مخلوط در سرکوب علف‌های هرز است (Szumigalski & Van Acker, 2005).

(Vandermeer, 1989). بررسی منابع علمی نشان می‌دهد که با افزایش تنوع در کشت مخلوط، میزان هجوم علف‌های هرز به‌میزان چشمگیری کاهش می‌یابد (Schippers & Kropff, 2001). کاهش جمعیت علف‌های هرز در کشت مخلوط گندم (*Triticum*

جدول ۳- تجزیه واریانس تراکم، زیست‌توده، محتوای آهن، روی، مس و منگنز علف‌های هرز و عملکرد دانه گندم تحت تأثیر نظام‌های کشت
Table 3- Analysis of variance for density, biomass, Iron (Fe), Zinc (Zn), Copper (Cu) and Manganese (Mn) content of weeds and wheat grain yield as affected by cropping system

منابع تغییر	درجه آزادی	تراکم	زیست توده	آهن	روی	مس	منگنز	عملکرد دانه
S.O.V	df	Density	Biomass	Fe	Zn	Cu	Mn	Grain yield
تکرار	2	33.04*	178.49 ^{ns}	654.80 ^{ns}	1.96 ^{ns}	11.52*	23.09 ^{ns}	0.15 ^{ns}
Replication								
نظام کشت	7	157.66**	1479.62**	7545.87**	70.57**	24.08**	237.33**	2.37**
Cropping system								
خطا	14	7.08	123.84	273.11	5.07	1.83	13.69	0.16
Error								
ضریب تغییرات (درصد)	-	9.76	11.38	8.30	11	8.16	7.16	10.68
C.V (%)								

ns: عدم تفاوت معنی‌دار، * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.
ns: non- significant difference, * and **: significant at 5% and 1% probability, respectively.

جدول ۴- گونه‌های علف‌هرز ثبت شده زمین محل اجرای آزمایش

Table 4- Weed species recorded in the field experiment

نام عمومی	نام علمی	خانواده (تیره)
Common name	Scientific name	Family
چچم	<i>Lolium</i> spp.	گندمیان Poaceae
Rye grass		
یولاف وحشی	<i>Avena fatua</i> L.	گندمیان Poaceae
Wild oat		
شوکران	<i>Conium maculatum</i> L.	چتریان Apiaceae
Hemlock		
گلرنگ وحشی	<i>Carthamus oxyacantha</i> L.	کاسنیان Asteraceae
wild safflower		
شاتره	<i>Fumarium officinalis</i> L.	شقایقیان Fumariaceae
Fumitory		
جفجفک	<i>Vacaria pyramdata</i> L.	میخکیان Caryophyllaceae
Cow herb		
خردل وحشی	<i>Sinapis arvensis</i> L.	شب بویان Brassicaceae
Wild mustard		
گندمک	<i>Stellaria media</i> L.	میخکیان Caryophyllaceae
Chick weed		

جدول ۵- تراکم علف‌های هرز در تیمارهای آزمایشی (تعداد در مترمربع)
Table 5- Weeds density in experimental treatments (No per m²)

گونه‌های علف هرز Weed species	تیمارهای آزمایشی Experimental treatments								میانگین کل Total average
	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	
چچم <i>Lolium</i>	10	9	7	10	16	13	14	11	11
یولاف وحشی <i>Avena fatua</i>	6	5	6	6	9	8	7	9	7
شوکران <i>Conium maculatum</i>	2	2	1	2	4	۳	4	3	3
گلرنگ وحشی <i>Carthamus oxyacantha</i>	2	1	1	2	3	2	3	4	2
شاتره <i>Fumarium officinalis</i>	1	1	1	2	3	2	2	0	2
جفجنگ <i>Vacaria pyramdata</i>	0	1	0	1	2	1	0	1	1
خردل وحشی <i>Sinapis arvensis</i>	1	1	0	1	2	2	1	2	1
گندمک <i>Stellaria media</i>	0	1	1	1	0	0	1	0	1

I₁: کشت مخلوط شیرودی + ۹۱-۱۱، I₂: کشت مخلوط شیرودی + ۹۱-۱۵، I₃: کشت مخلوط ۹۱-۱۱ + ۹۱-۱۵، I₄: کشت مخلوط شیرودی + ۹۱-۱۱ + ۹۱-۱۵، S₁: کشت خالص شیرودی، S₂: کشت خالص ۹۱-۱۱، S₃: کشت خالص ۹۱-۱۵، S₄: کشت خالص F₂.

I₁: Intercropping of shirudi + 91-11, I₂: Intercropping of shirudi + 91-15, I₃: Intercropping of 91-11 + 91-15, I₄: Intercropping of shirudi + 91-11 + 91-15, S₁: shirudi sole cropping, S₂: 91-11 sole cropping, S₃: 91-15 sole-cropping and S₄: F₂ sole cropping.

محیطی و عملیات زراعی مانند کشت مخلوط، تجمع ماده خشک علف‌های هرز را تحت تأثیر قرار می‌دهد، Asgharipour & Rafiei (2010; Moatali, 2013). نتایج آزمایش حاضر با یافته‌های تانگ و همکاران (Tang et al., 2009) که گزارش کردند در کشت مخلوط ارقام برنج (*Oryza sativa* L.) زیست‌توده علف‌هرز سوروف (*Echinochloa crus-galli* L.) به‌میزان قابل توجهی کاهش یافت مطابق بود. همچنین در کشت مخلوط افزایشی ذرت و لوبیا چشم بلبلی (*Vigna sinensis* L.) در شرایط کشت ارگانیک، کاهش زیست‌توده علف‌های هرز در نظام‌های کشت مخلوط گزارش شده است (Eskandari & Alizadeh-Amraie, 2016). در تحقیقات علمی صورت گرفته دیگر نیز کاهش زیست‌توده علف‌های هرز مزرعه به‌عنوان یکی از مزایای استفاده از نظام‌های کشت مخلوط گزارش شده است (Banik et al., 2006; Seyed et al., 2012). پوشیده شدن بیشتر سطح خاک و تنوع گیاهی در کشت مخلوط به‌عنوان دو عامل مهم عنوان شده‌اند که موجب کاهش رشد علف‌های هرز می‌شوند (Poggio et al., 2004). زیرا این عوامل در دسترس بودن

زیست‌توده علف‌های هرز: بر اساس نتایج مقایسه میانگین نظام‌های کشت، بیشترین زیست‌توده علف‌های هرز نیز در نظام‌های کشت خالص ارقام گندم مشاهده شد و نظام‌های کشت مخلوط زیست‌توده علف‌های هرز را نسبت به تک‌کشتی آن‌ها به‌میزان قابل توجهی کاهش دادند (جدول ۶). بیشترین زیست‌توده کل علف‌های هرز در کشت خالص لاین ۹۱-۱۱ (S₂) و کشت خالص شیرودی (S₁) به‌ترتیب به‌میزان ۱۳۰ و ۱۲۱/۳ گرم در مترمربع و کمترین وزن خشک علف‌های هرز نیز در کشت مخلوط شیرودی + لاین ۹۱-۱۵ (I₂) به‌میزان ۶۷/۵۱ گرم در مترمربع مشاهده شد. زیست‌توده علف‌های هرز در کشت مخلوط شیرودی + لاین ۹۱-۱۵ (I₂) در مقایسه با کشت خالص شیرودی (S₁)، کشت خالص لاین ۹۱-۱۱ (S₂) و کشت خالص لاین ۹۱-۱۵ (S₃) به‌ترتیب ۴۴/۳۴، ۴۸/۰۶ و ۳۰/۵۵ درصد کاهش نشان داد. زیست‌توده علف‌هرز یک خصوصیت مهم برای بررسی تأثیر نظام‌های کشت مخلوط بر گیاهان زراعی و علف‌های هرز مرتبط با آن‌هاست (Hussain et al., 2013). نتایج تحقیق متخصصین علف‌های هرز نشان داده است که تغییرات

ارتفاع متوسط (داده‌ها نشان داده نشده است) یک تاج پوشش چندلایه ایجاد کردند و فراهمی نور را برای علف‌های هرز کاهش دادند، در نتیجه رشد و تجمع ماده خشک در علف‌های هرز کاهش یافت.

منابع محیطی برای علف‌های هرز را محدود می‌کنند، محدود شدن نور یک عامل مهم در کاهش رشد علف‌های هرز معرفی شده است (Willey, 1990). در این آزمایش نیز لاین ۹۱-۱۱ با ارتفاع بلندتر (داده‌ها نشان داده نشده است) نسبت به سایر ارقام و رقم شیروودی با

جدول ۶- تأثیر نظام‌های کشت بر تراکم و زیست‌توده کل علف‌های هرز
Table 6- The effect of cropping systems on total weed density and weed biomass

نظام‌های کشت Cropping system	تراکم کل علف‌های هرز Total weed density (Plants.m ⁻²)	زیست‌توده علف‌های هرز Weed biomass (g.m ⁻²)
I ₁	21.67 ^{cd*}	79.20 ^{cd}
I ₂	21.33 ^{cd}	67.51 ^d
I ₃	17.33 ^d	83.32 ^{cd}
I ₄	24.67 ^{cd}	88.59 ^c
S ₁	39.23 ^a	121.31 ^a
S ₂	31 ^b	130 ^a
S ₃	32 ^b	97.22 ^b
S ₄	31 ^b	115.10 ^{ab}

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

*Means with similar letters in each column have not significant different at 5% probability based on Duncan's test

I₁: کشت مخلوط شیروودی + ۹۱-۱۱، I₂: کشت مخلوط شیروودی + ۹۱-۱۵، I₃: کشت مخلوط ۹۱-۱۱ + ۹۱-۱۵، I₄: کشت مخلوط شیروودی + ۹۱-۱۱ + ۹۱-۱۵، S₁: کشت

خالص شیروودی، S₂: کشت خالص ۹۱-۱۱، S₃: کشت خالص ۹۱-۱۵، S₄: کشت خالص F₂.

I₁: Intercropping of shirudi + 91-11, I₂: Intercropping of shirudi + 91-15, I₃: Intercropping of 91-11 + 91-15, I₄: Intercropping of shirudi + 91-11 + 91-15, S₁: shirudi sole cropping, S₂: 91-11 sole cropping, S₃: 91-15 sole-cropping and S₄: F₂ sole cropping.

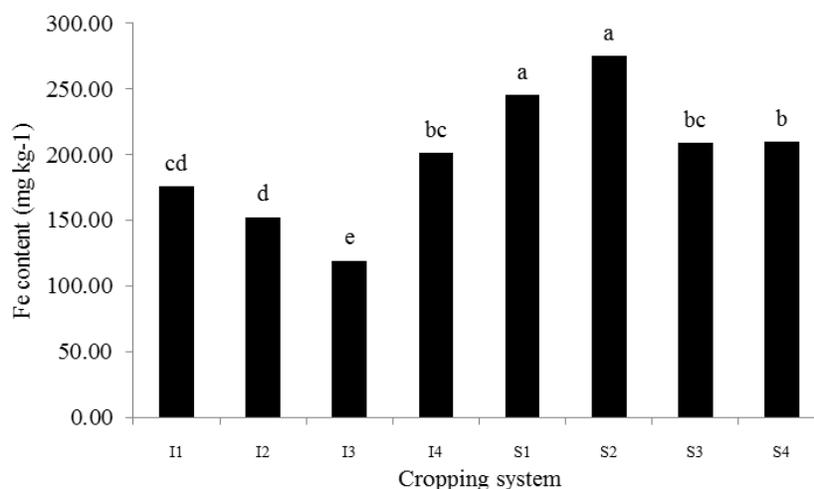
۴۳/۴۰ درصد کاهش یافت. بیشترین محتوای مس در کشت خالص لاین ۹۱-۱۵ (S₃) به میزان ۲۱/۲۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و کمترین آن در کشت مخلوط شیروودی + لاین ۹۱-۱۵ (I₂) به میزان ۱۳/۰۳ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده شد (شکل ۳)، این نظام کشت مخلوط میزان مس شاخساره علف‌های هرز را نسبت به کشت خالص شیروودی و کشت خالص لاین ۹۱-۱۵ به ترتیب ۳۳/۴۵ و ۳۸/۶ درصد کاهش داد. بیشترین محتوای منگنز علف‌های هرز در کشت خالص شیروودی (S₁) به میزان ۶۳/۸۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و کمترین آن در کشت مخلوط لاین ۹۱-۱۱ + لاین ۹۱-۱۵ (I₃) به میزان ۳۶/۸۳ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده شد (شکل ۴). محتوای منگنز در شاخساره علف‌های هرز در کشت مخلوط لاین ۹۱-۱۱ + لاین ۹۱-۱۵ -۱۵ نسبت به کشت خالص شیروودی (S₁)، کشت خالص لاین ۹۱-۱۱ و (S₂) و کشت خالص لاین ۹۱-۱۵ (S₃) به ترتیب ۴۱/۸۹، ۳۳/۶۳ و ۳۷/۹ درصد کاهش یافت. بیشترین محتوای عناصر کم مصرف شاخساره علف‌های هرز در بین نظام‌های کشت مخلوط در کشت مخلوط شیروودی + لاین ۹۱-۱۱ + لاین ۹۱-۱۵ مشاهده شد (شکل‌های ۱ تا ۴) که با بسیاری از تیمارهای کشت خالص تفاوت

محتوای عناصر غذایی کم‌مصرف در شاخساره

علف‌های هرز: تأثیر نظام‌های کشت بر محتوای آهن، روی، مس و منگنز در شاخساره علف‌های هرز معنی‌دار (p ≤ ۰/۰۱) بود (جدول ۳). بیشترین محتوای آهن در کشت خالص لاین ۹۱-۱۵ (S₃) و کشت خالص شیروودی (S₁) به ترتیب به میزان ۲۷۵ و ۲۴۵/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم و کمترین آن در کشت مخلوط لاین ۹۱-۱۱ + لاین ۹۱-۱۵ (I₃) به میزان ۱۱۹/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده شد (شکل ۱). کاهش محتوای آهن در شاخساره علف‌های هرز در کشت مخلوط لاین ۹۱-۱۱ + ۹۱-۱۵ (I₃) در مقایسه با کشت خالص لاین ۹۱-۱۱ (S₁)، کشت خالص لاین ۹۱-۱۵ (S₃) و کشت خالص شیروودی (S₁) به ترتیب ۵۶/۶۱، ۴۲/۸۹ و ۵۱/۴۲ درصد بود. بیشترین محتوای روی در کشت خالص شیروودی (S₁) به میزان ۲۷/۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و کمترین آن در کشت مخلوط لاین ۹۱-۱۱ + لاین ۹۱-۱۵ (I₃) به میزان ۱۲/۹۱ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده شد (شکل ۲). محتوای روی علف‌های هرز در کشت مخلوط لاین ۹۱-۱۱ + لاین ۹۱-۱۵ (I₃) در مقایسه با کشت خالص شیروودی (S₁)، کشت خالص لاین ۹۱-۱۱ و (S₂) و کشت خالص لاین ۹۱-۱۵ (S₃) به ترتیب ۵۳/۰۵، ۴۳/۰۷ و

هرز در نظام‌های کشت مخلوط ممکن است به‌علت کاهش زیست‌توده علف‌های هرز در ترکیب‌های کشت مخلوط باشد، هنگامی که زیست‌توده علف‌های هرز کاهش می‌یابد، توانایی جذب عناصر غذایی توسط آن‌ها نیز کاهش می‌یابد (Eskandari & Ghanbari, 2010). در این آزمایش زیست‌توده علف‌های هرز در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به تیمارهای کشت خالص کاهش یافت (جدول ۴). بنابراین، کاهش جذب عناصر غذایی کم‌مصرف توسط علف‌های هرز نیز در این شرایط طبیعی به‌نظر می‌رسد. در این آزمایش مشاهده شد که ترتیب جذب عناصر کم مصرف در علف‌های هرز به‌صورت آهن < منگنز < روی بود که با نتیجه تحقیق (El-Gizway, 2012) و (Salem & El-Gizway, 2012) در بررسی اهمیت سه عنصر آهن، منگنز و روی در ذرت مطابق است. همچنین غلظت عناصر کم‌مصرف در این آزمایش کمتر از میزان معمول مشاهده شده آن در گیاهان بود و دلیل آن ممکن است به‌سبب آهکی بودن خاک مزرعه آزمایشی باشد، زیرا جذب عناصر غذایی کم‌مصرف در خاک‌های آهکی کاهش می‌یابد (Eskandari & Mozafari, 2012).

معنی‌داری نداشت. در واقع این نظام کشت مخلوط که دارای بیشترین تعداد رقم در بین تیمارهای کشت مخلوط است، به اندازه دیگر ترکیب‌های کشت مخلوط در کاهش جذب عناصر کم مصرف توسط علف‌های هرز موفق نبود. بر اساس نتایج تحقیق حاضر، تیمارهای کشت مخلوط توانستند جذب عناصر غذایی کم‌مصرف توسط علف‌های هرز را نسبت به تیمارهای کشت خالص به‌میزان قابل توجهی کاهش دهند. در اغلب شرایط تولید گیاهان زراعی، تعیین عناصر غذایی ممکن است در تعیین میزان و ماهیت رقابت گیاهان زراعی و علف‌های هرز مهم باشد (Qasem, 1992). بررسی منابع علمی نشان می‌دهد که بهره‌گیری از منابع توسط گیاهان زراعی در کشت‌های مخلوط ردیفی نسبت به کشت‌های خالص بیشتر است که این موضوع نشان می‌دهد کشت‌های مخلوط احتمالاً در رقابت با علف‌های هرز کارآمدترند (Koocheki et al., 2001). چنانچه شرایط محیطی و گیاهان مجاور علف‌های هرز به‌نحوی باشد که آن‌ها از رشد سبزینه‌ای و متعاقباً تولید زیست‌توده بیشتری برخوردار باشند، در جذب عناصر غذایی نیز موفق خواهند بود (Coleman & Gill, 2003). کاهش محتوای عناصر غذایی کم‌مصرف شاخساره علف‌های



شکل ۱- تأثیر نظام‌های کشت بر محتوای آهن شاخساره علف‌های هرز

Fig. 1- Effect of cropping systems on Fe content of weeds shoot

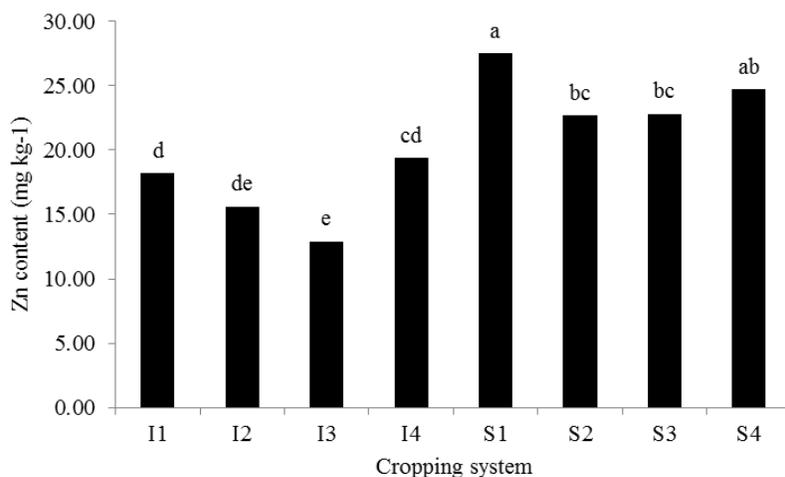
میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters have not significant different at 5% probability based on Duncan's test.

I₁: کشت مخلوط شیرودی + ۹۱-۱۱، I₂: کشت مخلوط شیرودی + ۹۱-۱۵، I₃: کشت مخلوط شیرودی + ۹۱-۱۱ + ۹۱-۱۵، I₄: کشت مخلوط شیرودی + ۹۱-۱۵ + ۹۱-۱۱، S₁: کشت

خالص شیرودی، S₂: کشت خالص ۹۱-۱۱، S₃: کشت خالص ۹۱-۱۵ و S₄: کشت خالص F₂.

I₁: Intercropping of shirudi + 91-11, I₂: Intercropping of shirudi + 91-15, I₃: Intercropping of 91-11 + 91-15, I₄: Intercropping of shirudi + 91-11 + 91-15, S₁: shirudi sole cropping, S₂: 91-11 sole cropping, S₃: 91-15 sole-cropping and S₄: F₂ sole cropping.



شکل ۲- تأثیر نظام‌های کشت بر محتوای روی شاخساره علف‌های هرز

Fig. 2- Effect of cropping systems on zinc (Zn) content of weeds shoot

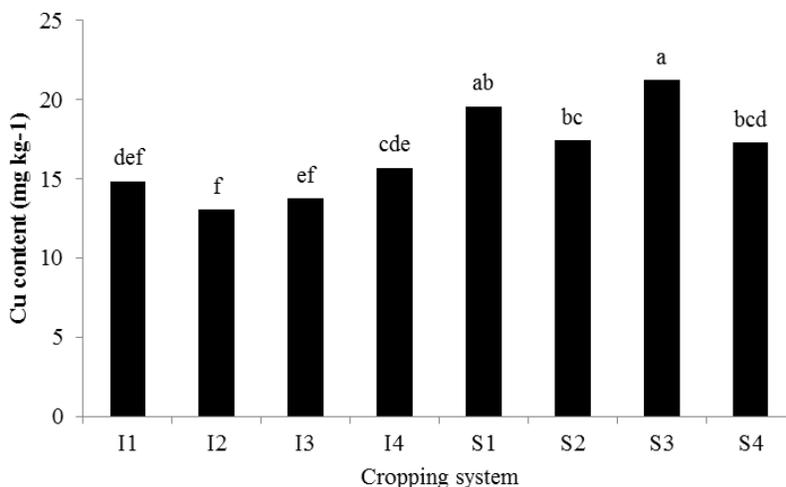
میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters have not significant different at 5% probability based on Duncan's test.

I₁: کشت مخلوط شیرودی + ۹۱-۱۱، I₂: کشت مخلوط شیرودی + ۹۱-۱۵، I₃: کشت مخلوط ۹۱-۱۱ + ۹۱-۱۵، I₄: کشت مخلوط شیرودی + ۹۱-۱۵ + ۹۱-۱۱، S₁: کشت

خالص شیرودی، S₂: کشت خالص ۹۱-۱۱، S₃: کشت خالص ۹۱-۱۵ و S₄: کشت خالص F₂.

I₁: Intercropping of shirudi + 91-11, I₂: Intercropping of shirudi + 91-15, I₃: Intercropping of 91-11 + 91-15, I₄: Intercropping of shirudi + 91-11 + 91-15, S₁: shirudi sole cropping, S₂: 91-11 sole cropping, S₃: 91-15 sole-cropping and S₄: F₂ sole cropping.



شکل ۳- تأثیر نظام‌های کشت بر محتوای مس شاخساره علف‌های هرز

Fig. 3- Effect of cropping systems on cooper (Cu) content of weeds shoot

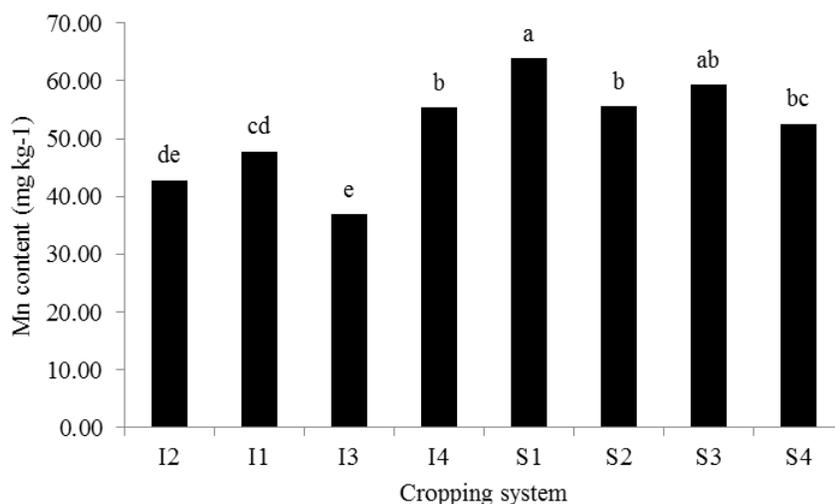
میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with similar letters have not significant different at 5% probability based on Duncan's test.

I₁: کشت مخلوط شیرودی + ۹۱-۱۱، I₂: کشت مخلوط شیرودی + ۹۱-۱۵، I₃: کشت مخلوط ۹۱-۱۱ + ۹۱-۱۵، I₄: کشت مخلوط شیرودی + ۹۱-۱۵ + ۹۱-۱۱، S₁: کشت

خالص شیرودی، S₂: کشت خالص ۹۱-۱۱، S₃: کشت خالص ۹۱-۱۵ و S₄: کشت خالص F₂.

I₁: Intercropping of shirudi + 91-11, I₂: Intercropping of shirudi + 91-15, I₃: Intercropping of 91-11 + 91-15, I₄: Intercropping of shirudi + 91-11 + 91-15, S₁: shirudi sole cropping, S₂: 91-11 sole cropping, S₃: 91-15 sole-cropping and S₄: F₂ sole cropping.



شکل ۴- تأثیر نظام‌های کشت بر محتوای منگنز شاخساره علف‌های هرز

Fig. 4- Effect of cropping system on manganese (Mn) content of weeds shoot

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

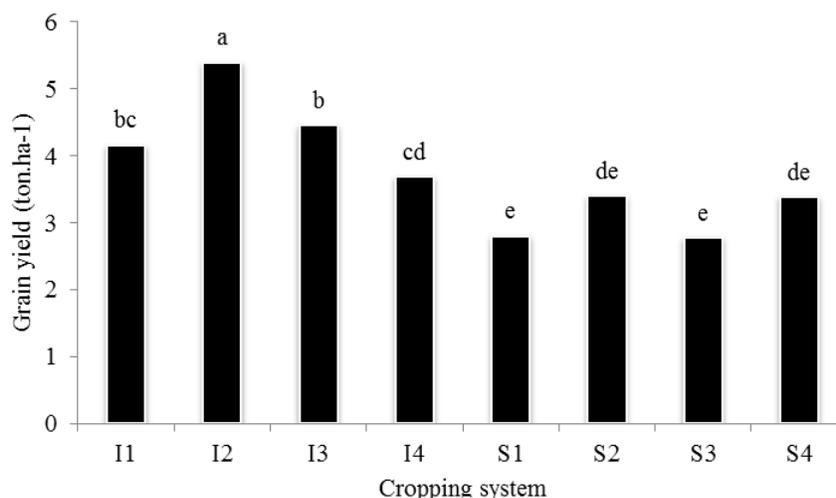
Means with similar letters have not significant different at 5% probability based on Duncan's test

I₁: کشت مخلوط شیرودی + ۹۱-۱۱، I₂: کشت مخلوط شیرودی + ۹۱-۱۵، I₃: کشت مخلوط شیرودی + ۹۱-۱۱ + ۹۱-۱۵، I₄: کشت مخلوط شیرودی + ۹۱-۱۱ + ۹۱-۱۵، S₁: کشت خالص شیرودی، S₂: کشت خالص ۹۱-۱۱، S₃: کشت خالص ۹۱-۱۵، S₄: کشت خالص F₂.

I₁: Intercropping of shirudi + 91-11, I₂: Intercropping of shirudi + 91-15, I₃: Intercropping of 91-11 + 91-15, I₄: Intercropping of shirudi + 91-11 + 91-15, S₁: shirudi sole cropping, S₂: 91-11 sole cropping, S₃: 91-15 sole-cropping and S₄: F₂ sole cropping.

به‌طور کلی، وقتی دو رقم با خصوصیات مورفولوژیک متفاوت بصورت مخلوط کاشته می‌شوند، از عوامل محیطی بیشتر استفاده می‌کنند. در کشت مخلوط با افزایش تنوع، شاهد بهبود کارایی استفاده از منابع دراکوسیستم‌های زراعی و در نهایت افزایش عملکرد خواهیم بود (Mazaheri et al., 2002). از عواملی که موجب دستیابی به عملکرد بالا در حضور علف‌های هرز می‌شود مدیریت مزرعه در جهت حداقل مصرف منبع توسط علف‌هرز و افزایش کارایی مصرف منبع توسط گیاه زراعی عنوان شده است (Koocheki et al., 2001). در این آزمایش کاهش جمعیت، زیست‌توده (جدول ۶) و محتوای عناصر غذایی کم‌مصرف آهن، روی، مس و منگنز علف‌های هرز (شکل‌های ۱ تا ۴) در نظام‌های کشت مخلوط ارقام گندم، توانایی رقابتی آن‌ها را در برابر گیاه زراعی به‌میزان قابل توجهی کاهش داده است و همین عامل می‌تواند دلیلی برای بهره‌برداری کارآمد گیاه زراعی از منابع محیطی و افزایش عملکرد آن در شرایط کشت مخلوط باشد.

عملکرد محصول: تأثیر نظام‌های کشت بر عملکرد دانه معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود (جدول ۳). مقایسه میانگین نظام‌های کشت نشان داد که عملکرد دانه در تیمارهای کشت مخلوط ارقام گندم به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای کشت خالص بود. بیشترین عملکرد دانه در کشت مخلوط شیرودی + لاین ۹۱-۱۵ (I₂) به‌میزان ۵/۴۰ تن در هکتار) و کمترین عملکرد دانه در کشت خالص لاین ۹۱-۱۵ (S₃) و کشت خالص شیرودی (S₁) به‌ترتیب به‌میزان ۲/۷۰ و ۲/۸۰ تن در هکتار مشاهده شد (شکل ۵). کشت مخلوط شیرودی + لاین ۹۱-۱۵ عملکرد دانه را نسبت به کشت خالص لاین ۹۱-۱۵ (S₃) و کشت خالص شیرودی (S₁) به‌ترتیب ۵۰ و ۴۸ درصد افزایش داد. افزایش عملکرد به‌عنوان یکی از مزیت‌های کشت مخلوط در بسیاری از منابع علمی ذکر شده است. در بررسی کشت مخلوط ارقام گندم گزارش شده است که بیشترین عملکرد دانه در تیمارهای کشت مخلوط دو رقم به‌دست آمد (Zareh- FaizAbadi & Emamverdian, 2012).



شکل ۵- تأثیر نظام‌های کشت بر عملکرد دانه گندم

Fig. 5- Effect of cropping systems on wheat grain yield

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

Means with similar letters have not significant different at 5% probability based on Duncan's test.

I₁: کشت مخلوط شیرودی + ۹۱-۱۱، I₂: کشت مخلوط شیرودی + ۹۱-۱۵، I₃: کشت مخلوط ۹۱-۱۱ + ۹۱-۱۵، I₄: کشت مخلوط شیرودی + ۹۱-۱۱ + ۹۱-۱۵، S₁: کشت

خالص شیرودی، S₂: کشت خالص ۹۱-۱۱، S₃: کشت خالص ۹۱-۱۵ و S₄: کشت خالص F₂.

I₁: Intercropping of shirudi + 91-11, I₂: Intercropping of shirudi + 91-15, I₃: Intercropping of 91-11 + 91-15, I₄: Intercropping of shirudi + 91-11 + 91-15, S₁: shirudi sole cropping, S₂: 91-11 sole cropping, S₃: 91-15 sole-cropping and S₄: F₂ sole cropping.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج تحقیق حاضر تراکم، زیست‌توده و محتوای عناصر غذایی کم‌مصرف علف‌های هرز و عملکرد محصول تحت تأثیر نظام‌های کشت قرار گرفت. بیشترین تراکم، تولید ماده خشک علف‌های هرز در واحد سطح و محتوای آهن، روی، مس و منگنز در شاخساره علف‌های هرز در تیمارهای کشت خالص مشاهده شد که نشان‌دهنده رقابت قوی‌تر علف‌های هرز در نظام کشت خالص نسبت به کشت مخلوط و دلیلی برای بالاتر بودن عملکرد محصول در نظام‌های کشت مخلوط در این آزمایش بود. در بین نظام‌های کشت مخلوط بیشترین زیست‌توده و محتوای عناصر غذایی کم‌مصرف

شاخساره علف‌های هرز در کشت مخلوط شیرودی + ۹۱-۱۱ + ۱۵-۹۱ مشاهده شد که ممکن است به علت تشدید رقابت درون‌گونه‌ای بین ارقام گندم در این تیمار باشد که توانایی رقابتی آن‌ها را در مقابل علف‌های هرز کاهش داده است. به‌طور کلی، ترتیب جذب عناصر کم‌مصرف مورد مطالعه در شاخساره علف‌های هرز به صورت آهن < منگنز > روی بود. با توجه به نتایج تحقیق حاضر می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کشت مخلوط ارقامی از گندم که دارای خصوصیات مورفولوژیک متفاوتی باشند می‌تواند به عنوان یک روش اکولوژیک و پایدار برای کاهش میزان رقابت علف‌های هرز و افزایش عملکرد گیاه زراعی در اگر واکوسیستم‌ها به کار رود.

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.
- Asgharipour, M., and Rafiei, M. 2010. Intercropping of isabgol (*Plantago ovata* L.) and lentil (*Lens culinaris* L.) as influenced by drought stress. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture* 4: 341-348.
- Banik, P., Midya, A., Sarkar, B.K., and Ghose, S. 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. *European Journal of Agronomy* 24: 325-332.

- Baumann, D.T., Bastiaans, L., and Kropff, M.J. 2002. Intercropping system optimization for yield, quality, and weed suppression combining mechanistic and descriptive models. *Journal of Agronomy* 94: 734-742.
- Buhler, D.D., Liebman, M., and Obrycki, J. 2000. Theoretical and practical challenges to an IPM approach to weed management. *Journal of Weed Science* 48: 274-280.
- Coleman, R., and Gill, G. 2003. Trends in yielding ability and weed competitiveness of Australian wheat cultivars. *Proceeding of 11th Australian Agronomy Conference, Geelong, Australia, 2-6 February*. P. 1-4.
- 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(2): 227-240. (In Persian with English Summary)
- Eskandari, H., and Ghanbari, A. 2010. Influence of different intercropping pattern of corn (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vigna sinensis*) on light interception, forage yield and weed biomass. *Iranian Journal of Sustainable Agriculture and Production Science* 1(20): 49-57. (In Persian with English Summary)
- Eskandari, S., and Mozafari, V. 2012. Effects of salinity levels and different rates of copper on micronutrients absorption in shoot and root of two Pistachio (*Pistacia vera* L.) cultivars in green house conditions. *Iranian Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 12: 29-42. (In Persian with English Summary)
- Finckh, M.R., Gacek, E.S., and Goyeau, H. 2000. Cereal variety and species mixtures in practice, with emphasize on disease resistance. *European Journal of Agronomy Journal* 20: 813-837.
- Gubbels, G.H., and Kenachuko, E.O. 1987. Performance of pure and mixed stands of flax cultivars. *Journal of Plant Science* 67: 797- 802.
- Hosseini, P., Rahimian Mashhadi, H.R., and Alizadeh, H. 2011. Competition of red root pigweed (*Amaranthus retroflexus*) with two soybean (*Glycine max*) cultivars under sole and intercropping systems 1- Soybean yield and redroot pigweed growth analysis. *Iranian Journal of Weed Science* 7: 25-35. (In Persian with English Summary)
- Hussain, Z., BahadarMarwat, K., Munsif, F., Samad, A., Hashim, S., and Bakht, T. 2013. Influence of intercropping in Maize on performance of weeds and the associated crops. *Pakistan Journal of Botanical* 45: 1729-1734.
- Koocheki, A., Zarif Ketabi, H., and Nakhforosh, A. 2001. *Weed Management in Agroecosystems*. Ferdowsi University Press, Mashhad, Iran. (In Persian)
- Kremen, C., Iles, A., and Bacon, C. 2012. Diversified farming systems: an agro ecological, systems-based alternative to modern industrial agriculture. *Journal of Ecology and Society* 17: 1-19.
- Liebman, M., and Davis, A.S. 2000. Integration of soil, crop and weed management in low-input farming systems. *Journal of Weed Research* 40: 27-47.
- Liebman, M., and Dyck, E. 1993. Crop rotations and intercropping strategies for weed management. *Journal of Ecological Applications* 3: 92-122.
- Lindsay, W. L., and Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for Zn, Fe, Mn, and Cu. *Soil Science Society of American Journal* 42: 421-428.
- Mazaheri, D., Pasari, B., and Peighambari, E. 2002. Study of growth analysis in mono culture and mixed cropping of soybean cultivars. *Iranian Journal of Agronomy* 54: 37-54. (In Persian with English Summary)
- Mazaheri, D. 1998. *Intercropping Agronomy*. Tehran University Press, Tehran, Iran. (In Persian)
- Moatali, A. 2013. Examine the effect of peanut and pearl millet intercropping system on yield, yield components and weed control. M.Sc. Dissertation, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Iran. (In Persian with English Summary)
- Mundt, C.C. 2002. Use of multiline cultivars and cultivar mixtures for disease management. *Annual Review of Phytopathology* 40: 381-410.
- Nickzad, A., Dastfal, M., and Sarikhanikhorrani, S.H. 2013. The varieties and lines of bread wheat, durum wheat, barley and triticale suitable for planting in the Fars province. *Fars Research Institute of Agriculture and Natural Resources Press, Seed and Plant Improvement Department*. (In Persian)
- Oveysi, M. 2005. A study of the effect of intercropping and nitrogen fertilizer on agronomical and morphological traits of two corn (*Zea mays* L.) hybrids. Master Dissertation, Faculty of Agriculture, Tehran University, Tehran, Iran. (In Persian with English Summary)
- Poggio, S.L., Satorre, E.H., and Dela-Fuente, E.B. 2004. Structure of weed communities occurring in pea and wheat crops in the Rolling Pampa (Argentina). *Journal of Agriculture, Ecosystem and Environment* 103: 225-235.
- Qasem, J.R. 1992. Nutrient accumulation by weeds and their associated vegetable crops. *Journal of Horticultural*

- Science 67: 189-195.
- 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 clayey soil. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 12: 954-959.
- Samarajeewa, K.B.D.P., Takatsugu, H., and Shinyo, O. 2006. Finger millet (*Eleusine corocanal* L.) as a cover crop on weed control, growth and yield of soybean (*Glycine max* L.) under different tillage system. Journal of Soli and Tillage Research 90: 93-99.
- Sanjani, S., Hosseini, M.B., Chaichi, M.R., and Rezvan Beidokhti, S. 2009. Effect of additive intercropping sorghum: cowpea on weed biomass and density in limited irrigation system. Iranian Journal of Agronomic Research 7: 85-95. (In Persian with English Summary)
- Schippers, P., and Kropff, M.J. 2001. Competition for light and nitrogen among grassland species: A simulation analysis. Journal of Functional Ecology 15: 155-164.
- Schoofs, A, and Entz, M.H. 2000. Influence of annual forages on weed dynamics in a cropping system. Plant Science 80: 187-198.
- Seyedi, M., Hamzeie, J., Ahmadvand, G., and Abutalebian, M.A. 2012. Evaluation of weed control possibility and crop production in pea and barley intercropping. Iranian Journal of Sustainable Agriculture and Production Science 3(22): 101-114. (In Persian with English Summary)
- Shennan, C. 2008. Biotic interaction, ecological knowledge and agriculture. Philosophical Transactions Royal Society Biology Science 363: 717-739.
- Szumigalski, A., and Van Acker, R. 2005. Weed suppression and crop production in annual intercrops. Journal of Weed Science 53: 813-825.
- Tang, J., Xie, J., Chen, X., and Yu, L. 2009. Can rice genetic diversity reduce *Echinochloa crus-galli* infestation? Journal of Weed Research 49: 47-54.
- Vandermeer, J.H. 1989. The Ecology of Intercropping. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Willey, R. 1990. Resource use in intercropping systems. Journal of Agricultural Water Management 17: 215-231.
- Zareh-FaizAbadi, A., and Emamverdian, A. 2012. Evaluation the influence of cultivar intercropping on agronomic properties and wheat (*Triticum aestivum* L.) yield. Journal of Agroecology 4(2): 144-200. (In Persian with English Summary)



Evaluation the Effects of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars Intercropping Systems on Population, Biomass, Micronutrients Content of Weeds and Crop Yield

S. Afzaliharsini^{5*}, S. Taghizadeh², A. Behpoori² and F. Faramarzi¹

Submitted: 15-11-2016

Accepted: 19-06-2017

Afzaliharsini, S., Taghizadeh, S., Behpoori, A., and Faramarzi, F. 2018 Evaluation the effects of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars intercropping systems on population, biomass, micronutrients content of weeds and crop yield. Journal of Agroecology. 10(3): 789-803.

Introduction

Use of chemical herbicides has been very effective for weeds control mainly for reducing yield losses and reduction of weed populations, but the frequently use of herbicides as the only weed management tool is seriously being questioned because of herbicide costs, resistance of weed populations to one or multi herbicides and environmental pollution. Reduce the use of chemical herbicides is one of the sustainable agriculture goals and several alternatives with this purpose have been evaluated, recently. Therefore, diversification of cropping systems by intercropping different species of crops has been proposed as a solution for reducing the use of herbicides in modern agriculture. The main objective of current field experiment was to evaluate the growth and micro nutrients content of weeds and crop yield in wheat cultivar intercropping systems.

Materials and methods

In order to investigate wheat-weed competition relationships and crop yield under intercropping and sole cropping of wheat cultivars, an experiment was conducted at Darab faculty of Agriculture and Natural Resources, Shiraz University, during the growing seasons 2013-2014. The experiment carried out using randomized complete block design with eight treatments and three replications. Wheat cultivars and genotypes were planted in four row intercropping systems and four sole cropping systems, including I₁: intercropping of shirudi + 91-11, I₂: intercropping of shirudi + 91-15, I₃: intercropping of 91-11 + 91-15, I₄: intercropping of shirudi + 91-11 + 91-15, S₁: shirudi sole cropping, S₂: 91-11 sole cropping, S₃: 91-15 sole cropping and S₄: F₂ sole cropping. Different weed species were recorded in field experiment, but total weed density and total weed dry matter were determined for each experimental plot. Weeds density were determined from each experimental plot by using a quadrat of 1 × 1 m² randomly. Then all weeds in each quadrat were harvested and transformed to laboratory for determining their biomass and micronutrients (Fe, Zn, Cu, and Mn) content. At harvest time, all crops harvested in each plot, then crop yield was determined.

Result and Discussion:

Results showed that genotype mixtures had a significant effect to reduce the density, biomass and micronutrients content of weeds. The highest and lowest weed density and biomass were observed in sole cropping and intercropping systems, respectively. Intercropping systems of cultivars reduced weed population and their dry matter more than sole cropping systems. Shirudi sole cropping (39.33 plant. m⁻²) showed the highest weed density and the highest weed dry matter was observed in 91-11 sole cropping (130 g.m⁻²) and shirudi sole cropping (121.3 g.m⁻²). The highest and the lowest micronutrients content of weeds including Iron (Fe), Zinc (Zn), Cooper (Cu) and Manganese (Mn) were observed in sole cropping and intercropping systems, respectively. The highest Fe, Zn, Cu and Mn content of weeds were observed in 91-11 and shirudi sole cropping (225 and 245.6 mg.kg⁻¹, respectively), shirudi sole cropping (27.5 mg.kg⁻¹), 91-15 sole cropping (21.23 mg.kg⁻¹) and shirudi sole cropping (63.85 mg.kg⁻¹), respectively. The highest and lowest crop yield were observed in shirudi + 91-15 intercropping (5.40 ton.ha⁻¹) and 91-15 sole cropping (2.70 ton.ha⁻¹), respectively. In overall weeds micronutrients content and weed growth in intercropping systems decreased significantly in comparison

5 and 2- Former Graduated of Agroecology, Darab Faculty of Agriculture and Natural Resources, Shiraz University and Assistant Professor of Agro-ecology Department, Darab Faculty of Agriculture and Natural Resources, Agroecology Group, Shiraz University, Iran, Respectively

(* - Corresponding Author Email: sahar13af95@gmail.com)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.60348

to sole cropping systems. The results of this experiment showed that row intercropping of wheat cultivars can reduce the weeds ability for use of environmental resources, therefore crop can utilize resources more efficiency and increase its yield.

Conclusion

The results showed that wheat cultivars intercropping method limits environmental resources for weeds growth and this have implication for non-chemical management of weeds and increasing crop yield in ecological approach in agro-ecosystems. Thus, wheat cultivar intercropping systems can modify weed infestation in cropping systems. The results of this study suggest that row- intercropping system of wheat cultivars have potential to produce higher yield and less vulnerable to weed infestation than their sole cropping system, because they can provide high genetic diversity.

Keywords: Agroecosystem, Density, Enviromental resources, Monoculture, Non-chemical management



اثر نوع حاصلخیزکننده خاک و کشت مخلوط شنبليله (*Trigonella foenum-graecum* L.) و اسفرزه (*Plantago psyllium* L.) بر شاخص‌های رشد گیاه اسفرزه با استفاده از روش تجزیه عامل

سهیلا قاسمی مهام^{۱*}، سیف اله فلاح^۲ و امیر دادرسی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۱۶

قاسمی مهام، س.، فلاح، س.، و دادرسی، ا. ۱۳۹۷. اثر نوع حاصلخیزکننده خاک و کشت مخلوط شنبليله (*Trigonella foenum-graecum* L.) و اسفرزه (*Plantago psyllium* L.) بر شاخص‌های رشد گیاه اسفرزه با استفاده از روش تجزیه عامل. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳): ۸۲۲-۸۰۵.

چکیده

بهمنظور بررسی اثر نوع کود و کشت مخلوط ردیفی با شنبليله (*Trigonella foenum-graecum* L.) بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago psyllium* L.)، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد در سال زراعی ۱۳۹۲ اجرا گردید. در این آزمایش فاکتور اول در چهار سطح که شامل کشت خالص اسفرزه، شنبليله: اسفرزه (۱:۲)، شنبليله: اسفرزه (۱:۱) و شنبليله: اسفرزه (۲:۱) و فاکتور دوم در سه سطح کودی (کود گاوی، کود تلفیقی، کود شیمیایی) مورد ارزیابی قرار گرفتند. آنالیز داده‌ها با استفاده از روش تجزیه عامل منجر به انتخاب چهار مؤلفه جدید شد مؤلفه پنجم دارای ارزش ویژه ۰/۹۸۱ بود و به همین دلیل در آنالیز داده‌ها و تفسیر نتایج در نظر گرفته نشد. مؤلفه‌های استخراج‌شده با روش کوارتی-مکس چرخش یافتند تا بیشترین وزن مؤلفه روی یک عامل قرار گیرد مؤلفه‌های اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب دربرگیرنده ۳۱/۱، ۲۲، ۱۸/۳ و ۸/۳ درصد تغییرات (واریانس) در کل داده‌های گیاه اسفرزه بودند و هر سه مؤلفه در مجموع حدود ۷۹/۷ درصد از تغییرات (واریانس) داده‌ها را به خود اختصاص دادند. همان‌گونه که در نتایج این تحقیق بیان شد، عامل اول بیشترین تأثیر را به صورت مستقیم بار ۰/۹۷۱، ۰/۹۶۷ و ۰/۷۶۲ درصد به ترتیب روی عملکرد موسیلاژ، موسلاژ و فاکتور تورم داشت. عامل دوم نیز با بار عاملی ۰/۹۳، ۰/۹۲۷ و ۰/۷۷ درصد از به ترتیب بر روی صفات تعداد شاخه فرعی، وزن هزار دانه و طول سنبله داشت و اما عامل سوم بیشتر اثر بازدارندگی و بار منفی بر عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و عملکرد بیولوژیک با بار عاملی ۰/۹۰۲، ۰/۸۸۴ و ۰/۸۳۷ درصد دارا بود. در خصوص عامل چهارم نیز تنها با بار عاملی ۰/۹۷۳ درصد بر تعداد سنبله در بوته داشت. این امر بیانگر تأثیر مثبت و معنی‌دار عامل دوم در این تحقیق بود. بر اساس نتایج این آزمایش استفاده از کود تلفیقی در برهمکنش با کشت مخلوط شنبليله و اسفرزه می‌تواند در افزایش مزیت نسبی کشت مخلوط مؤثر باشد و به لحاظ کاهش مصرف کودهای شیمیایی می‌تواند در حفاظت از محیط زیست اهمیت داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه چند متغیره، کود تلفیقی، گیاه دارویی، همزیستی با گیاهان تثبیت کننده نیتروژن

مقدمه

کشت گیاهان دارویی از دیرباز دارای جایگاه ویژه‌ای در نظام‌های کشاورزی سنتی ایران داشته و از نظر ایجاد تنوع و پایداری، نقش

۱ و ۲- به ترتیب دانش‌آموخته رشته آگرواکولوژی و دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۳- دانشجوی دکتری، گروه ژنتیک و تولید گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

(*- نویسنده مسئول: (Email: s.ghasemimaham@gmail.com)

مهمی ایفا نموده است (Bahrang, 2002). در بین گیاهان دارویی دو گیاه اسفرزه (*Plantago psyllium L.*) و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum L.*) جزء گیاهان دارویی بسیار ارزشمند هستند. اسفرزه یکی از گیاهان دارویی مهم از تیره بارهنگ^۱ است که از منابع مهم تولید طبیعی موسیلاژ به‌شمار می‌رود و معمولاً حدود ۲۵ درصد وزن بذر را موسیلاژ تشکیل می‌دهد (Ghasemi, 2012). گیاه شنبلیله گیاه مهم دیگری است که از خانواده لگومینوزه بوده و در طب سنتی ایران و ملل مختلف سابقه مصرف دیرینه داشته و خواص درمانی چشمگیری برای آن ذکر شده است (Nazari, 2013).

شواهد حاکی از آن است که شیوه‌های رایج، تولید آینده را به قیمت افزایش تولید فعلی به خطر انداخته و علایم زوال و نابودی برای تولید پایدار در گذر زمان، بیش از پیش آشکار شده است (Nassiri Mahallati et al., 2005). بر این اساس، مدیریت نظام-های کشاورزی باید مورد بازنگری قرار گیرد و نظام‌های نوینی طراحی شوند که اولویت آن‌ها پایداری دراز مدت در عین حفظ تولید در کوتاه مدت باشد (Senanayake, 1991). در زراعت گیاهان دارویی استفاده از روش‌هایی که بتواند گیاهان دارویی با مواد مؤثره بیشتر تولید نماید، ضروری به‌نظر می‌رسد (Rezaei-Chiyaneh, 2016). علاوه بر این، استفاده از گیاه لگوم می‌تواند سبب افزایش ثبات و تنوع در اکوسیستم‌های زراعی گردد (Erik et al., 2010). همچنین مصرف کودهای آلی در تلفیق با کودهای شیمیایی می‌تواند ضمن افزایش تولید، از آلودگی‌های زیست محیطی جلوگیری کرده و سبب پایداری اکوسیستم شود (Vilela & Ravetta, 2001).

ارزیابی دقیق تغییرات رشد گیاه در مدیریت‌های مختلف اراضی زراعی، تنها با اندازه‌گیری یک پارامتر ساده امکان‌پذیر نیست. به‌همین دلیل تعیین هم‌زمان چندین صفت رویشی، می‌تواند روش مناسبی برای پی بردن به تغییرات رشد گیاهان گوناگون در شرایط مختلف باشد. در مطالعات زراعی برای سهولت ارزیابی شاخص‌های اندازه‌گیری شده و تفسیر دقیق‌تر نتایج، استفاده از روش‌های تجزیه چند متغیره سودمند است (Bartholomew et al., 2008). تجزیه به مؤلفه‌های اصلی^۲ یا تجزیه فاکتور^۳ یکی از انواع روش‌های تحلیل داده‌های چند متغیره است که هدف اصلی آن کاهش تعداد متغیرهای

اولیه مورد مطالعه می‌باشد. با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی می‌توان تعداد زیادی متغیر توضیحی همبسته را با تعداد محدودی متغیر توضیحی جدید و غیرهمبسته که فاکتور یا مؤلفه‌های اصلی نامیده می‌شوند، جایگزین نمود (Tahmasebi, 2011). غیرهمبسته بودن توابع خطی جدید (مؤلفه‌های اصلی) بدان مفهوم است که مؤلفه‌های مورد نظر قادر به ارائه حداکثر اطلاعات موجود در ابعاد جدید و کوچکتر داده‌ها می‌باشند (Mohammadi, 2006). به این ترتیب نه تنها بعد سیستم تقلیل می‌یابد، بلکه مشکل همراستایش چندگانه^۴ نیز پیش نمی‌آید. در این روش، اغلب می‌توان به ساختار منطقی داده‌ها پی برد و الگوی تغییرات ناشی از تیمارها را بهتر مشخص و ترسیم کرد (Ivanovska et al., 2007). به طور کلی، این روش در پژوهش‌های کشاورزی از کارایی بالایی برخوردار است (Moosavi et al., 2013). پژوهشگران در پژوهشی با استفاده از آمار چند متغیره به این نتیجه رسیدند که تنوع کاشت محصولات می‌تواند به پایداری اکوسیستم کمک نماید (Felice et al., 2012). همچنین تجزیه فاکتور می‌تواند اطلاعات جدیدی از روابط بین ویژگی‌های خاک استخراج کرده و آن‌ها را به مدیریت بهینه اراضی زراعی مرتبط سازد (Temizel et al., 2015). بنابراین، هدف این پژوهش بررسی تغییرات صفات رویشی گیاه اسفرزه در تیمارهای مختلف کودی و کشت مخلوط ردیفی با استفاده از روش‌های تجزیه چند متغیره و انتخاب حساس‌ترین صفت رشد بود.

مواد و روش‌ها

اجرای آزمایش و اعمال تیمارها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد در سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۲۱۱۶ متر از سطح دریا اجرا شد. بافت خاک محل آزمایش لومی‌رسی، pH ۷/۹۶ و EC ۱/۰۱۱ دسی‌زیمنس بر متر، کربن آلی و نیتروژن کل به ترتیب ۹/۵۵ و ۰/۸۲ گرم بر کیلوگرم، فسفر و پتاسیم قابل دسترس نیز به ترتیب ۰/۱۰۸ و ۰/۳۹۱ گرم در کیلوگرم بود (جدول ۱).

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل

1- Plantaginaceae

2- Principal Components Analysis, PCA

3- Factor Analysis

4- Multicollinearity

ویژگی‌های خاک (جدول ۱) تعیین شد. میزان ۸۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (از منبع اوره) به ترتیب برای شنبليله و اسفرزه، ۴۵ و ۵۶ کیلوگرم اکسید فسفر در هکتار (از منبع سوپرفسفات تریپل) به ترتیب برای کشت شنبليله و اسفرزه، ۲۸ و ۳۶ کیلوگرم در هکتار کود ریزمغذی (شامل سولفات روی، سولفات آهن، سولفات مس و سولفات منگنز) به ترتیب برای کشت شنبليله و اسفرزه مصرف شد.

تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. در این آزمایش سه تیمار کودی شامل کود دامی، تلفیقی (کود دامی+ کود شیمیایی) و شیمیایی و چهار تیمار کشت مخلوط شامل: کشت خالص اسفرزه (P)؛ دو ردیف شنبليله و یک ردیف اسفرزه TP(۲:۱)؛ یک ردیف شنبليله و یک ردیف اسفرزه TP(۱:۱)؛ یک ردیف شنبليله و دو ردیف اسفرزه (۱:۲) مورد بررسی قرار گرفتند. در تیمارهای شیمیایی و کود دامی، مقادیر کودها براساس نیاز نیتروژنی دو گیاه مورد آزمایش (Yazdani et al., 2004) و

جدول ۱- مشخصات خاک و کود گاوی مورد استفاده در آزمایش
Table 1- Characteristics of soil and cow manure used in the experiment

مشخصات Features	واحد Unit	خاک Soil	کود گاوی Cow manure
بافت Texture	-	لوم رسی Clay loam	-
هدایت الکتریکی EC	dS.m ⁻¹	1.011	6.23
اسیدیته pH	-	7.96	7.91
نیتروژن N	g.kg ⁻¹	0.82	21.1
کربن آلی Organic Carbon	g.kg ⁻¹	9.55	278.1
کلسیم Ca	g.kg ⁻¹	-	1.25
منیزیم Mg	g.kg ⁻¹	-	0.657
فسفر P	g.kg ⁻¹	0.0108	3.8
پتاسیم K	g.kg ⁻¹	0.391	18.6
روی Zn	mg.kg ⁻¹	0.68	23.14
منگنز Mn	mg.kg ⁻¹	8.73	47.11
آهن Fe	mg.kg ⁻¹	8.09	254
مس Cu	mg.kg ⁻¹	0.91	21.15
کربن/نیتروژن C/N	-	11.64	13.18

شیمیایی به کار برده شد (Khalili et al., 2014). کاشت هر دو گیاه در تاریخ ۲۶ اردیبهشت ۱۳۹۲ انجام شد ابعاد کرت‌های آزمایشی در این پژوهش ۲/۲۵×۲/۵ متر و هر گیاه در ۸ ردیف کاشت با فاصله خطوط ۲۵ سانتی‌متر کشت شد فواصل بوته روی ردیف برای شنبليله و اسفرزه، به ترتیب ۸ و ۴ سانتی‌متر و تراکم گیاهی جهت کشت

در تیمارهای کود دامی مقدار ۱۵۶۲۵ و ۱۹۵۳۱ کیلوگرم کود گاوی در هکتار به ترتیب برای کشت خالص شنبليله و کشت خالص اسفرزه به کار برده شد که میزان مصرف تمام کودها متناظر با تعداد ردیف‌های هر گیاه در تیمارهای مختلف در نظر گرفته شد. در تیمارهای تلفیقی نیز ۵۰ درصد از کود دامی و ۵۰ درصد کودهای

ویژه^۴ هر محور بیشتر از یک باشد (Sharma, 1996). در واقع عامل‌هایی انتخاب می‌شوند که توصیف‌کننده حداقل $\frac{100}{p}$ درصد از واریانس کل هستند که در آن، p تعداد متغیرهای مورد استفاده می‌باشد (Arminian et al., 2008). معیار انتخاب (SC) طبق معادله زیر محاسبه می‌شود (Ovalles et al., 1988):

$$SC = \frac{0.5}{\sqrt{E}} \quad (۱) \text{ معادله}$$

که در آن، E : ارزش ویژه هر محور یا عامل می‌باشد. به طور کلی، به تعداد متغیرهای موجود، ارزش ویژه وجود دارد که مقدار عددی برخی از آن‌ها ممکن است برابر صفر شود. برای انتخاب بردار ویژه محورها یا ضرایب عامل بایستی قدر مطلق بردار ویژه هر محور از میزان معیار انتخاب (SC) بیشتر باشد. ضرایبی که در یک عامل این‌گونه هستند، متغیرهایی می‌باشند که بیشترین تأثیر را در این عامل داشته و از سایر متغیرها اهمیت بیشتری دارند (Vilela & Ravetta, 2001).

عامل‌های انتخاب شده با روش کوآرتی‌مکس^۵ چرخش یافتند. چرخش کوآرتی‌مکس یک چرخش متعامد (عمود بر هم) است که اغلب متغیرهای با وزن مؤلفه (Factor Loading) بالا و متوسط را روی یک مؤلفه یا عامل قرار می‌دهد (Bartholomew et al., 2008). این چرخش به منظور جداسازی بهتر تیمارها و قرارگیری بیشترین وزن مؤلفه روی یک عامل صورت گرفت. همچنین قابلیت اطمینان یا ضریب اشتراک متغیرها^۶ نیز محاسبه و گزارش شد. این پارامتر که از مجموع توان دوم وزن مؤلفه‌ها در متغیر مربوطه به دست می‌آید، برآوردی از درصد واریانس نشان داده شده توسط این مؤلفه‌ها برای آن متغیر می‌باشد. این پارامتر را به عنوان قابلیت اطمینان متغیر در نظر می‌گیرند (Ghodrati & Mirzaii Nodushan, 1997). تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای IBM و Minitab 16 و SPSS statistics 23 و تجزیه عامل با کمک نرم‌افزار Minitab 16 انجام شد.

نتایج و بحث

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود اثر کشت مخلوط ردیفی، نوع کود و اثرات متقابل این عوامل بر تعداد سنبله در بوته

سنبله و اسفرزه به ترتیب ۵۰ و ۱۰۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد (Yazdani et al., 2004). در این سال زراعی میانگین حداقل ۱/۳ و میانگین حداکثر ۲۰/۱ درجه‌ی سانتی‌گراد و میانگین رطوبت نسبی نیز به طور متوسط ۴۵ درصد بود. بر اساس این شرایط محیطی، آبیاری هر دو تا شش روز یک‌بار با روش بارانی انجام گرفت. در هر دوره آبیاری حدود ۱۹ لیتر و در طی ۱۸ دوره آبیاری تا مرحله برداشت حدود ۳۰۰ لیتر آب برای هر کرت استفاده شد. علف‌های هرز در طی دوره رشد با وجین دستی کنترل شد.

اندازه‌گیری صفات رشدی برای گیاه اسفرزه

به منظور تعیین اجزای عملکرد (با حذف اثر حاشیه‌ای ۰/۵ متر اول هر کرت و حذف دو ردیف کناری) برای گیاه اسفرزه، ۲۰ بوته به طور تصادفی از هر کرت (۲/۲۵×۲/۵ متر) انتخاب و به آزمایشگاه منتقل شد. اجزای عملکرد برای گیاه اسفرزه شامل تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، طول سنبله، درصد موسیلاژ، عملکرد موسیلاژ، فاکتور تورم و تورم در هر گرم موسیلاژ به روش موسوی نیک (Mousavi nik, 2012)، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت محاسبه گردید.

تجزیه عامل

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و استخراج الگوی دقیق تغییرات تیمارهای آزمایشی، از روش تجزیه عامل^۱ استفاده گردید. هرگاه p متغیر وجود داشته باشد؛ روش تجزیه عامل منجر به p عامل یا مؤلفه اصلی می‌گردد که اولین عامل بیشترین مقدار واریانس را به خود اختصاص می‌دهد. به طور کلی، مجموع واریانس‌های عامل‌های به دست آمده با مجموع واریانس‌های متغیرهای اصلی برابر است. بنابراین، عامل‌ها دربرگیرنده تمامی تغییرپذیری موجود در داده‌های اصلی می‌باشند. از بین تمامی عامل‌های به دست آمده، عامل‌هایی باید انتخاب شوند که مجموع آن‌ها، حداکثر تغییرپذیری داده‌ها را منعکس کند (Mohammadi, 2006).

اغلب انتخاب تعداد محورها یا عامل‌ها بر اساس روش کیسر^۲ و بردار ویژه محورها یا ضرایب عامل بر اساس معیار انتخاب^۳ صورت می‌گیرد. در انتخاب محورها بر اساس روش کیسر بایستی ارزش

4- Eigenvalue

5- Quartimax rotation

6- Communality

1- Factor Analysis, FA

2- Kaiser

3- Selection Criteria, SC

فراهمی مواد و عناصر غذایی در مراحل ابتدایی و مراحل انتهایی رشد شرایط مناسب تری برای تولید دانه‌های اسفرزه داشته و موجب افزایش تعداد دانه در سنبله‌ی اسفرزه داشته است.

تأثیر کشت مخلوط ردیفی بر وزن هزار دانه اسفرزه در سطح احتمال ۰/۱ درصد معنی‌دار بود. ولی، نوع کود و اثرات متقابل این عوامل بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۲). تیمار شنبليله: اسفرزه ۱:۲ بیشترین وزن هزار دانه اسفرزه را به خود اختصاص داد (شکل ۳). به نظر می‌رسد در تیمار شنبليله: اسفرزه ۱:۱ و ۲:۱ با افزایش تراکم شنبليله از وزن هزار دانه گیاه دوم (اسفرزه) به دلیل سایه اندازی بوته شنبليله و ایجاد شرایط نامناسب نور و در نهایت، کاهش فتوسنتز در بوته از وزن هزار دانه آن کاسته شده است.

از آن‌جا که با کاهش نسبت گیاه یا مساحت متعلق به کاشت گیاه عملکرد دانه آن نیز کاهش می‌یابد. بنابراین، برای تفسیر مشاهدات ارزیابی عملکرد دانه مجموع دو گیاه مناسب‌تر می‌باشد. کشت‌های ردیفی مختلف، نوع کود در سطح ۰/۱ درصد و اثرات متقابل دو عامل برای مجموع عملکرد دانه‌ی گیاه شنبليله و اسفرزه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود.

اسفرزه معنی‌دار نبودند (داده‌ها گزارش نشده). تعداد دانه در سنبله اسفرزه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کشت مخلوط ردیفی و نوع کود قرار گرفت ($p < 0.001$) ولی اثرات متقابل دو عامل مذکور معنی‌دار نبودند (جدول ۲). در تیمارهای شنبليله: اسفرزه ۱:۱ و ۱:۱ و تیمار کشت خالص اسفرزه حدود ۳۳ درصد تعداد دانه کمتری نسبت به تیمار شنبليله: اسفرزه ۱:۲ مشاهده شد (شکل ۱).

همچنین روند تغییرات در تعداد شاخه جانبی و طول سنبله اسفرزه همانند تغییرات تعداد دانه در سنبله اسفرزه بوده است (داده‌ها گزارش نشده). در تیمارهای شنبليله: اسفرزه ۱:۱ و ۲:۱ به دلیل سایه‌اندازی گیاه دوم (شنبليله) بر روی اسفرزه، نور کمتری از خورشید در اختیار بوته اسفرزه قرار گرفته و از تحریک گیاه در جهت ازدیاد شاخه جانبی و افزایش طول سنبله اسفرزه کاسته است. در تیمار شنبليله: اسفرزه ۱:۲ در مقایسه با سایر کشت‌های ردیفی، به دلیل نفوذ بیشتر نور به درون کانوپی فتوسنتز گیاه بهتر بوده که در نهایت، سبب افزایش تولید دانه در سنبله اسفرزه، افزایش طول سنبله و ازدیاد تعداد شاخه جانبی شده است.

همچنین در تیمار کود تلفیقی بیشترین تعداد دانه در سنبله اسفرزه مشاهده شد (شکل ۲). به نظر می‌رسد تیمار کود تلفیقی به دلیل

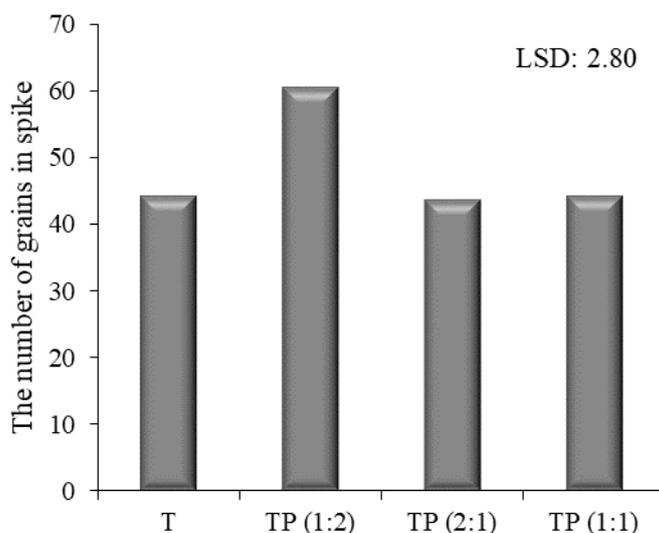
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نوع کود و نسبت کشت مخلوط با شنبليله بر MY: عملکرد موسیلاژ، M: درصد موسیلاژ، IM: تورم در هر گرم موسیلاژ، HI: شاخص برداشت، I: فاکتور تورم، NLB: شاخه جانبی، GW: وزن هزار دانه، GY: عملکرد دانه، NSS: تعداد دانه در سنبله و BY: عملکرد بیولوژیک اسفرزه

Table 2- Results of ANOVA (Mean of squares) for effect of fertilizer type and intercropping ratio with trigonella on MY: mucilage yield, M: The percentage of mucilage IM: Inflation per gram mucilage, HI: index harvest, I: Inflation factor, NLB: Number of branches, GW: the weight of one thousand seeds, GY: Grain yield, NSS: The number of grains in spike and BY: Biological yield of psyllium

منبع تغییرات S.O.V	MY	M	IM	HI	I	NLB	GW	GY	NSS	BY
تکرار Replication A	35.5 ^{ns}	0.63 ^{ns}	5.16 ^{ns}	0.26 ^{ns}	0.49 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.001 ^{ns}	3210 ^{ns}	*28.7	5828 ^{ns}
کشت مخلوط Intercropping B	24632 ^{***}	140 ^{***}	286 ^{***}	13.2 ^{***}	6.09 ^{**}	57.6 ^{***}	0.28 ^{***}	2873562 ^{***}	611 ^{***}	24276808 ^{***}
نوع کود Fertilizer type A×B	2873 ^{***}	97.9 ^{***}	145 ^{**}	2.69 ^{ns}	5.63 ^{**}	0.58 ^{ns}	0.004 ^{ns}	92427 ^{***}	42.2*	67626 ^{**}
خطای آزمایشی Error	898 ^{***}	31.9 ^{***}	62.9*	32.1 ^{***}	1.68 ^{ns}	0.1 ^{ns}	0.001 ^{ns}	3439*	1.16 ^{ns}	659821 ^{***}
ضریب تغییرات (درصد) (%) C.V	37.7	0.26	18.7	1.46	0.8	0.32	0.009	1128	8.23	72438
	7.75	9.45	7.88	5.62	8.14	12.6	7.11	9.92	5.95	11.2

ns, *, ** و ***: به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵، ۱ و ۰/۱ درصد است.

ns, *, ** and ***: are insignificant and significant at 5, 1 and 0.1 percent probability levels respectively.

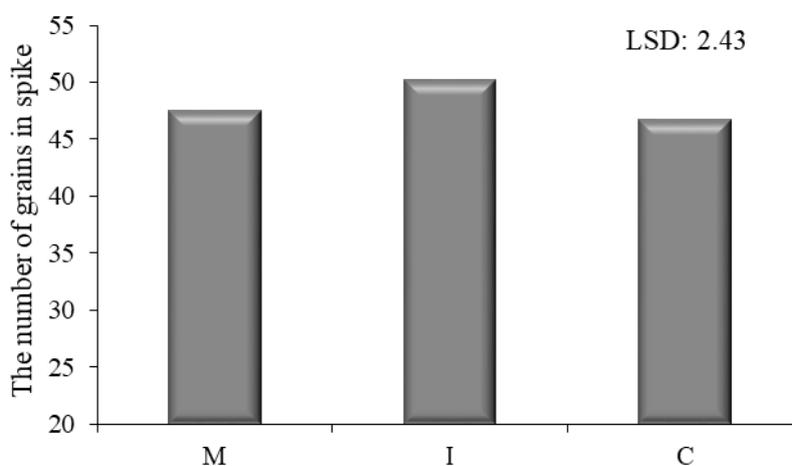


شکل ۱- اثر کشت مخلوط با شنبلیله بر تعداد دانه در سنبله اسفرزه

Fig. 1- The effect of intercropping with trigonella on the number of seeds in spike of psyllium

تفاوت معنی دار میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد. T و P: نیز به ترتیب نشان‌دهنده شنبلیله و اسفرزه می‌باشد و اعداد داخل پرانتز بیانگر الگوی کشت هر یک از گیاهان در تیمار کشت مخلوط می‌باشد.

Significant difference in mean values based on the LSD test at 5 percent. T and P: are abbreviations of *Trigonella foenum-graecum* and *Plantago Psyllium*, respectively; and the numbers in parentheses represent crop pattern of each plant.



شکل ۲- اثر نوع کود بر تعداد دانه در سنبله اسفرزه

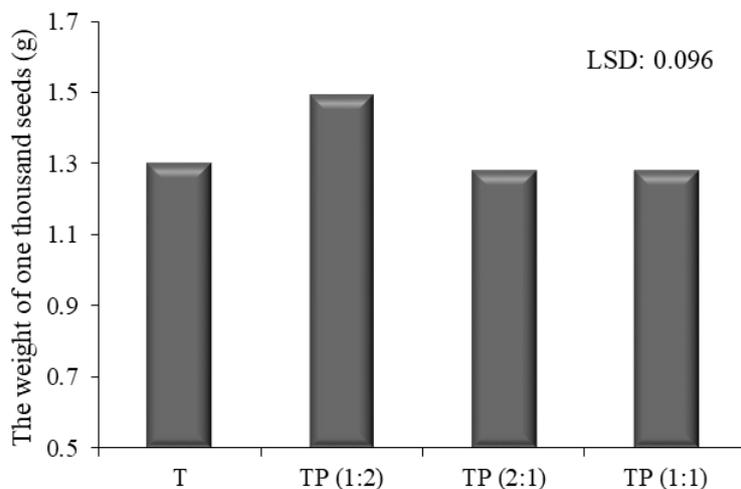
Fig. 2- The effect of fertilizer type on the number of seeds in spike of psyllium

تفاوت معنی دار میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد. M، I و C: به ترتیب بیانگر کود گاوی، تلفیقی و شیمیایی می‌باشد.

Significant difference in mean values based on the LSD test at 5 percent. M, I and C: are abbreviations of manure, integrated and chemical fertilizer, respectively.

دیگر برخوردار بوده که همین امر موجب افزایش عملکرد دانه جزء در گیاه شنبلیله شده است، یکسان بودن روند تغییرات مجموع عملکرد دانه شنبلیله و اسفرزه در شرایط کودهای مختلف نشان‌دهنده تأثیرات یکسان تیمار کود گاوی و تلفیقی بر عملکرد این دو گیاه می‌باشد.

با توجه به شکل ۴ بیشترین مجموع عملکرد دانه دو گیاه در تیمار شنبلیله: اسفرزه ۲:۱ همراه با کود تلفیقی مشاهده شد که در این تیمار تأثیر عملکرد دانه‌ی جزء شنبلیله بیشتر از عملکرد دانه اسفرزه بوده است. این مشاهدات نشان می‌دهد که بوته شنبلیله: اسفرزه ۲:۱ در شرایط کود تلفیقی از قدرت فتوسنتزی بالاتری نسبت به تیمارهای

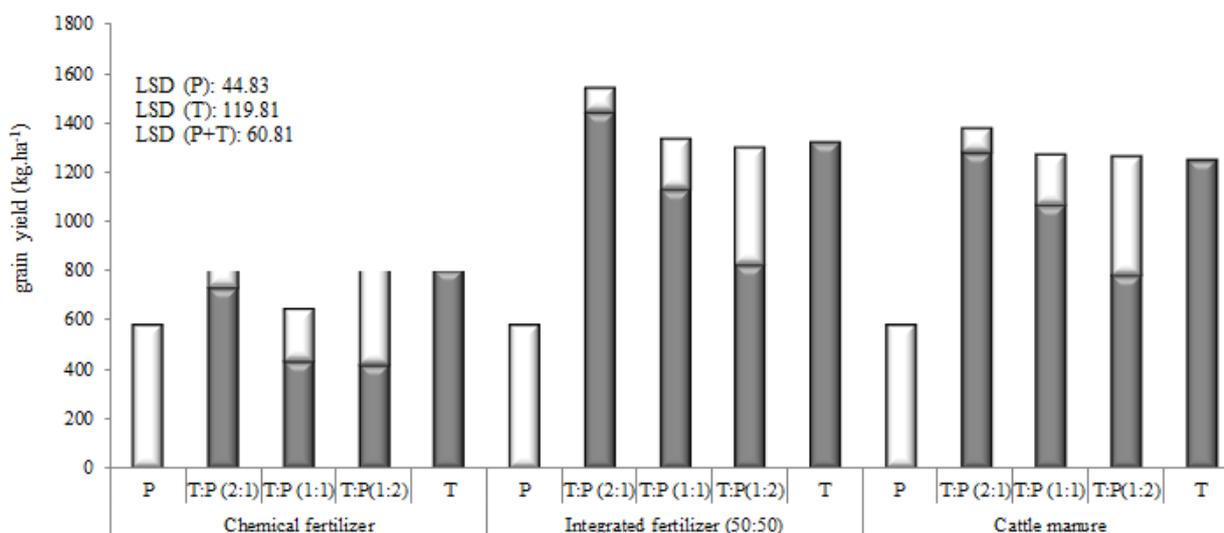


شکل ۳- اثر کشت مخلوط با شنبلیله بر وزن هزار دانه اسفرزه

Fig. 3- The effect of intercropping with trigonella on 1000-seed weight of psyllium

تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد. T و P: نیز به ترتیب نشان‌دهنده شنبلیله و اسفرزه می‌باشد و اعداد داخل پرانتز بیانگر الگوی کشت هر یک از گیاهان در تیمار کشت مخلوط می‌باشد.

Significant difference in mean values based on the LSD test at 5 percent. T and P: are abbreviations of *Trigonella foenum-graecum* and *Plantago Psyllium*, respectively; and the numbers in parentheses represent crop pattern of each plant.



شکل ۴- اثر کشت مخلوط و نوع کود بر عملکرد دانه شنبلیله و اسفرزه

Fig. 4- The effect of intercropping on grain yield of *Trigonella foenum-graecum* and *Plantago Psyllium*

تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد. T و P: نیز به ترتیب نشان‌دهنده شنبلیله و اسفرزه می‌باشد و اعداد داخل پرانتز بیانگر الگوی کشت هر یک از گیاهان در تیمار کشت مخلوط می‌باشد. ستون‌های بی‌رنگ و ستون‌های تیره به ترتیب بیانگر میانگین گیاه اسفرزه و شنبلیله می‌باشد.

Significant difference in mean values based on the LSD test at 5 percent. T and P: are abbreviations of *Trigonella foenum-graecum* and *Plantago Psyllium*, respectively; and the numbers in parentheses represent crop pattern of each plant. Colorless columns and dark columns show mean of *Trigonella foenum-graecum* and *Plantago Psyllium*, respectively.

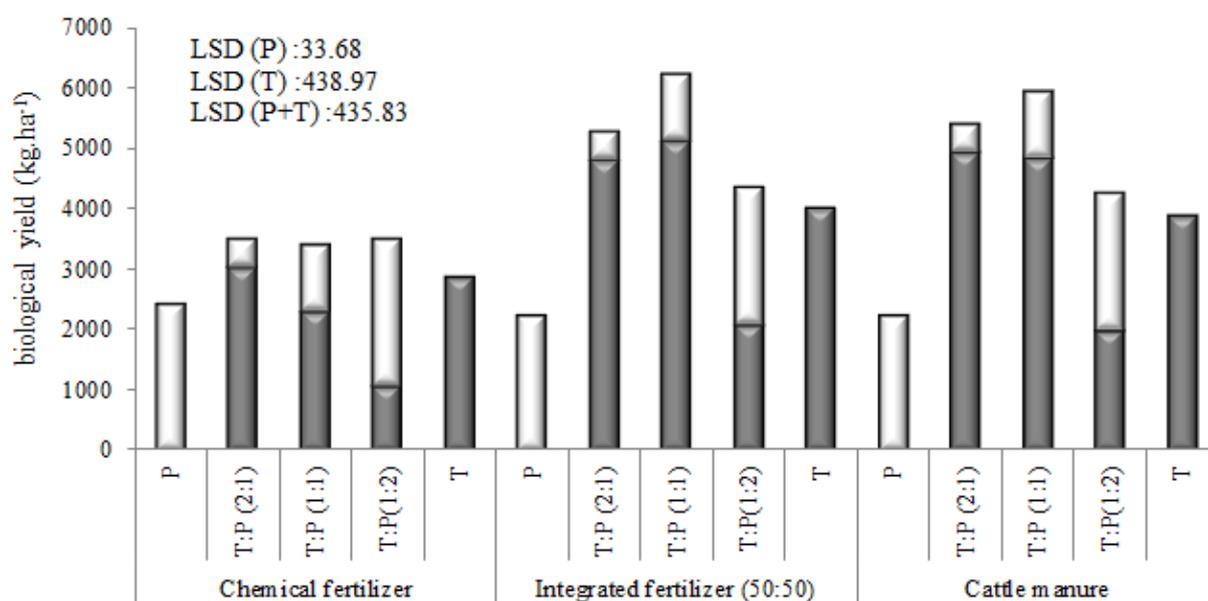
عملکرد جزء دانه اسفرزه در مجموع عملکرد دانه‌ی دو گیاه در تیمار شنبلیله: اسفرزه ۱:۲ در میان تیمارهای کودی مختلف مشاهده شد

بر اساس شکل ۴ اثر تیمارهای کودی مختلف در نسبت‌های مختلف کشت برای گیاه اسفرزه یکسان بود و همچنین بیشترین تأثیر

شد (شکل ۵) که علت اصلی آن برتری عملکرد بیولوژیک جزء شنبلیله تحت شرایط کودی مذکور نسبت به کود شیمیایی بوده است. افزایش عملکرد بیولوژیک جزء شنبلیله در تیمارهای شنبلیله: اسفرزه ۱:۱ و ۲:۱ در شرایط کود گاوی و کود تلفیقی بیشتر از عملکرد بیولوژیک جزء اسفرزه بود. به نظر می‌رسد که دلیل این پدیده علاوه بر تفاوت در ماهیت گونه، ممکن است مربوط به ارتفاع و سطح برگ بیشتر گیاه شنبلیله نسبت به گیاه اسفرزه باشد که در نتیجه توانسته از نور بهره بیشتری ببرد و عملکرد خود را نسبت به گیاه اسفرزه افزایش دهد. از آنجایی که افزایش عملکرد بیولوژیک تابع شاخص‌های رویشی و زایشی می‌باشد، در شرایط استفاده از کود تلفیقی عناصر غذایی قابل دسترس در مرحله گلدهی را افزایش و بعد از آن منجر به افزایش تجمع ماده خشک و عملکرد دانه شده است و این عوامل در کنار هم در افزایش عملکرد بیولوژیک مؤثر می‌باشند.

(شکل ۴). نور یکی از مهمترین عوامل برای انجام عمل فتوسنتز می‌باشد که در دوران قبل و بعد از گلدهی تأثیر زیادی بر عملکرد دارد، در این مورد برای گیاه اسفرزه در تیمار شنبلیله: اسفرزه ۱:۲ به دلیل نفوذ نور به کانوپی این گیاه بالاترین تعداد شاخه جانبی، تعداد دانه در سنبله و طول سنبله و سایر اجزای عملکرد که در نهایت، عملکرد دانه بیشتری را برای اسفرزه نشان دادند. ولی در تیمارهای شنبلیله: اسفرزه ۲:۱ و ۱:۱ اسفرزه گیاهی مغلوب بوده و نتوانست به نحو مطلوب از عوامل محیطی بهره‌یژه نور بهره ببرد. در نتیجه، میزان تولید پایینی داشتند (شکل ۴).

تأثیر نوع کود، کشت مخلوط ردیفی و اثرات متقابل این عوامل بر مجموع عملکرد بیولوژیک گیاه شنبلیله و اسفرزه معنی‌دار بود (جدول ۲). براساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های عملکرد بیولوژیک، بیشترین مجموع عملکرد بیولوژیک دو گیاه در تیمار شنبلیله: اسفرزه ۲:۱ و ۱:۱ در شرایط کود گاوی و کود تلفیقی مشاهده



شکل ۵- اثر کشت مخلوط و نوع کود بر عملکرد بیولوژیک شنبلیله و اسفرزه

Fig. 5- The effect of intercropping on biological yield of trigonella and psyllium

تفاوت معنی‌دار میانگین‌ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد. T و P نیز به ترتیب نشان‌دهنده شنبلیله و اسفرزه می‌باشد و اعداد داخل پرانتز بیانگر الگوی کشت هر یک از گیاهان در تیمار کشت مخلوط می‌باشد. ستون‌های بی‌رنگ و ستون‌های تیره به ترتیب بیانگر میانگین گیاه اسفرزه و شنبلیله می‌باشد.

Significant difference in mean values based on the LSD test at 5 percent. T and P are abbreviations of *Trigonella foenum-graecum* and *Plantago Psyllium*, respectively; and the numbers in parentheses represent crop pattern of each plant. Colorless columns and dark columns show mean of *Trigonella foenum-graecum* and *Plantago Psyllium*, respectively.

گاوی و کود تلفیقی مشاهده شد، ولی مقدار تأثیر عملکرد بیولوژیک جزء اسفرزه در این تیمارها بسیار اندک مشاهده شد ولی در تیمار

علی‌رغم این که بیشترین مجموع عملکرد بیولوژیک دو گیاه شنبلیله و اسفرزه در تیمار شنبلیله: اسفرزه ۱:۱ و ۲:۱ در شرایط کود

با توجه به جدول ۲ تأثیر نوع کود، نسبت‌های کشت مخلوط و اثرات متقابل این عوامل بر درصد موسیلاژ معنی‌دار بود ($p \leq 0.01$). کیفیت دانه اسفرزه مربوط به درصد موسیلاژ آن می‌باشد (Zahoor et al., 2004). بیشترین مقدار درصد موسیلاژ در کشت مخلوط ۲:۱ و کشت خالص همراه با کود گاوی و تلفیقی مشاهده شد (جدول ۳). بالا بودن درصد موسیلاژ در تیمار شنبليله: اسفرزه ۲:۱ و کشت خالص در شرایط کود تلفیقی و کود گاوی در مقایسه با همین تیمار در شرایط کود شیمیایی بنابر نتایج کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2013) احتمالاً به دلیل افزایش جذب عناصر پتاسیم و سولفور علاوه بر عناصر غذایی نیتروژن و فسفر در گیاه اسفرزه و خصوصاً دانه مربوط می‌شود.

شنبليله: اسفرزه ۱:۲ تأثیر عملکرد بیولوژیک جزء اسفرزه در مجموع عملکرد بیولوژیک دو گیاه در بین تیمارهای کودی مختلف بسیار بیشتر بود (شکل ۵). این افزایش در عملکرد بیولوژیک در تیمار شنبليله: اسفرزه ۱:۲ نشان از کارآمدتر بودن این کشت مخلوط ردیفی در میان سایر کشت‌های مخلوط برای گیاه اسفرزه بوده است. تأثیر نوع کود، نسبت‌های کشت مخلوط و اثرات متقابل این عوامل بر شاخص برداشت گیاه شنبليله معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین شاخص برداشت اسفرزه در تیمار کشت خالص در شرایط کود گاوی و کود تلفیقی مشاهده شد (داده‌ها گزارش نشده). به نظر می‌رسد در تیمار کشت خالص به دلیل عملکرد دانه کمتر (شکل ۴) و عملکرد بیولوژیک نسبتاً بالا (شکل ۵) نسبت به تیمارهای مخلوط دیگر شاخص برداشت بالاتری مشاهده شد.

جدول ۳- اثر نوع کود و کشت مخلوط با شنبليله بر درصد موسیلاژ و تورم در هر گرم موسیلاژ اسفرزه

Table 2- Effects of fertilizer type and intercropping with trigonella on percentage of mucilage and inflation per mucilage of psyllium

تورم برای هر گرم موسیلاژ (میلی لیتر) Inflation per gram mucilage (ml)	درصد موسیلاژ (%) Percentage of mucilage (%)	نوع کود Fertilizer type	کشت مخلوط Intercropping
60.62 ^a	27.52 ^a	M	P
61.57 ^a	27.33 ^a	M	TP (2:1)
45.19 ^b	17.33 ^b	M	TP (1:1)
44.7 ^c	17.27 ^c	M	TP (1:2)
59.06 ^a	27.6 ^a	I	P
57.44 ^a	27.5 ^a	I	TP (2:1)
46.13 ^b	17.50 ^b	I	TP (1:1)
44.04 ^c	17.41 ^b	I	TP (1:2)
57.85 ^a	17.58 ^b	C	P
58.36 ^a	17.71 ^b	C	TP (2:1)
45.70 ^b	17.38 ^b	C	TP (1:1)
44.43 ^c	17.30 ^b	C	TP (1:2)

M: نشانگر کود دامی، I: کود تلفیقی، C: کود شیمیایی، T: کشت خالص شنبليله، TP(2:1): کشت مخلوط دو ردیف شنبليله و یک ردیف اسفرزه، TP(1:1): یک ردیف شنبليله و یک ردیف اسفرزه، TP(1:2): یک ردیف شنبليله و دو ردیف اسفرزه است. در هر ستون، مقادیر میانگین ($n=3$) دارای حروف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار هستند ($P > 0.05$)

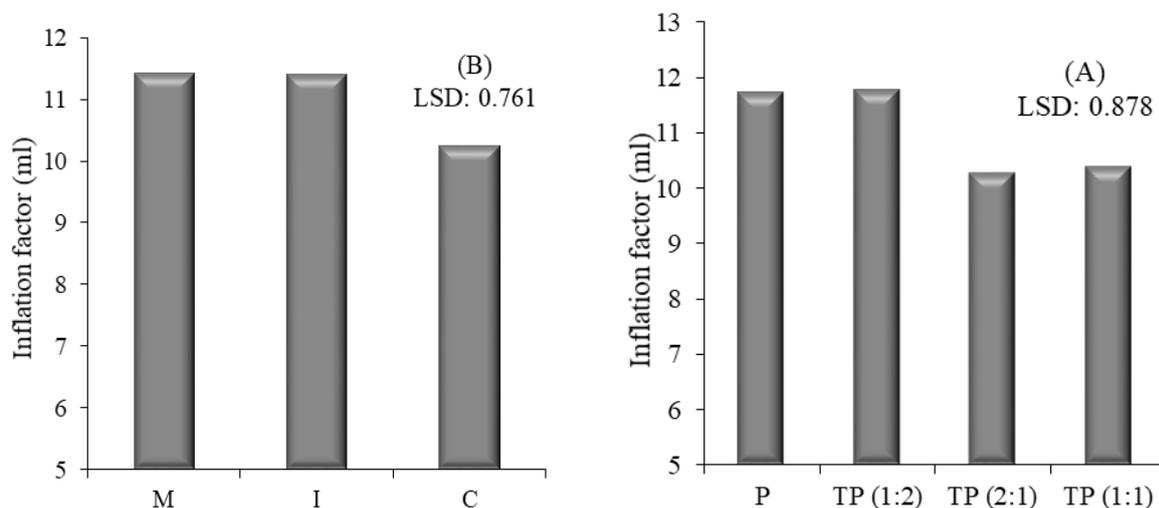
Intercropping of M, indicant manure fertilizer; I, integrated fertilizer; C, chemical fertilizer; T, monoculture Trigonella; TP(2:1), TP(1:2), two line Trigonella and one line Psyllium; TP(1:1), Intercropping of one line Trigonella and one line Psyllium; Intercropping of one line Trigonella and two line Psyllium. In each column, mean values ($n=3$) with the same letters have not significant differences ($p > 0.05$).

هر گرم کاهش می‌یابد که همین امر نشان می‌دهد که با افزایش عملکرد بیولوژیک که از صفات کمی بوته اسفرزه می‌باشد از مقادیر تورم در هر گرم موسیلاژ کاسته می‌شود. تأثیر کشت مخلوط ردیفی و نوع کود بر فاکتور تورم معنی‌دار بود ($p \leq 0.01$). ولی، اثرات متقابل این عوامل بر صفت ذکر شده معنی‌دار نبود (جدول ۲). با توجه به شکل (۶ الف)، تیمار کشت خالص و شنبليله: اسفرزه ۱:۲ حدود ۱۳ درصد افزایش در مقدار فاکتور تورم گیاه اسفرزه نسبت به تیمار شنبليله: اسفرزه ۲:۱ و ۱:۱ نشان دادند. در

تأثیر نوع کود، کشت مخلوط ردیفی و اثرات متقابل این عوامل بر تورم در هر گرم موسیلاژ معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به جدول ۳ تیمار شنبليله: اسفرزه ۱:۲ در بین تمام تیمارهای کودی کمترین مقدار تورم در هر گرم برای گیاه اسفرزه را نشان داد. آنالیز همبستگی صفات کیفی گیاه اسفرزه نشان داد تورم در هر گرم موسیلاژ با فاکتور تورم بذر و شاخص برداشت گیاه اسفرزه به ترتیب همبستگی مثبت (0.44^{***}) و (-0.64^{***}) منفی داشتند (داده‌ها گزارش نشده). این مشاهدات نشان می‌دهد که با افزایش شاخص برداشت مقدار تورم در

عناصر غذایی و مواد فتوسنتزی موجود در کود باعث بهبود میزان مواد ذخیره در دانه و در نتیجه افزایش فاکتور تورم شده است.

بین تیمارهای مختلف کودی بیشترین مقدار فاکتور تورم در تیمار کود تلفیقی و گاوی به دست آمد (شکل ۶ ب). احتمالاً افزایش عرضه

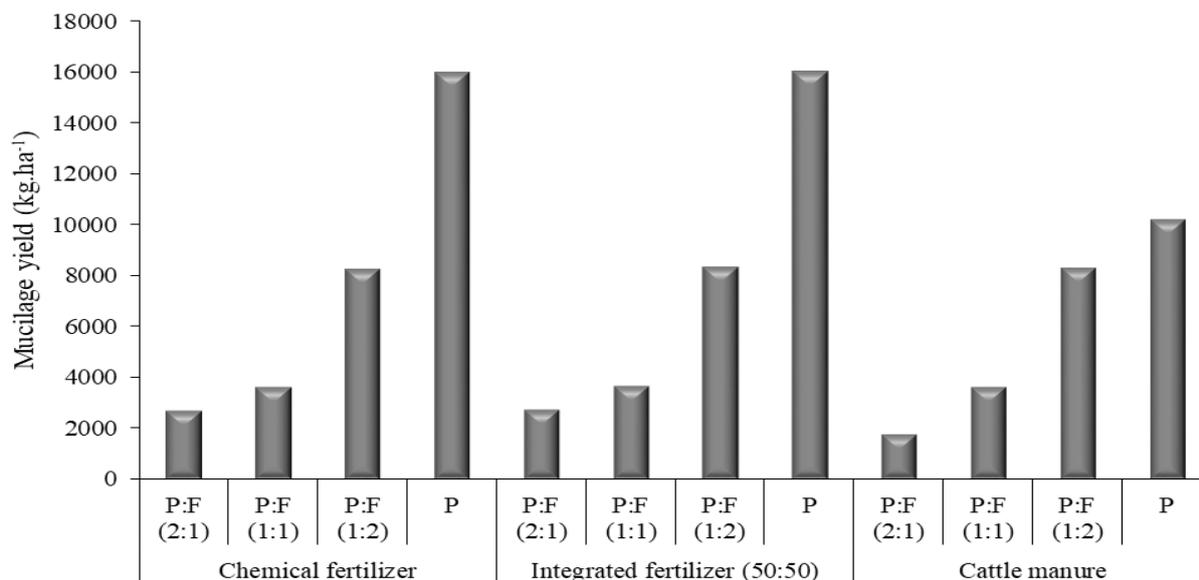


شکل ۶- اثر کشت مخلوط (A) با شنبلیله و نوع کود (B) بر فاکتور تورم اسفرزه

Fig. 3- The effect of intercropping with trigonella on inflation factor with psyllium

تفاوت معنی دار میانگین ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می باشد. T و P: نیز به ترتیب نشان دهنده شنبلیله و اسفرزه می باشد و اعداد داخل پرانتز بیانگر الگوی کشت هر یک از گیاهان در تیمار کشت مخلوط است. M، I و C به ترتیب بیانگر کود گاوی، تلفیقی و شیمیایی می باشد.

Significant difference in mean values based on the LSD test at 5 percent. T and P: are abbreviations of Trigonella and Psyllium, respectively; and the numbers in parentheses represent crop pattern of each plant. M, I and C are abbreviations of manure, integrated and chemical fertilizer, respectively.



شکل ۷- اثر کشت مخلوط با شنبلیله و نوع کود بر عملکرد موسیلاژ اسفرزه

Fig. 5- The effect of intercropping with trigonella and fertilizer type on mucilage yield of psyllium

تفاوت معنی دار میانگین ها بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد می باشد. T و P: نیز به ترتیب نشان دهنده شنبلیله و اسفرزه می باشد و اعداد داخل پرانتز بیانگر الگوی کشت هر یک از گیاهان در تیمار کشت مخلوط می باشد.

LSD: 6

Significant difference in mean values based on the LSD test at 5 percent. T and P are abbreviations of Trigonella roenum-graecum and Psyllium, respectively; and the numbers in parentheses represent crop pattern of each plant.

تأثیر نوع کود، کشت مخلوط ردیفی و اثرات متقابل این عوامل بر عملکرد موسیلاژ در سطح احتمال ۰/۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). تیمار شنبليله: اسفرزه ۲:۱ و ۱:۱ در بین تمام تیمارهای کودی مصرف شده کمترین و تیمارهای کشت خالص اسفرزه در شرایط کود تلفیقی و کود شیمیایی بیشترین عملکرد موسیلاژ را برای گیاه اسفرزه نشان دادند (شکل ۷). با در نظر گرفتن این که عملکرد موسیلاژ از حاصل-ضرب عملکرد دانه و درصد موسیلاژ حاصل می‌شود، می‌توان دریافت که احتمالاً علت اصلی بالا بودن عملکرد موسیلاژ در این تیمارها بالا بودن عملکرد دانه (شکل ۴) و درصد موسیلاژ (جدول ۳) می‌باشد.

تجزیه عامل

پس از پردازش داده‌ها در روش تجزیه عامل منجر به انتخاب چهار مؤلفه جدید شد که گزینش مؤلفه‌ها (عامل‌ها) بر اساس روش کیسر (Sharma, 1996) صورت گرفت. مؤلفه پنجم دارای ارزش ویژه ۰/۹۸۱ بود و به همین دلیل، در آنالیز داده‌ها و تفسیر نتایج در نظر گرفته نشد. مؤلفه‌های استخراج‌شده با روش کوارتی‌مکس چرخش یافتند تا بیشترین وزن مؤلفه روی یک عامل قرار گیرد.

جدول ۴- وزن مؤلفه‌های چرخش‌یافته شاخص‌های رشد اسفرزه به روش Quartimax برای استخراج چهار مؤلفه اصلی (عامل) به همراه قابلیت اطمینان یا ضریب اشتراک متغیر (Communality)، واریانس توصیفی هر کدام از آن‌ها و همچنین واریانس تجمعی کل داده‌ها

Table 4- Rotated factor loadings of psyllium growth indices using Quartimax rotation to extract four principal components (factors) along with their communality, descriptive variance and cumulative variance of total dataset

متغیر Variable	عامل اول First factor	عامل دوم Second factor	عامل سوم Third factor	عامل چهارم Fourth factor	ضریب اشتراک Communality
MY	0.971	0	0	0	0.963
M	0.967	0	0	0	0.948
IM	-0.873	0	0	0	0.777
HI	-0.826	0	0	0	0.769
I	0.762	0	0	0	0.666
NLB	0	0.930	0	0	0.914
GW	0	0.927	0	0	0.892
LS	0	0.770	0	0	0.659
GY	0	0	-0.902	0	0.968
NSS	0	0	-0.884	0	0.935
BY	0	0	-0.837	0	0.972
NS	0	0	0	0.973	0.956
H	0	0	0	0	0.950
ارزش ویژه Eigenvalue	4.74	2.66	1.91	1.06	-
واریانس یا تغییرات (%) descriptive variance	31.1	22.0	18.3	8.3	-
واریانس یا تغییرات تجمعی (%) Cumulative variance	31.1	53.1	71.4	79.7	-

متغیرها بر اساس وزن مؤلفه از بزرگ به کوچک مرتب شده و تنها وزن مؤلفه‌های بزرگتر از ۰/۷۰ برای تفسیر نتایج استفاده شده‌اند. MY: عملکرد موسیلاژ اسفرزه، M: درصد موسیلاژ، IM: تورم در هر گرم موسیلاژ، HI: شاخص برداشت، I: فاکتور تورم، NLB: شاخه جانبی، GW: وزن هزار دانه، LS: طول سنبله، GY: عملکرد دانه، NSS: تعداد دانه در سنبله، BY: عملکرد بیولوژیک، NS: تعداد سنبله در بوته و H: ارتفاع.

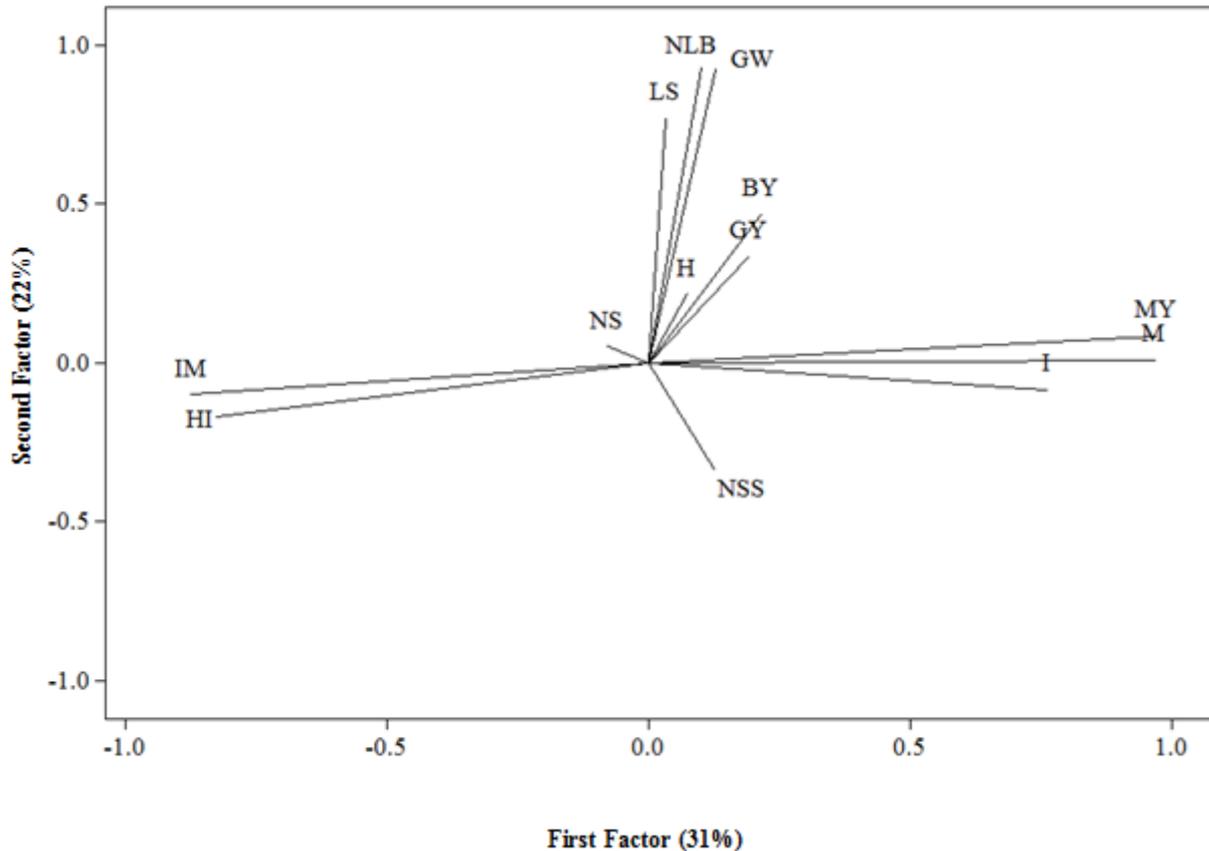
Based on factor loadings, growth indices were arranged from the largest to the smallest values, and only factor loadings greater than 0.70 have been used to interpret the results. MY: Psyllium mucilage yield, M: percentage of mucilage IM: inflation per gram mucilage. HI: index harvest, I: inflation factor, NLB: number of branches, GW: 1000-seeds weight, LS: spike length, Gy: seed yield, NSS: number of seed in spike, BY: biological yield NS: number of spikes per plant and H: height.

مجموع حدود ۷۹/۷ درصد از تغییرات (واریانس) داده‌ها را به خود اختصاص دادند. اولین مؤلفه بیشترین واریانس را در بر گرفته و به-ترتیب برای سایر مؤلفه‌ها این درصد کاهش می‌یابد (Mohammadi,

با توجه به داده‌های جدول ۴، مؤلفه‌های اول، دوم، سوم و چهارم به‌ترتیب دربرگیرنده ۳۱/۱، ۲۲، ۱۸/۳ و ۸/۳ درصد تغییرات (واریانس) در کل داده‌های گیاه اسفرزه بودند و هر سه مؤلفه در

سنبله گندم به عنوان اولین مؤلفه، بیشترین واریانس را به خود اختصاص داد و پس از آن نیز به ترتیب واریانس مؤلفه‌ها کاهش یافت.

پژوهشگران دیگر نیز همچون موسوی و همکاران (2006). (Moosavi et al., 2013) اذعان داشتند که صفت تعداد سنبلچه در



شکل ۸- مختصات دو بعدی شامل عامل‌های اول و دوم شاخص‌های رشد اسفرزه

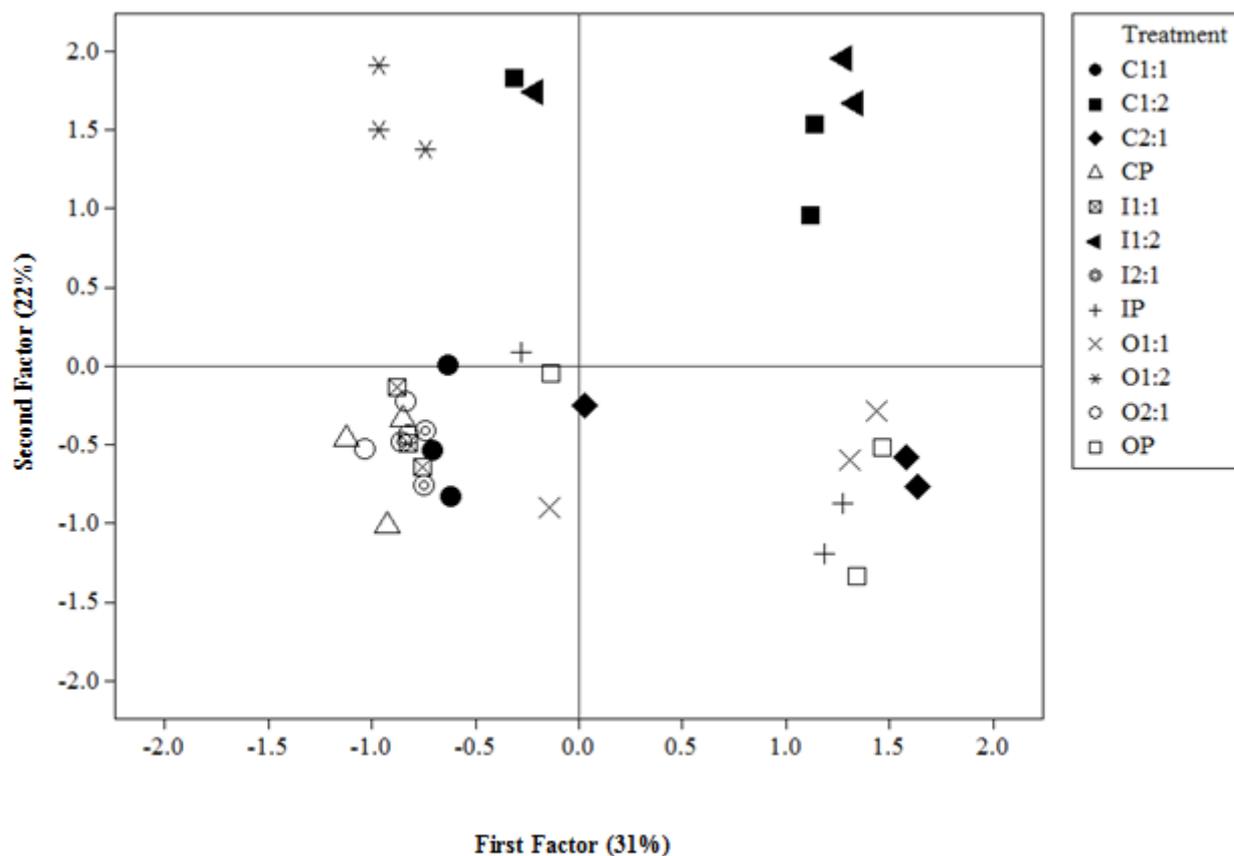
Fig. 8- Two-dimensional coordinates showing first and second factors extracted using growth indices of psyllium

MY : عملکرد موسیلاژ اسفرزه، M: درصد موسیلاژ، IM: تورم در هر گرم موسیلاژ، HI : شاخص برداشت، I: فاکتور تورم، NLB: شاخه جانبی، GW: وزن هزار دانه، LS : طول سنبله، GY: عملکرد دانه، NSS: تعداد دانه در سنبله، BY: عملکرد بیولوژیک، NS: تعداد سنبله در بوته و H: ارتفاع.

MY: *Plantago Psyllium* mucilage yield, M: The percentage of mucilage IM: Inflation per gram mucilage, HI: index harvest, I: Inflation factor, NLB: Number of branches . GW: 1000-seeds weight, LS : Spike length, GY: Seed yield, NSS :The number of seed in spike, BY: Biological yield NS: Number of spikes per plant and H: Height.

علامت منفی نشان‌دهنده ارتباط منفی متغیر مورد نظر با محورهای استخراج شده است. همچنین ضریب اشتراک اغلب متغیرهای گیاه اسفرزه در این مطالعه بالا ($Communitiy \geq 0/66$) بود (جدول ۴). بنابراین اکثر پارامترهای اندازه‌گیری شده نقش به‌سزایی در استخراج مؤلفه‌های اصلی (عامل‌ها)، بیان تغییرات داده‌های پژوهش و در نتیجه تفکیک اثر تیمارهای کودی و کشت مخلوط داشتند.

در جدول ۴، همبستگی متغیرها (بردار ویژه یا ضریب عامل) با چهار محور اصلی نشان داده شده است. با افزایش شماره مؤلفه به سمت مؤلفه چهارم از تعداد خصوصیات مهم در مؤلفه کاسته شده به طوری که مؤلفه اول بیشترین خصوصیات مهم را شامل می‌شود. برای کاهش بیشتر تعداد متغیرها وزن مؤلفه‌هایی در نظر گرفته شد که مقدار قدر مطلق آن‌ها بیشتر از ۰/۷۰ باشد. علامت مثبت ضرایب همبستگی (بردار ویژه یا وزن مؤلفه) نشان‌دهنده ارتباط مثبت و



شکل ۹- دیاگرام دو بعدی عوامل‌های اول و دوم تفکیک‌کننده تیمارها بر اساس شاخص‌های رشدی گیاه اسفرزه
Fig. 9- Biplot diagram of first and second factors separating treatments based on growth indices of psyllium

C1:1 : یک‌کشت مخلوط ک ردیف شنبليله و یک ردیف اسفرزه به همراه مصرف کود شیمیایی، C1:2: کشت مخلوط یک ردیف شنبليله و دو ردیف اسفرزه به همراه مصرف کود شیمیایی، I1:1: کشت شیمیایی، C2:1: کشت مخلوط دو ردیف شنبليله و یک ردیف اسفرزه به همراه مصرف کود شیمیایی، CP: کشت خالص اسفرزه به همراه مصرف کود شیمیایی، I1:2: کشت مخلوط یک ردیف شنبليله و یک ردیف اسفرزه به همراه مصرف کود تلفیقی، I2:1: کشت مخلوط دو ردیف شنبليله و یک ردیف اسفرزه به همراه مصرف کود تلفیقی، IP: کشت خالص اسفرزه به همراه مصرف کود تلفیقی، O1:1: کشت مخلوط یک ردیف شنبليله و یک ردیف اسفرزه به همراه مصرف کود آلی، O1:2: کشت مخلوط یک ردیف شنبليله و دو ردیف اسفرزه به همراه مصرف کود آلی، O2:1: کشت مخلوط دو ردیف شنبليله و یک ردیف اسفرزه به همراه مصرف کود آلی، OP: کشت خالص اسفرزه به همراه مصرف کود آلی.

C1:1: Intercropping of one line trigonella and one line psyllium with chemical fertilizer , C1:2 : Intercropping of one line trigonella and two line psyllium with chemical fertilizer, C2:1: intercropping of two line trigonella and one line psyllium with chemical fertilizer, CP: monoculture of psyllium with chemical fertilizer , I1:1: intercropping of one line trigonella and one line psyllium with Integrated fertilizer, I1:2 : intercropping of one line trigonella and two line psyllium with Integrated fertilizer, I2:1: Intercropping of two line trigonella and one line psyllium with integrated fertilizer, IP: monoculture of psyllium with integrated fertilizer, O1:1: intercropping of one line trigonella and one line psyllium with organic fertilizer, O1:2 : intercropping of one line trigonella and two line psyllium with organic fertilizer, O2:1: intercropping of two line trigonella and one line psyllium with organic fertilizer, OP: monoculture of psyllium with organic fertilizer.

یک بردار ویژه یا ضریب عامل نزدیک به یک باشد، در نمودار دو بعدی، محوری که متغیر اولیه مربوطه را نشان می‌دهد، با زاویه‌ای کم در امتداد عامل مورد نظر قرار می‌گیرد. همچنین اگر این مقدار به صفر نزدیک باشد، محور متغیر اولیه با عامل مورد نظر تقریباً عمود برهم شده و در نتیجه سهم متغیر در این عامل اندک خواهد بود.

مقادیر بردار ویژه یا ضریب عامل ویژگی‌های رشدی گیاه اسفرزه در مختصات دو بعدی شامل مؤلفه‌های اصلی اول و دوم در شکل ۸ نشان داده شده است. معمولاً نمودارهای دو بعدی (دوگانه) که شامل مؤلفه‌های اصلی اول و دوم می‌باشند، دربرگیرنده حداکثر اطلاعات مورد نیاز تحلیل‌گر هستند (Mohammadi, 2006). اگر مقدار عددی

دیگر با تشکیل کمپلکس با عناصر ریزمغذی در خاک، فراهمی آن‌ها را برای گیاهان افزایش می‌دهند (Figueiredo et al., 2008). همچنین با افزودن منابع کربن (کود آلی) به خاک، منبع غذایی برای ریزجانداران فراهم شده و فعالیت جامعه زیستی خاک بهبود می‌یابد. پیامد تحریک فعالیت ریزجانداران خاک، بهبود شرایط زیستی، کاهش زمان بازگشت^۲ عناصر غذایی در خاک و افزایش فراهمی عناصر غذایی برای گیاهان است (Daneshian et al., 2011). عامل دوم نیز به وضوح تأثیر کشت مخلوط ردیفی را بیان کرد. افزایش متغیرهای تعداد شاخه جانبی، وزن هزار دانه و طول سنبله در اثر کشت مخلوط نشان از افزایش باردهی گیاه اسفرزه دارد. در اثر تشکیل همزیستی ریزوبیوم-لگوم در مرزعه و افزایش نیتروژن معدنی در خاک فعالیت تمامی ریزجانداران از جمله باکتری‌های حل‌کننده‌های فسفات افزایش یافته و افزایش فراهمی فسفر و نیتروژن در خاک منجر به افزایش باردهی گیاه اسفرزه شد. در این عامل، تمامی کشت‌های مخلوط ردیفی ۱:۲ با انواع تیمارهای کودی سبب بهبود شاخص‌های رشد اسفرزه شدند. در واقع، می‌توان گفت که زمانی اثر مثبت نوع تیمار کودی بر رشد اسفرزه چشمگیر است که همراه با کشت مخلوط ردیفی مناسب باشد. در کشت‌های مخلوط ردیفی ۱:۱ و ۲:۱ بهبودی در رشد اسفرزه حاصل نشد، اما کشت مخلوط ردیفی ۱:۲ اثرات مثبتی بر جای گذاشت. پژوهشگران پیشین نیز به نتایج مشابهی دست یافتند و بیان کردند که ویژگی‌های رشد گیاهان در نسبت کشت مخلوط مناسب بهبود می‌یابد (Rezaei-Chiyaneh & Gholinezhad, 2015; Hauggaard-Nielsen et al., 2009). با توجه به این‌که این گیاه توان تشکیل سیستم همزیستی با باکتری‌های دی‌آزوتروف را ندارد. حضور یک گیاه تثبیت‌کننده نیتروژن مانند شنبلیله می‌تواند اثرات مطلوبی بر رشد اسفرزه داشته باشد. با توجه به حجم اندام هوایی گیاه شنبلیله، این اثرات مطلوب فقط در کشت مخلوط ردیفی مناسب بروز می‌کند. چرا که حجم اندام هوایی گیاه شنبلیله در کشت‌های مخلوط ردیفی ۲:۱ و ۱:۱ مانع رسیدن نور به گیاه اسفرزه شده و شاخص‌های رشد در گیاه اسفرزه در این کشت‌های مخلوط افت می‌کند. بنابراین، در کشت مخلوط ردیفی ۱:۲ گیاه اسفرزه هم فضای کافی برای رشد و نمو دارد و هم می‌تواند از مزایای وجود یک سیستم همزیستی در مرزعه و افزایش نیتروژن معدنی در خاک استفاده کند.

این مطالعه، تنها متغیرهایی که بر اثر تیمار کودی یا کشت مخلوط تغییرات معنی‌دار نشان دادند (طبق روش آنالیز تک متغیره) در روش تجزیه عامل مورد استفاده قرار گرفتند. بنابراین، با توجه به شکل ۸، اکثر خصوصیات اندازه‌گیری شده، نسبت به عامل اول و دوم زاویه کمی داشته و در نتیجه دارای وزن^۱ برجسته و بالایی در این عوامل هستند. علاوه بر این، طول خط هر متغیر (فاصله آن از مختصات) نیز اهمیت نسبی هر متغیر اولیه را روی یک عامل نشان می‌دهد.

طبق جدول ۴ و شکل ۸، به ترتیب متغیرهای عملکرد موسیلاژ اسفرزه، درصد موسیلاژ، فاکتور تورم، تورم در هر گرم موسیلاژ و شاخص برداشت وزن بیشتری روی عامل اول داشتند. تمامی این متغیرها به جز تورم در هر گرم موسیلاژ و شاخص برداشت، دارای بیشترین طول در جهت مثبت (به دلیل علامت مثبت اعداد) بودند و کمترین زاویه را نسبت به عامل اول نشان دادند. متغیرهای تعداد شاخه‌ی جانبی، وزن هزار دانه و طول سنبله نیز تحت تأثیر عامل دوم قرار گرفته و افزایش نشان دادند. با توجه به پراکنش تیمارها در دیگرام دو بعدی، عامل اول اثر تیمارهای کودی را بر رشد گیاه اسفرزه نشان می‌دهد (شکل ۹). نتایج این مشاهدات در عامل اول نشان‌دهنده وابستگی شدید اثر نوع تیمار کودی به تیمارهای کشت مخلوط ردیفی بر بهبود رشد گیاه اسفرزه است. این امر می‌تواند بیانگر اثرات متقابل مثبت بین تیمار کودی و سیستم همزیستی لگومینوز باشد. شاخص‌های رشد اسفرزه در تیمارهای کشت خالص در کود تلفیقی و آلی بهبود نسبی یافتند، اما این اثر مثبت در مقایسه با تیمارهای کشت مخلوط آن‌ها با کشت مخلوط ردیفی ۱:۲ کمتر بود. از طرف دیگر، تیمار کشت خالص در کود شیمیایی از ایجاد شرایط مناسب برای گیاه اسفرزه ناتوان بود و ویژگی‌های رشدی این گیاه کاهش یافتند. این در حالی است که تیمار کود شیمیایی در کشت مخلوط ردیفی ۱:۲ کارآمد بوده و توانست شاخص‌های رشد گیاه اسفرزه را افزایش دهد. میزان کربن آلی در خاک مرزعه تحقیقاتی اندک بود و افزودن یک منبع آلی مانند کود گاوی توانست رشد گیاه اسفرزه را بهبود دهد. افزایش کودهای آلی با بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، جوانه‌زنی، رشد و توسعه گیاه را در مراحل مختلف بهبود می‌دهد (Koocheki et al., 2016). کودهای آلی مانند کودهای گاوی عناصر مورد نیاز رشد گیاهان بوده و از طرف

1- Factor loading

2- Turnover time

نتیجه گیری

داشته باشد. در این پژوهش اثر مثبت تیمار کودی زمانی بارز بود که گیاه اسفرزه در کشت مخلوط ردیفی ۱:۲ کشت شد. در این الگوی کشت علاوه بر فضای مناسب برای رشد و نمو و رسیدن نور کافی به گیاه اسفرزه، نیتروژن معدنی حاصل از سیستم همزیستی گیاه لگوم نیز در اختیار اسفرزه قرار گرفت.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه شهرکرد برای انجام این پژوهش تقدیر به عمل می‌آید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها به روشنی بیانگر تأثیر نوع تیمار کودی بر عامل اول و کشت مخلوط ردیفی بر عامل دوم بود. کاربرد کودهای آلی به تنهایی و در تلفیق با کود شیمیایی می‌تواند رشد گیاه را بهبود دهد اما چنانچه این مدیریت با کاربرد سیستم‌های کشت مخلوط همراه شود، افزایش رشد گیاه چشمگیر خواهد بود. عوامل متعددی مانند نور مورد نیاز گیاه، حجم اندام هوایی، اثرات متقابل بین گیاهان و رقابت‌های بین‌گونه‌ای می‌تواند اصول کشت مخلوط را برای گیاهان مختلف دستخوش تغییر کند. بنابراین باید توجه داشت که کشت مخلوط در الگوهای کشت مناسب می‌تواند اثرات مثبت را به همراه

منابع

- Arminian, A., Kang, M., Kozak, M., Houshmand, S., and Mathews, P. 2008. MULTPATH: A comprehensive Minitab program for computing path coefficients and multiple regressions for multivariate analyses. *Journal of Crop Improvement* 22: 82-120.
- Bahrang, Z. 2002. Evaluation characteristics of botanicals and ecologically different species of ephedra in Iran. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research* 18: 12-17. (In Persian with English Summary)
- Bartholomew, D.J., Steele, F., Moustaki, I., and Galbraith, J. 2008. *Analysis of Multivariate Social Science Data*. Chapman and Hall publishing house, London, UK.
- Daneshian, J., Yousefi, M., and Zandi, P. 2011. Effect of planting density and cattle manure on some qualitative and quantitative traits in two basil varieties under Guilan condition, Iran. *American-Urasian Journal Agriculture and environment Science* 11(1): 95-103.
- Erik, S., Jensen, A., Mark, B., and Peoples, B. 2010. Faba bean in cropping systems. *Field Crops Research* 115: 203-216.
- Felice, V.D., Mancinelli, R., Proulx, R., and Campiglia, E. 2012. A multivariate analysis for evaluating the environmental and economic aspects of agroecosystem sustainability in central Italy. *Journal of Environmental Management* 98: 119-126.
- Figueiredo, M.V.B., Burity, H.A., Martinez, C.R., and Chanway, C.P. 2008. Alleviation of drought stress in the common bean by co-inoculation with *Paenibacillus polymyxa* and *Rhizobium tropici*. *Applied Soil Ecology* 40: 182-188.
- Ghasemi, K. 2012. The effect of mycorrhizal symbiosis and nitrogen different sources on quantitative and qualitative characteristics psyllium under drought stress. MSc thesis Agroecology, College of Agriculture. Shahrekord University, Shahrekord, Iran. (In Persian with English Summary)
- Ghodrati, G., and Mirzaii Nodushan, H. 1997. Evaluation of cytogenetic and genetic diversity in Iranian spring Safflower land races. M.Sc. Thesis in Agriculture, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (In Persian with English Summary)
- Haugaard-Nielsen, H., Andersen, M.K., Jornsagaard, B., and Jensen, E.S. 2006. Density and relative frequency effects on competitive interactions and resource use in pea-barley intercrops. *Field Crops Research* 95: 256-267.
- Haugaard-Nielsen, H., Gooding, M., Ambus, P., Corre-Hellou, G., Crozat, Y., Dahlmann, C., Dibet, A., von Fragstein, P., Pristeri, A., Monti, M., and Jensen, E.S. 2009. Pea-barley intercropping for efficient symbiotic N₂-fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. *Field Crops Research* 113: 64-71.
- Ivanovska, S., Stojkovski, C., Dimov, Z., Marjanovic-Jeromela, A., Jankulovska, M., and Jankuloski, L. 2007. Interrelationship between yield and yield related traits of spring canola (*Brassica napus* L.) genotypes. *Genetika* 39: 325-332
- Jahan, M. 2004. Evaluation of ecological aspects chamomile and calendula mixed cropping together with manure. Msc

- thesis Agronomy. College of Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
- Khalili, F.E., Pirdashti, H., Bahmanyar, M.A., and Ghasemkheili, F.T. 2014. Effect of organic and chemical fertilizer on soil properties and nutrient concentration in pot marigold (*Calendula officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 30 (3): 477-485. (In Persian with English Summary)
- Koochaki, A., Amir-moradi, S., Shabahang, J., and Khandani, S.K. 2013. The effect of organic fertilizer on quantitative and qualitative characteristics of medicinal plant *Psyllium* (*Plantago ovata* Forssk), Shiraz *Alyssum* (*Alyssum homolocarpum* L.), urban alyssum (*Perfoilatum Lepidium* L.) and lallemantia (*Lalementia iberica* L.). Journal of Agroecology 5(1): 16-26. (In Persian with English Summary)
- Koocheki, A., Tabrizi, L., Keikha Akhar, M., and Roohi, A. 2016. Investigation of yield and germination qualitative characteristics of seeds of black cumin (*Nigella sativa* L.), isabgol (*Plantago ovata* Forsk.) and fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under organic cultivation. Journal of Agroecology 8(2): 153-168. (In Persian with English Summary)
- Mohammadi, J. 2006. Pedometry: Classical statistics. Pelk Publisher, Tehran, Iran. (In Persian)
- Moosavi, S.S., Ersi, F.K., and Abdollahi, M.R. 2013. Application of multivariate statistical methods in detection of effective traits on bread wheat (*Triticum aestivum* L.) yield under moisture stress condition. Cereal Research 3: 119-130. (In Persian with English Summary)
- Mousavinik, M. 2012. Effect of different levels of sulfur fertilizer on yield and quality of medicinal plant (*Plantago ovata* L.) in drought stress condition in the Baluchistan region. Journal of Agroecology 4: 170-182. (In Persian with English Summary)
- Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Rezvanimoghadm, P. 2005. Agroecology (Translation). Jihad Daneshgahi of Mashhad Publisher, Mashhad, Iran (In Persian)
- Nazari, M. 2013. Effects of biological fertilizers, zinc sulfate and urea on cadmium concentration in plant biomass fenugreek. Master's thesis Agroecology, College of Agriculture. Shahrekord University, Shahrekord, Iran (In Persian with English Summary)
- Ovalles, F.A., and Collins, M.E. 1988. Variability of northwest Florida soils by principal component analysis. Soil Science Society of American Journal 52: 1430-1435.
- Rezaei-Chiyaneh, E. 2016. Evaluation of quantitative and qualitative traits of black cumin (*nigella sativa* l.), and basil (*ocimum basilicum* l.) in different intercropping patterns with bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Agroecology 8(2): 263-280. (In Persian with English Summary)
- Rezaei-Chiyaneh, E., and Gholinezhad, E. 2015. Agronomic characteristics of additive series of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.). Journal of Agroecology 3: 381-396. (In Persian with English Summary)
- Senanayake, R. 1991. Sustainable agriculture: definitions and parameters for measurement. Journal of Sustainable Agriculture 1: 7-28.
- Sharma, S. 1996. Applied Multivariate Techniques. John Wiley & Sons Publisher, New York, USA 232 p.
- Tahmasebi, P. 2011. Multivariate Analysis in Environmental Science and Natural Resources. Shahrekord University Publisher, Shahrekord, Iran: 298. (In Persian)
- Temizel, K.E., Arslan, H., and Saglam, M. 2015. Applications of factor analysis and geographical information systems for precision agriculture over alluvial lands. Fresenius Environmental Bulletin 24: 2374-2383.
- Vilela, A.E., and Ravetta, D.A. 2001. The effect of seed scarification and soil-media on germination, growth, storage, and survival of seedlings of five species of *Prosopis* L. (Mimosaceae). Journal of Arid Environments 48: 171-184.
- Xiao, H., and Pei, M. 1991. Applying factor analysis method to study winter wheat quantity characteres and varieties classification. Acta Agriculture Universitatis Pekinen Sciences 17: 17-24.
- Yazdani, D., Shahnazi, S., and Seifi, H. 2004. A Practical Guide of Cultivation of 40 Important Medicinal Plant in Iran. Jihad Daneshgahi Publisher. Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. (In Persian)
- Zahoor, A., Ghafor, A., and Muhammad, A. 2004. *Plantago ovata*- a crop of arid and dry climates with immense. Journal of Medicinal and Aromatic Plant Science 12: 215-219.



Effect of Fertilizer Type and Intercropping of *Trigonella (Trigonella foenum-graecum)* and *Psyllium (Plantago psyllium)* on Growth Index of *Psyllium* using Factor Analysis

S. Ghasemi Maham^{1*}, S. Fallah² and A. Dadrasi³

Submitted: 23-12-2016

Accepted: 06-05-2017

Ghasemi Maham, S., Fallah, S., and Dadrasi, A. 2018. Assessing fertilizer type and intercropping impacts on growth index *Psyllium* using factor analysis. Journal of Agroecology. 10(3): 805-822.

Introduction

In the cultivation of medicinal plants, employing practices that can increase the essential materials is of necessary issues. Intercropping can improve the ecological diversity and stability in agro-ecosystems, increase the yield and reduce the use of chemical compounds. In addition, application of integrated fertilizers on agricultural soils may affect ecosystem sustainability, directly or indirectly, through changing the amount of chemical fertilizers application. Integrated fertilizers not only increase the yield, but also prevent environmental pollution. Accurate assessment of plant growth changes in various agricultural land management cannot be achieved by measuring an individual simple parameter. For this reason, simultaneous determination of several growth indicators can be a suitable method for monitoring the changes of plant growth in different conditions. The use of multivariate analysis is a beneficial approach in agronomic studies, since the method can easily assess the measured indices and more clearly interpret the results. Principal Components Analysis (PCA) or Factor Analysis (FA) are among of multivariate analysis methods in which reducing the number of primary studied variables is their initial aim. The purpose of this research was to evaluate the changes of psyllium growth indices in different fertilizer treatments and different combinations of intercropping using multivariate analysis and selection of the most sensitive growth indicator.

Materials and Methods

In order to evaluate the effects of different fertilizer types and intercropping ratios on the quantitative and qualitative yield of psyllium, the study was setup as 3×4 full factorial arrangement based on a randomized complete block design with three replications for each treatment over a period of 120 days. The treatments were intercropping ratio (monoculture of psyllium, trigonella: psyllium (2:1), fenugreek: psyllium (1:1), fenugreek: psyllium (1:2)) as the main plot factors and fertilizer types (cow manure, integrated fertilizer and chemical fertilizer) as the sub-plot factors. In intercropping treatments, the amount of fertilizer consumption corresponded to their intercropping ratio. Finally, 20 plants were randomly collected from each plot and were transferred to the laboratory. Data obtained from the study were analyzed using multivariate analysis (Factor Analysis, FA).

Results and Discussion

Extracted factors were rotated by Quartimax rotation to set most of the factor loadings on the first factor. Factor analysis led to the selection of four factors with eigenvalue greater than 1. The eigenvalue of fifth factor was 0.981, so it was not considered in the analysis and interpretation of data. The first, second, third and fourth factors were accounted for 31.1, 22, 18.3 and 8.3% of the variability of the data, respectively. These three factors explained 79.7% of the original variability, totally (i.e., variance). Consequently, four factors were retained to represent the original variability of the dataset. The first factor had 5 highly weighted variables with positive loadings for mucilage yield, the percentage of mucilage and inflation factor and negative loadings for other variables. The first factor, which included most of the qualitative and quantitative indicators as input variables,

1 and 2- Graduated Student of Agroecology and Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University, respectively.

3- Ph.D Student, Department of Genetics and Crop Production, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran.

(*- Corresponding Author Email: S.ghasemimaham@gmail.com)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.60474

clearly separated fertilizer treatments. Number of branches, during spike and the weight of one thousand seeds loaded heavily on the second factor with a positive loading for all properties. The second factor noticeably discriminated intercropping treatments. The effect of fertilizer treatments depended extremely on intercropping ratio, due to positive interaction between fertilizer type and leguminous symbiosis. However, the positive impact of fertilizer treatments was only related to appropriate intercropping ratio (1:2), probably due to suitable space for psyllium growth.

Conclusion

Factor analysis was used successfully in discriminating the effects of fertilizer type and intercropping on psyllium growth indicators. As a result, psyllium qualitative and quantitative properties were positively affected by the first and second factors. The first and second factors were clearly affected by fertilizer type and intercropping ratio, respectively. Therefore, these factors can be used for improving psyllium growth and increasing its quality. Moreover, application of integrated fertilizer not only increase intercropping efficiency, but also reduce environmental pollution.

Keywords: Integrated manure, Leguminous symbiosis, Medicinal plant, Multivariate analysis

اثر محلول‌پاشی با عناصر بور و روی بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط محدودیت آب انتهای فصل

سمیه سهیلی موحد^۱، سعید خماری^{۲*}، پریسا شیخ زاده^۳ و بهرام علیزاده^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۱۵

سهیلی موحد، س.، خماری، س.، شیخ زاده، پ.، و علیزاده، ب. ۱۳۹۷. اثر محلول‌پاشی با عناصر بور و روی بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط محدودیت آب انتهای فصل، بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳): ۸۲۳-۸۴۰.

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف بور و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) بهاره (رقم محلی اصفهان) تحت تنش خشکی آخر فصل، دو آزمایش در مزرعه‌ی تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی، طی سال‌های زراعی ۱۳۹۲-۹۳ و ۱۳۹۳-۹۴ به صورت اسپیلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. کرت اصلی شامل سه سطح محدودیت آب ($S_1=$ آبیاری کامل تا انتهای فصل، $S_2=$ قطع آبیاری از مرحله‌ی گلدهی و $S_3=$ قطع آبیاری از مرحله دانه‌بندی) و کرت فرعی دربرگیرنده ترکیب فاکتوریل عناصر ریز مغذی بور ($B_1=0$ ، $B_2=350$ و $B_3=700$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و روی ($Zn_1=0$ ، $Zn_2=1000$ و $Zn_3=2000$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. صفات مورد ارزیابی شامل ارتفاع بوته، تعداد طبق بارور در بوته، تعداد طبق نابارور در بوته، تعداد دانه در طبق، تعداد دانه در بوته، درصد پوکی دانه، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت بودند. نتایج نشان داد که تنش خشکی در مرحله گلدهی و دانه‌بندی به صورت معنی‌داری عملکرد دانه را نسبت به تیمار شاهد (آبیاری کامل) کاهش داد (به ترتیب ۷/۹۴٪ و ۸/۲۵٪ درصد). علاوه بر آن وزن هزار دانه، تعداد دانه در بوته و عملکرد بیولوژیک نیز تحت اثرات منفی تنش خشکی قرار گرفتند. اثرات متقابل عناصر ریز مغذی بور و روی، در تمام صفات مورد بررسی به جز عملکرد بیولوژیک و ارتفاع بوته معنی‌دار بود. تیمار B_3Z_2 بالاترین افزایش عملکرد دانه را نسبت به تیمار B_1Z_1 (شاهد) دارا بود (۴۷/۶۶٪ درصد). محلول‌پاشی عناصر بور و روی در شرایط تنش در مرحله گلدهی و دانه‌بندی، تعداد طبق نابارور در بوته، وزن هزار دانه و درصد پوکی دانه را، به طور معنی‌داری بهبود بخشید. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد و سایر صفات مورد مطالعه نشان داد که محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی اگر در زمان مناسب و به مقدار بهینه مصرف گردد، در مقاومت به خشکی گیاه اثر مثبت خواهد گذاشت. به طور کلی تیمارهای B_3Z_2 و B_2Z_2 در شرایط تنش در مرحله گلدهی (به ترتیب با افزایش عملکرد ۵۴/۸٪ و ۵۵/۸٪ نسبت به تیمار B_1Z_1) و دانه‌بندی (به ترتیب با افزایش عملکرد ۳۹/۵٪ و ۳۸/۴٪ نسبت به تیمار B_1Z_1) توانستند تا حدود زیادی خسارت ناشی از محدودیت آب را در گلرنگ را جبران کنند.

واژه‌های کلیدی: عناصر ریز مغذی، مرحله گلدهی، مقاومت به خشکی

مقدمه

روغنی چندمنظوره و از تیره‌ی کاسنی (Asteraceae) می‌باشد که دانه‌ی آن دارای ۲۵ تا ۴۵ درصد روغن و ۱۲ تا ۲۴ درصد پروتئین است. کیفیت روغن دانه‌ی این گیاه در بین گیاهان دانه‌روغنی به دلیل میزان بالای اسید لینولئیک^۴ (۷۳ تا ۸۵ درصد) بالاترین مقدار است. علاوه بر تولید روغن، کنجاله آن نیز نقش اساسی در جیره غذایی دام دارد. همچنین رنگیزه‌های موجود در گل‌های آن دارای ارزش

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یکی از گیاهان دانه

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش‌آموخته دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشیار و استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه محقق اردبیلی
۴- دانشیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج
(*) نویسنده مسئول: (Email: saeid.khomari@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.60741

تنش می‌تواند تا حدی به گیاه به مقابل تنش‌های مختلف کمک کند. با محلول‌پاشی عناصر غذایی کم‌مصرف می‌توان وضعیت رشد گیاه را در شرایط تنش بهبود بخشید (Alloway, 2004). کمبود عنصر بور در بین عناصر کم‌مصرف پس از آهن و روی، بزرگترین خسارت را بر تولید وارد می‌سازد. مقدار بور در گیاهان بین ۵ تا ۵۰ پی‌پی‌ام تغییر می‌کند، ولی این مقدار ممکن است در گیاهان و خاک‌های مختلف متفاوت باشد. وقتی مقدار بور در گیاه کمتر از ۱۵ پی‌پی‌ام باشد، علائم کمبود ظاهر می‌شود (Shirani-Rad, 2003). عنصر بور برای سنتز پروتئین، تشکیل بذر و دیواره‌ی سلولی، جوانه‌زنی دانه‌ی گرده و رشد لوله‌گرده ضروری است (Guertal, 2004).

عنصر روی به‌عنوان محدودکننده‌ترین عنصر کم‌مصرف در تولید گیاهان زراعی در بخش‌های مختلف جهان مطرح است (Mandal et al., 2000). به‌کارگیری عنصر روی اثر بسیار زیادی بر فرآیندهای پایه‌ی گیاه مثل متابولیسم و جذب نیتروژن، افزایش کیفیت پروتئین، فتوسنتز، مقاومت در مقابل تنش‌های زیستی و غیرزیستی و محافظت در مقابل آسیب‌های اکسیداتیو دارد (Cakmak, 2008). بنک (Banks, 2004) بیان داشت محلول‌پاشی عنصر روی در سویا (L. *Glycine max*) عملکرد دانه، میزان پروتئین و میزان روغن دانه را افزایش داد. در آزمایش دیگری مصرف عناصر ریزمغذی در موارد کمبود به‌خصوص از طریق محلول‌پاشی عملکرد و اجزاء عملکرد گلرنگ را بهبود بخشید (Movahedi-Dehnavi et al., 2007; Ravi et al.; Lewis & McFarlane, 1986; Yari et al., 2015; Moradi-Telavat et al., 2015 et al., 2008). عنصر یاد شده را در اسرع وقت در اختیار گیاه قرار دهد، از اهمیت زیادی برخوردار است). همچنین گزارش شده که محلول‌پاشی بور، پروتئین، اسید چرب اولئیک^۱ (Bellaloui, 2010)، عملکرد و کیفیت بذر (Dordas, 2006b) را در یونجه (*Medicago sativa* L.) بهبود بخشیده است. محلول‌پاشی بور در زمان رشد و نمو فعال گیاه کلزا، در خاک‌هایی که کمبود این عنصر وجود داشت، سبب افزایش عملکرد دانه گردید (Bowyzys & Krauz, 2000). در پژوهشی دیگر بیوماس، عملکرد دانه و میزان روغن کنجد (*Sesamum indicum* L.) با کاربرد ۰/۳۳ میلی‌گرم در لیتر بور، به میزان ۴۲٪ افزایش یافت؛ بر اثر کمبود شدید بور هیچ دانه‌ای در گیاه کنجد تولید نشد (Pratima et al., 1999). محققان در بررسی عناصر روی و نیتروژن بر عملکرد

اقتصادی نسبتاً بالایی است (Purdad, 2007). این گیاه به نواحی دارای بارندگی کم با شرایط آب و هوایی خشک، سازگار شده است و به‌دلیل خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ویژه‌ای نظیر ریشه‌های عمیق در خاک، به‌عنوان یک گیاه متحمل به شرایط نامساعد محیطی، نظیر کم‌آبی، سرما، شوری و قلیایی بودن خاک شناخته شده و در بسیاری از کشورها به‌طور گسترده کشت می‌شود (Arnon, 1972).

خشکی یا تنش کمبود آب مهم‌ترین عامل محیطی است که اثرات شدید منفی بر عملکرد محصولات کشاورزی در سراسر جهان دارد، به‌خصوص هنگامی که تنش آب در مرحله‌ی رشد زایشی رخ دهد، تولید محصول را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد (Selote Chopra, 2004). اجزای عملکرد گلرنگ شامل تعداد طبق در گیاه، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه، اثر متفاوتی بر عملکرد داشته و در مقابل تنش خشکی در مراحل مختلف رشد گیاه، حساسیت متفاوتی دارند. آشری و همکاران (Ashri et al., 1974) با مطالعه روی ۹۰۳ رقم گلرنگ دریافتند که مهم‌ترین جزء عملکرد، تعداد طبق در گیاه است و وزن بذر نیز تقریباً اثر قابل توجهی بر عملکرد ندارد. در گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) تنش آب در طی پر شدن دانه، موجب کاهش معنی‌داری در عملکرد دانه، وزن صد دانه و قطر طبق گردید (Mekki et al., 1999). همچنین نام و همکاران (Nam et al., 1993) گزارش دادند که تنش رطوبت در لپه‌هندی (*Cajanus cajan* L.) به‌شدت وزن خشک گیاه و عملکرد آن را کاهش می‌دهد. میزان کاهش عملکرد با ارقام و مرحله اعمال تنش تغییر می‌کرد؛ به‌طوری‌که تنش خشکی در مرحله‌ی گلدهی، نسبت به تنش در مرحله‌ی قبل از گلدهی یا پر شدن دانه، تأثیر بیشتری بر کل ماده خشک و عملکرد دانه داشت. تنش همزمان با گلدهی موجب کاهش عملکرد دانه در حدود ۴۵-۴۰ درصد شد. در مورد کلزا (*Brassica napus* L.) نیز گزارش شده که کمبود آب از مرحله‌ی گلدهی تا تشکیل دانه، اثر شدیدی بر عملکرد و اجزای عملکرد داشته و مهم‌ترین جزء عملکرد که تحت تأثیر تنش در مرحله‌ی گلدهی قرار می‌گیرد، تعداد دانه در غلاف است و صفت وزن هزار دانه، در مرحله‌ی پر شدن دانه تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Merrien & Champolivier, 1996).

یکی از اثرات تنش خشکی، برهم‌زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاه است (Lewis & McFarlane, 1986). تغذیه مناسب تحت شرایط

1- Oleic acid

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر محلول پاشی عناصر کم مصرف بور و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ بهاره (رقم محلی اصفهان)، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی، با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۸ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و با ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا، طی دو سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ انجام شد. برخی ویژگی‌های اقلیمی محل اجرای آزمایش در جدول یک ارائه شده است.

و اجزای عملکرد کلزا، بیان کردند که اثر سولفات روی بر ارتفاع گیاه و وزن هزار دانه معنی دار نشد؛ اما باعث افزایش معنی دار تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد خورجین و عملکرد دانه شد (Ahmadi, 2010). در کلزا کاربرد توأم عناصر بور و روی (Azizi et al., 2011) و در گلرنگ کاربرد عنصر روی (Roshan et al., 2016)، باعث افزایش معنی دار عملکرد و اجزای عملکرد و شاخص برداشت هر بوته گردید. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش تأثیر محلول پاشی عناصر بور و روی بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ بهاره در شرایط محدودیت آب انتهایی فصل مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱- برخی اطلاعات هواشناسی استان اردبیل طی فصل رشد گلرنگ در دو سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳

Table 1- Some meteorological data of Ardabil province during growth period of safflower during 2013-2014 and 2014-2015 growing seasons

داده‌های هواشناسی Meteorological data	ماه	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	میانگین
	سال Year	April	May	June	July	August	September	Mean
میانگین حداقل و حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد) Max and min temperature (C°)	2014	15.3	17.8	19.4	19.8	18.8	12.4	17.3
میزان و پراکندگی بارش (میلی‌متر) Rainfall pattern and amount (mm)	2014	35.4	24.5	12.2	0.4	0.6	100.8	29
میانگین حداقل و حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد) Max and min temperature (C°)	2015	12.9	17.9	19.9	20.4	16.9	13.3	17
میزان و پراکندگی بارش (میلی‌متر) Rainfall pattern and amount (mm)	2015	26.5	7	3.6	0	48.9	58.3	24.1

کاشت ۳۰ سانتی‌متر و فاصله‌ی بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر و فاصله بین کرت‌ها ۱/۵ متر و تراکم ۳۳ بوته در متر مربع کاشته شد. زمین محل اجرای آزمایش در پائیز شخم و در بهار سال بعد دیسک زده شد. سپس با استفاده از لولر تسطیح و به صورت جوی و پشته درآمد. کودهای مصرفی شامل نیتروژن، فسفر و پتاس براساس نتایج آزمون خاک (جدول ۲) به‌طور یکسان برای تمامی کرت‌ها و به ترتیب ۱۰۰ کیلوگرم اوره، ۵۰ کیلوگرم فسفات آمونیم، و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هر هکتار اعمال شد. اولین آبیاری پس از کاشت صورت گرفت و آبیاری‌های بعدی تا پایان فصل رشد، بر اساس بافت خاک و شرایط آب و هوایی انجام گرفت. در طول دوره‌ی رشد عملیات داشت مانند مبارزه با علف‌های هرز و ... انجام گرفت. در پایان فصل رشد و پس از رسیدگی کامل تعداد ۱۰ بوته از هر کرت انتخاب و ویژگی‌های ارتفاع بوته، درصد پوکی دانه و اجزای عملکرد (تعداد طبق بارور در بوته، تعداد طبق نابارور در بوته، تعداد دانه

آزمایش‌ها به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک-های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. عامل اصلی شامل سطوح مختلف آبیاری در سه سطح ($S_1 =$ آبیاری کامل تا انتهای فصل، $S_2 =$ قطع آبیاری از مرحله‌ی گلدهی و $S_3 =$ قطع آبیاری از مرحله‌ی دانه‌بندی) و عامل فرعی شامل ترکیب فاکتوریل دو عنصر بور و روی بود که عامل بور در سه سطح ($B_1 = 0$ ، $B_2 = 350$ و $B_3 = 700$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و عامل روی نیز در سه سطح ($Zn_1 = 0$ ، $Zn_2 = 1000$ و $Zn_3 = 2000$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) انتخاب شدند. محلول پاشی بور (به صورت اسید بوریک) و روی (به صورت سولفات روی) در یک مرحله و در زمان ۵۰٪ گلدهی انجام شد. عملیات کاشت طی دو سال متوالی و در تاریخ‌های ۱۳۹۳/۲/۲۲ و ۱۳۹۴/۲/۲۲ به صورت دستی و در عمق ۵ سانتی‌متر انجام شد. بذور در کرت‌هایی با مساحت ۵/۴ متر مربع به طول ۳ متر و عرض ۱/۸ متر به صورت جوی و پشته و با رعایت فاصله بین ردیف‌های

درطبق، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه) اندازه‌گیری شد. برای تعیین عملکرد دانه، و عملکرد بیولوژیک، به‌هنگام برداشت با حذف حاشیه از دو ردیف وسط هر کرت دو متر مربع برداشت گردید و میانگین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک محاسبه گردید. داده‌های موجود به کیلوگرم در هکتار تبدیل شدند. سپس شاخص برداشت از

تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک تعیین شد. پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل آماری توسط نرم افزارهای SAS و SPSS انجام شد. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی به روش آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2- Soil physical and chemical characteristics of experimental location

ماده آلی (%) Organic matter (%)	اسیدیته (pH)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical conductivity (dS.m ⁻¹)	رس (%) Clay (%)	سیلت (%) Silt (%)	شن (%) sand (%)	نیتروژن کل (%) Nitrogen Total (%)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Phosphorus (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Potassium (mg.kg ⁻¹)	بور (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Boron (mg.kg ⁻¹)	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Zinc (mg.kg ⁻¹)
1.22	7.9	0.795	22.56	46.72	30.72	0.47	26	174.9	5.49	0.95

نتایج و بحث

تعداد طبق بارور در بوته

نتایج تجزیه مرکب داده‌های دو سال نشان داد که تعداد طبق بارور در بوته، از بین تیمارهای آزمایشی، تنها تحت تأثیر برهمکنش بور و روی قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین تعدد طبق بارور در بوته در تیمار محلول‌پاشی B_3Zn_2 (۱۴/۸۲۲ طبق بارور در بوته) به‌دست آمد که با کلیه ترکیبات تیماری به جز B_1Zn_1 و B_1Zn_2 و B_2Zn_3 ، در یک گروه آماری قرار گرفت و تفاوت معنی‌داری بین آنها مشاهده نشد. افزایش در تعداد طبق بارور در بوته در تیمار B_3Zn_2 نسبت به تیمار محلول‌پاشی B_1Zn_1 (آب مقطر) و محلول‌پاشی با B_1Zn_2 به-ترتیب ۱۳/۵۳ و ۱۳/۸۲ درصد، مشاهده شد (جدول ۵).

پژوهشگران گزارش دادند که تعداد طبق بارور در بوته گلرنگ تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفت (Arab et al., 2016). هرچه زمان اعمال تنش خشکی، به مرحله تشکیل طبق‌ها نزدیک‌تر باشد، اثر آن بر تعداد طبق و در نهایت بر عملکرد دانه بیشتر خواهد شد. اعمال تنش خشکی پس از مرحله‌ی تشکیل طبق‌های اولیه، سبب کاهش تعداد طبق‌های ثانویه می‌شود که این طبق‌ها در مقایسه با طبق‌های اولیه، معمولاً قطر کمتری دارند (Dajue & Mundel, 1996). به‌نظر می‌رسد که مصرف عناصر بور و روی در مرحله گلدهی و دسترسی بیشتر گیاه در طی مراحل تشکیل طبق‌ها و پرشدن دانه، منجر به افزایش تعداد طبق بارور شده است. روی در گرده‌افشانی و

لقاح نقش مهمی دارد و برای تولید اکسین جهت رشد سلولی مورد نیاز است. همچنین روی در افزایش طول لوله‌ی گرده و زنده‌ماندن تخمک نقش دارد و از طریق بالا بردن مقدار کربوهیدرات و مواد حاصل از همانندسازی و افزایش میزان اکسین در افزایش وزن میوه و کاهش ریزش میوه مؤثر است (Marschner, 1995). از وظایف بور می‌توان به رویش دانه‌ی گرده، رشد لوله‌ی گرده، جلوگیری از تخریب بافت‌ها، متابولیسم اسیدنوکلیک، انتقال قندها، تراوایی غشا سلولی، تنظیم هورمون‌های گیاهی و متابولیسم اکسین و فنول اشاره کرد (Kasraei, 1993). در پژوهشی دیگر بور باعث کاهش تعداد گلچه-های عقیم و بهبود توسعه‌ی غلاف‌ها در کلزا گردید (Nuttall et al., 1987). سیدشریفی (2016) با تحقیق بر روی سویا نشان داد که مصرف سولفات روی باعث افزایش تعداد غلاف بارور در بوته می‌شود. در آزمایشی دیگر گزارش شد که مصرف سولفات روی سبب کاهش خورجین بارور؛ ولی اسید بوریک سبب افزایش خورجین بارور در کلزا گردید (Khiavi et al., 2011).

پژوهشگران اثرات تنش کم‌آبی را در افزایش ناباروری طبق در گلرنگ (Arab et al., 2016)، سنبله و پنجه در گندم (*Triticum aestivum* L. (Hosseinpanahi et al., 2012)) و جو (*Hordeum vulgare* L.) (Karami et al., 2004) اثبات نمودند. در سویا عنصر روی باعث کاهش غلاف‌های نابارور (Seyedsharifi, 2016; Sarawgi & Rajput, 2005) شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) صفات مورد مطالعه گلرنگ تحت تأثیر آبیاری و محلول پاشی برگی در دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴
Table 3- The combined analysis of variance (means of squares) for studied characteristics of safflower affected as irrigation and leaf spraying during 2013 and 2014

منابع تغییر S.O.V	df	درجه آزادی	تعداد طبق بارور در بوته Fertile capitule per plant	تعداد طبق تبارور در بوته infertile capitule per plant	تعداد دانه در طبق Seed number per capitule	تعداد دانه در بوته Seed number per plant	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	ارتفاع بوته Plant height	درصد بویک دانه Unfilled grains per capitule
سال Year	1		78.4**	0.02 ^{ns}	125.36 ^o	179507**	97.32**	35601145**	339574150**	110.89**	3368**	9.61**
تکرار (سال) Replication (Year)	4		2.5**	0.25**	45.53 ^{ns}	54225**	220.05**	1742172**	66286402**	163.92**	388.08**	0.99**
آبیاری Irrigation	2		7.82 ^{ns}	0.13 ^{ns}	45.48 ^{ns}	19705*	30.89**	2716904**	85808148**	1.5 ^{ns}	46.97 ^{ns}	0.04 ^{ns}
سال×آبیاری Year×Irrigation	2		1.68 ^{ns}	0.06 ^{ns}	99.73*	5681 ^{ns}	24.4**	1397707**	26231509*	1.86 ^{ns}	57.95 ^{ns}	0.73*
اشتباه اصلی (a) Error (a)	8		12.35	0.09	44.42	23296	8.7	2809752	42094145	47.87	322.34	2.62
بور Boron	2		2.92 ^{ns}	0.54**	195.44**	55209**	49.68**	6149059**	12162112 ^{ns}	74.98**	24.1 ^{ns}	6.56**
آبیاری×بور Irrigation×Boron	4		3.96 ^{ns}	0.11 ^{ns}	65.81 ^{ns}	3710 ^{ns}	1.02 ^{ns}	147840 ^{ns}	5092040 ^{ns}	4.65 ^{ns}	44.3 ^{ns}	0.26 ^{ns}
سال×بور Year×Boron	2		3.26 ^{ns}	0.17*	30.89 ^{ns}	14619 ^{ns}	3.08*	283540 ^{ns}	814563 ^{ns}	8.53 ^{ns}	8.89 ^{ns}	0.16 ^{ns}
سال×آبیاری×بور Year×Irrigation×Boron	4		3.14 ^{ns}	0.01 ^{ns}	12.15 ^{ns}	2933 ^{ns}	0.41 ^{ns}	66390 ^{ns}	1160097 ^{ns}	3.21 ^{ns}	130.96 ^{ns}	0.32 ^{ns}
روی Zinc	2		11.09 ^{ns}	0.53**	296.44**	108892**	82.62**	11083516**	16641401 ^{ns}	139.68**	60.47 ^{ns}	3.56**
آبیاری×روی Irrigation×Zinc	4		5.33 ^{ns}	0.05 ^{ns}	28.93 ^{ns}	835.19 ^{ns}	1.8*	176537 ^{ns}	2938960 ^{ns}	7.04 ^{ns}	1.96 ^{ns}	0.17 ^{ns}
بور×روی Boron×Zinc	4		9.78*	0.29**	219.15**	95386**	46.57**	10358508**	9328123 ^{ns}	167.87**	117.8 ^{ns}	5.93**
آبیاری×بور×روی Irrigation×Boron×Zinc	8		2.73 ^{ns}	0.096*	38.16 ^{ns}	3491 ^{ns}	2.3**	93303 ^{ns}	3011498 ^{ns}	6.35 ^{ns}	31.26 ^{ns}	0.42*
سال×روی Year×Zinc	2		0.19 ^{ns}	0.18*	27.37 ^{ns}	3841 ^{ns}	7.9**	547798 ^{ns}	1099308 ^{ns}	8.94 ^{ns}	56.1 ^{ns}	0.26 ^{ns}
سال×آبیاری×روی Year×Irrigation×Zinc	4		1.18 ^{ns}	0.009 ^{ns}	34.57 ^{ns}	3079 ^{ns}	1.58 ^{ns}	114109 ^{ns}	2240431 ^{ns}	3.72 ^{ns}	36.7 ^{ns}	0.3 ^{ns}
سال×بور×روی Year×Boron×Zinc	4		8.94 ^{ns}	0.05 ^{ns}	23.13 ^{ns}	8117 ^{ns}	3.16**	752393**	4428705 ^{ns}	7.2 ^{ns}	38.56 ^{ns}	0.1 ^{ns}
سال×آبیاری×بور×روی Year×Irrigation×Boron×Zinc	8		1.86 ^{ns}	0.007 ^{ns}	11.69 ^{ns}	1509 ^{ns}	0.61 ^{ns}	178260 ^{ns}	10020266 ^{ns}	13.86 ^{ns}	92.66 ^{ns}	0.16 ^{ns}
اشتباه فرعی (b) Error (b)	96		3.73	0.04	30.59	4796	0.71	183465	5544591	9.26	56.81	0.19
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)			14.12	10.9	16.66	15.31	2.91	9.44	11.08	14.13	6.28	19.82

ns, * and **; non significant and significant at 1 and 5 probability levels, respectively.

ns, * and **; به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه گلرنگ در تیمارهای آبیاری در دو سال زراعی ۱۳۹۲-۹۳ و ۱۳۹۳-۹۴

Table 4- Mean comparison for studied characteristics safflower genotypes affected on irrigation treatments during 2013-2014 and 2014-2015 growing seasons

	تعداد دانه در بوته Seed number per plant	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg.ha ⁻¹)
S ₁	472.71	29.6	4796.3	22682
S ₂	449.47	28.09	4415.4	20295
S ₃	434.83	28.94	4400.5	20787
LSD _{0.05}	26.5	0.321	163.6	899.5

S₁، S₂ و S₃: به ترتیب بدون قطع آبیاری، قطع آبیاری در مرحله گلدهی و قطع آبیاری در مرحله دانه بندی

S₁, S₂ and S₃: Full irrigation, without irrigation in flowering stage, without irrigation in seed filling stage, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه گلرنگ در برهمکنش تیمارهای بور × روی در دو سال زراعی ۱۳۹۲-۹۳ و ۱۳۹۳-۹۴

Table 5- Mean comparison for studied characteristics of safflower affected on interaction of boron × zinc during 2013-2014 and 2014-2015 growing seasons

	تعداد طبق بارور در بوته Fertile capitule per plant	تعداد دانه در طبق Seed number per capitule	تعداد دانه در بوته Seed number per plant	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	
B ₁	Zn ₁	13.06	28.19	365.88	3731.3	18.72
	Zn ₂	13.02	28.83	371.83	3671.3	18.16
	Zn ₃	14.17	37.48	527.66	5232.3	24.58
B ₂	Zn ₁	13.41	29.96	395.86	3878.1	18.72
	Zn ₂	14.64	36.17	526.83	5445.8	25.09
	Zn ₃	13.3	32.36	426.23	4221.5	20.16
B ₃	Zn ₁	13.33	33.43	441.04	4458.6	21.64
	Zn ₂	14.82	37.42	553.07	5509.7	24.66
	Zn ₃	13.4	34.91	462.6	4688	22.14
LSD _{0.05}	1.49	3.79	59.4	531.7	2.58	

B₁، B₂ و B₃: به ترتیب ۰، ۳۵۰ و ۷۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم اسید بوریک. Zn₁، Zn₂ و Zn₃: به ترتیب ۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم سولفات روی

B₁, B₂ and B₃: Zero, 350 and 700 mg.kg⁻¹, Boric acid respectively. Zn₁, Zn₂ and Zn₃: Zero, 1000 and 2000 mg.kg⁻¹, Zinc sulfate, respectively.

تعداد طبق نابارور در بوته

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر ساده بور و روی، اثرات متقابل بور در روی و همچنین اثرات سه‌گانه آبیاری در بور در روی بر تعداد طبق نابارور در بوته معنی‌دار است (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه آبیاری در بور در روی نشان داد که در سطوح محلول پاشی B₂Zn₂ و B₃Zn₂ و B₁Zn₃ تعداد طبق نابارور در بوته در شرایط بدون قطع آبیاری (S₁)، به ترتیب با ۰.۲٪ و ۵.۳۵٪ و ۵.۳۵٪ نسبت به تیمار B₁Zn₁ کاهش یافت. تیمار B₁Zn₂ بیشترین تعداد طبق نابارور را دارا بود که با کلیه تیمارهای آزمایشی به جز B₂Zn₂ و B₃Zn₂ و B₁Zn₃ در یک گروه آماری قرار گرفت. همچنین

شاید بتوان مرگ یا کاهش باروری دانه‌های گرده در طبق‌های تشکیل شده در شرایط تنش را یکی از دلایل افزایش تعداد طبق غیر بارور عنوان کرد. به نظر می‌رسد حتی پرشدن دانه‌های تشکیل شده درون طبق‌ها نیز به دلیل تغییر مسیر توزیع اسیمیلات‌ها در جهت مقابله با تنش، با مشکل مواجه خواهند شد. لذا محلول پاشی عناصر ریزمغذی از طریق فعال کردن سیستم‌های دفاعی و کاهش هزینه‌های گیاه، می‌تواند اثر جبران کننده قابل ملاحظه‌ای بر پارامترهای رشدی در شرایط تنش داشته باشد و عوارض تنش کم‌آبی را کاهش دهد.

سطوح محلول پاشی B_2Zn_2 و B_3Zn_2 در تیمار S_2 به ترتیب با کاهش S_3 و $23/6\%$ و $19/74\%$ نسبت به تیمار B_1Zn_1 و در تیمار S_3 به ترتیب با کاهش $31/9\%$ و $29/96\%$ نسبت به تیمار B_1Zn_1 کمترین تعداد طبق نابارور را دارا بودند. در سطوح آبیاری S_2 و S_3 بیشترین تعداد طبق نابارور متعلق به تیمار B_1Zn_1 بود (جدول ۶).

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه گلرنگ در برهمکنش تیمارهای آبیاری \times بور \times روی در دو سال زراعی ۱۳۹۲-۹۳ و ۹۴-۱۳۹۳

Table 6- Mean comparison for studied characteristics of safflower affected on interaction of irrigation \times boron \times zinc during 2013-2014 and 2014-2015 growing seasons

		تعداد طبق نابارور در بوته Infertile capitule per plant	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	پوکی دانه (درصد) Unfilled seed per capitule (%)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg.ha ⁻¹)	
S_1	B_1	Zn_1	1.87	27.84	2.68	3870.3
		Zn_2	2.05	28.08	2.85	3966.1
		Zn_3	1.77	30.65	1.9	5570.9
	B_2	Zn_1	2.02	28.57	2.7	4232.8
		Zn_2	1.77	30.64	1.72	5593.5
		Zn_3	1.92	29.29	2.87	4488.3
	B_3	Zn_1	1.95	29.14	1.88	4829.5
		Zn_2	1.72	32.03	1.57	5778.7
		Zn_3	1.9	30.14	1.89	4836.2
S_2	B_1	Zn_1	2.33	25.74	3.22	3489.8
		Zn_2	2.05	25.4	2.85	3420
		Zn_3	1.9	29.7	1.7	5049.5
	B_2	Zn_1	1.97	25.8	2.35	3689.5
		Zn_2	1.87	31	1.7	5437.3
		Zn_3	2.02	27.03	2.35	4182.5
	B_3	Zn_1	1.88	27.5	2.03	4208.6
		Zn_2	1.78	31.6	1.55	5401.5
		Zn_3	1.88	29.01	1.86	4860.2
S_3	B_1	Zn_1	2.57	26.86	2.53	3833.7
		Zn_2	2.07	27.25	3.2	3627.9
		Zn_3	1.83	30.02	1.73	5076.4
	B_2	Zn_1	1.98	27.49	2.86	3712
		Zn_2	1.8	30.83	1.23	5306.5
		Zn_3	1.97	28.63	2.54	3993.7
	B_3	Zn_1	1.92	28.31	2.21	4337.7
		Zn_2	1.75	31.44	1.58	5348.8
		Zn_3	1.87	29.61	1.88	4367.4
LSD _{0.05}		0.263	3.42	0.757	944	

: به ترتیب ۰، ۳۵۰ و ۷۰۰ میلی گرم بر B_1 ، B_2 و B_3 و قطع آبیاری در مرحله ی دانه بندی. قطع آبیاری در مرحله ی گلدهی به ترتیب بدون قطع آبیاری، S_3 و S_2 ، S_1 :
: به ترتیب ۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم سولفات روی Zn_1 ، Zn_2 و Zn_3 کیلوگرم اسید بوریک.

B_1 ، S_1 ، S_2 and S_3 : Full irrigation, without irrigation in flowering stage, without irrigation in seed filling stage, respectively.
 Zn_1 ، Zn_2 and Zn_3 : Zero, 1000 and 2000 mg.kg⁻¹, Zinc sulfate B_2 and B_3 : Zero, 350 and 700 mg.kg⁻¹, Boric acid, respectively.

تعداد دانه در طبق

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر ساده بور، روی و اثرات متقابل بور در روی، بر تعداد دانه در طبق معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل بور در روی نشان داد که بیشترین تعداد دانه در طبق، در تیمار B_1Zn_3 مشاهده شد که با تیمارهای B_2Zn_2 ، B_3Zn_2 و B_3Zn_3 در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۵). تعداد دانه در طبق در تیمار B_1Zn_3 نسبت به تیمار محلول‌پاشی B_1Zn_1 ۳۲/۹۵ درصد افزایش نشان داد.

تعداد دانه در طبق در واقع ظرفیت مخزن‌های گیاه را مشخص می‌کند. هرچه تعداد دانه‌ها زیادتر باشد، گیاه دارای مخزن‌های بیشتری برای مواد پرورده تولیدشده است و هر عاملی که این جزء را افزایش دهد، سبب افزایش عملکرد نیز خواهد شد. افزایش تعداد دانه در اثر مصرف عناصر ریزمغذی بور و روی، ناشی از بهبود گرده‌افشانی از جمله تسهیل در حرکت دانه گرده اعلام شده است (Roshan et al., 2016). تغذیه گیاه با عنصر روی به‌دلیل افزایش ذخیره هیدروکربن دانه‌ی گرده، باعث افزایش طول عمر آن و در نتیجه موجب افزایش گرده‌افشانی و در نهایت تعداد بیشتر دانه در خورجین می‌شود (Porter, 1993). بور رشد دانه گرده به‌ویژه لوله گرده را تحریک می‌کند (Marschner, 1995). تحقیقات سایر محققان نیز نشان‌دهنده‌ی تأثیر مثبت عنصر بور بر تعداد دانه در خورجین در کلزا (Grant & Baily, 1998) و تعداد دانه در طبق در آفتابگردان (Khan et al., 2015) می‌باشد.

تعداد دانه در بوته

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های دو سال نشان داد که اثر ساده بور، روی و اثرات متقابل بور در روی بر تعداد دانه در بوته معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل بور در روی نشان داد که تیمار B_3Zn_2 بیشترین افزایش تعداد دانه در بوته (۳۳/۸۵ درصد) را نسبت به تیمار محلول‌پاشی B_1Zn_1 نشان داد (جدول ۵). تعداد دانه در یک بوته، در واقع نتیجه حاصل ضرب تعداد طبق در بوته و متوسط تعداد دانه در هر طبق است که نقش مهمی در تعیین عملکرد دانه ایفا می‌کند. بذور تولید شده به‌وسیله گیاهان وابسته به تشکیل گل‌های کافی، باروری کافی آنها و پر شدن بذور با عناصر غذایی کافی و مناسب می‌باشند. تحقیقات نشان داده است که

برای رسیدن به این نتایج نیاز به ذخیره‌ی کافی عنصر بور در گیاه است. کمبود عنصر بور به‌شدت بر نقاط رشدی انتهایی و گلدهی گیاه تأثیر می‌گذارد. تحت شرایط کمبود روی تولید ماده خشک کل قسمت هوایی گیاه کاهش می‌یابد که این به‌ویژه در ژنوتیپ‌های حساس به-علت آسیب فتواکسیداسیون ایجاد شده در اثر کمبود روی است (Ahmadi et al., 2012). گلدهی و تولید بذر در هنگام کمبود روی به‌شدت دچار اختلال می‌شود و در نتیجه تعداد دانه‌ها در بوته کاهش می‌یابد (Misagh et al., 2016؛ Ahmadi et al., 2012).

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد اثر ساده آبیاری، بور، روی، اثرات متقابل آبیاری در روی و بور در روی و اثرات سه‌گانه تیمارهای آزمایشی (آبیاری در بور در روی) بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه تیمارهای آزمایشی نشان داد که در تنش‌های S_1 ، S_2 و S_3 محلول‌پاشی موجب افزایش وزن هزار دانه شد و بیشترین وزن هزار دانه در کلیه‌ی سطوح آبیاری مربوط به سطح محلول‌پاشی B_3Zn_2 بود که در سطح S_1 با کلیه سطوح محلول‌پاشی به جز B_1Zn_1 ، B_1Zn_2 و B_2Zn_1 و در سطوح S_2 و S_3 با B_2Zn_2 ، B_1Zn_3 و B_3Zn_3 در یک گروه آماری قرار گرفتند و تفاوت معنی‌داری بین آنها مشاهده نشد (جدول ۶). همچنین در تیمارهای آبیاری S_1 ، S_2 و S_3 محلول‌پاشی B_3Zn_2 توانست به‌ترتیب ۱۰/۰۹ درصد، ۲۲/۷۶ درصد و ۱۷/۰۸ درصد وزن هزار دانه را نسبت به تیمار محلول‌پاشی B_1Zn_1 افزایش دهد.

وقتی گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد، برای این‌که از اثرات تنش خشکی فرار کند، اقدام به کوتاه کردن زندگی خود می‌کند؛ بنابراین به‌دلیل کوتاه‌تر شدن طول دوره پر شدن دانه، وزن نهایی دانه‌ها کم می‌شود. بور در تقسیم سلولی بافت‌های مریستمی، متابولیسم مواد هیدروکربن‌دار و انتقال آنها نقش دارد و از این طریق باعث افزایش درصد روغن و وزن هزار دانه می‌شود (Shorroks et al., 1997). همچنین این عنصر با ساخت پروتئین باعث افزایش تحمل کلزا در برابر تنش‌های محیطی می‌گردد که بسیار بااهمیت جلوه می‌نماید (Heydari-sharifabad, 2000). اثر روی بر وزن هزار دانه گیاه را با تأثیر این عنصر در کمک به گیاه برای تحمل شرایط نامطلوب انتهایی رشد نظیر گرما و خشکی آخر فصل مرتبط دانسته‌اند

محلول پاشی B_2Zn_2 مشاهده شد که با سطوح محلول پاشی B_1Zn_3 ، B_3Zn_3 و B_2Zn_2 اختلاف معنی داری نشان نداد. همچنین عملکرد دانه در سطوح آبیاری S_1 و S_3 با محلول پاشی تیمار B_3Zn_2 به ترتیب $49/3\%$ و $39/52\%$ و در سطح آبیاری S_2 با محلول پاشی تیمار B_2Zn_2 $55/8$ نسبت به تیمار محلول پاشی B_1Zn_1 (شاهد) افزایش نشان داد.

کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی توسط دیگر محققان نیز گزارش شده است (Movahedi-Dehnavi et al., 2007; Yari et al., 2015).

عملکرد دانه تابع اجزاء عملکرد (شامل تعداد طبق بارور، تعداد دانه در بوته و وزن هزاردانه) می باشد و تغییر در هر یک از اجزاء سبب تغییر در عملکرد خواهد شد. عناصر ریزمغذی بر وزن دانه و عملکرد دانه تأثیر بسزایی دارند (Singh et al., 1996). در این آزمایش محلول-پاشی روی و بور سبب افزایش معنی دار اجزای عملکرد شامل تعداد طبق بارور در بوته، تعداد دانه در طبق، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه شد، با توجه به اینکه عملکرد تابع اجزای عملکرد می باشد، لذا عملکرد دانه نیز با محلول پاشی بور و روی افزایش نشان داد.

عنصر بور با تأثیر در فتوسنتز باعث انتقال کربوهیدرات ها می شود و از آنجا که در پایان ذخیره این مواد در دانه صورت می گیرد، می توان اظهار نمود که محلول پاشی بور سبب افزایش عملکرد دانه می گردد، (Sangale et al., 1981; Ramesh et al., 1999) خواهد شد.

براون و همکاران (Brown et al., 1993) در توضیح نقش روی در میزان عملکرد عنوان کردند که شکل گیری اندام های زایشی نر و ماده و فرایند گرده افشانی در اثر کمبود روی، مختل می شوند که منجر به کاهش شدیدی در عملکرد می شود. آنها این امر را به کاهش تولید ایندول استیک اسید نسبت دادند. همچنین افزایش عملکرد در اثر مصرف بور می تواند به علت میزان کم بور قابل دسترس برای گیاه در خاک و نقش اساسی این عنصر در گیاه باشد که در متابولیسم گیاهی و سنتز اسیدهای نوکلئیک نقش دارد (Ghalavi et al., 2007). محققان بیان کردند که محلول پاشی عنصر روی باعث افزایش عملکرد دانه در گیاهان کنجد (Ahmadi et al., 2012)، کتان (*Linum usitatissimum* L.) (Khiavi et al., 2011)، کلزا (Ebrahimian et al., 2015) و گلرنگ (Aytac et al., 2014) (Movahedi-Dehnavi et al., 2009) گردید. همچنین اثر مثبت بور در افزایش عملکرد آفتابگردان (Khan et al., 2015)، چغندر قند

(Movahedi-Dehnavi et al., 2007). افزایش وزن هزار دانه در اثر مصرف عناصر ریزمغذی بور و روی می تواند به دلیل افزایش مواد ذخیره شده و کاهش محدودیت منبع باشد که موجب سرازیر شدن مواد پرورده به سوی دانه می شود. افزایش تعداد نیام در گیاه، تعداد دانه در نیام و وزن هزار دانه در گیاه بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) با مصرف عنصر روی، به دلیل نقش حیاتی آن در آنزیم های فعال در فرآیندهای زیستی در گیاه اعلام شده است که سبب افزایش اجزاء عملکرد می شود (Gobarah et al., 2006). ورما و همکاران (Verma et al., 2012) گزارش کردند که افزایش اجزاء عملکرد به ویژه وزن هزار دانه در خردل هندی (*Brassica juncea* L.) با مصرف بور به دلیل تأثیر مثبت آن بر افزایش میزان فتوسنتز و متابولیسم کربوهیدرات ها می باشد. افزایش وزن هزار دانه در اثر مصرف بور در آفتابگردان (Khan et al., 2015; et al., 2013; Jabeen et al., 2012) و سویا (Devi et al., 2012) و همچنین با مصرف عنصر روی در گلرنگ (Movahedi-Kamaraki & Galavi, 2012) (Aytac et al., 2014; Dehnavi et al., 2009) توسط بسیاری از پژوهشگران گزارش شده است.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده ها نشان داد که اثر ساده آبیاری، بور و روی و اثرات متقابل بور در روی بر صفت عملکرد دانه معنی دار شد (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه در تیمار S_1 مشاهده شد (جدول ۴). کاهش عملکرد دانه در تیمارهای S_2 و S_3 به ترتیب $7/94$ درصد و $8/25$ درصد نسبت به S_1 بود. مقایسه میانگین اثرات متقابل بور در روی نشان داد که تیمار B_3Zn_2 با افزایش $47/66$ درصد نسبت به تیمار آب مقطر (B_1Zn_1) بیشترین افزایش در عملکرد دانه را دارا بود که با سطوح محلول پاشی B_2Zn_2 و B_1Zn_3 در یک گروه آماری قرار گرفته و تفاوت معنی داری بین آنها مشاهده نشد (جدول ۵). مقایسه میانگین اثرات سه گانه تیمارهای آزمایشی نشان داد که در تنش های S_1 ، S_2 و S_3 محلول پاشی موجب افزایش عملکرد دانه شد و بیشترین وزن عملکرد در سطوح آبیاری S_1 و S_3 مربوط به سطح محلول پاشی B_3Zn_2 بود که در سطح S_1 با سطوح محلول پاشی B_1Zn_3 و B_2Zn_2 و B_3Zn_3 و در سطح S_3 با سطوح محلول پاشی B_2Zn_2 و B_1Zn_3 در یک گروه آماری قرار گرفتند و تفاوت معنی داری بین آنها مشاهده نشد (جدول ۶). در سطح آبیاری S_2 بالاترین عملکرد دانه در تیمار

تغییر اندکی می‌نماید (Eshghizadeh & Ehsanzadeh, 2009). افزایش شاخص برداشت در اثر محلول‌پاشی روی و منگنز در برخی ارقام گلرنگ (Aytac et al., 2014؛ Movahedy Dehnavy et al., 2007) و همچنین با مصرف عنصر ریز مغذی بور در گیاهان آفتابگردان (Khan et al., 2015) و یونجه (Dordas, 2006b) نتایج آزمایش ما را تأیید می‌نماید. بهبود تسهیم ماده خشک به ساختارهای زایشی دانه (بهبود شاخص برداشت) از جمله صفاتی است که می‌تواند باعث بهبود عملکرد دانه شود. بنابراین چنین به نظر می‌رسد که افزایش مصرف بور و روی در شرایط تنش خشکی، باعث بهبود توزیع نسی فرآورده‌های فتوسنتزی، بین مخازن اقتصادی (دانه‌ها) و در نتیجه شاخص برداشت باشد.

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که ارتفاع بوته تحت تاثیر هیچ یک از تیمارهای آزمایشی و اثرات متقابل آنها قرار نگرفت. (جدول ۳). عدم تاثیر تیمارهای مختلف بر ارتفاع به این علت است که گیاه در زمان اعمال تیمارهای آزمایشی که در این آزمایش مرحله‌ی ۵۰٪ گلدهی می‌باشد، به حداکثر میزان ارتفاع خود رسیده، بنابراین اعمال تیمارها تغییری در ارتفاع بوته ایجاد نمی‌کند. در گلرنگ ارتفاع بوته قبل از مرحله زایشی تعیین گردیده، با شروع مرحله زایشی و شکفتن گل‌ها رشد طولی متوقف می‌گردد (Shrestha et al., 2006; Farokhinia et al., 2012)، بنابراین اعمال تیمارها در مرحله‌ی زایشی تغییری در ارتفاع بوته ایجاد نمی‌نماید.

درصد پوکی دانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر اصلی بور و روی، اثرات متقابل بور در روی و اثرات سه‌گانه آبیاری در بور در روی بر درصد پوکی دانه معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه‌ی میانگین اثرات سه‌گانه‌ی آبیاری در بور در روی نشان داد که حداقل پوکی دانه در سطوح آبیاری S_1 و S_2 در تیمار B_3Zn_2 مشاهده شد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۴۹/۴۱ درصد و ۹/۵۱ درصد کاهش نشان دادند. همچنین در سطح آبیاری S_3 حداقل پوکی دانه در تیمار B_2Zn_2 (با کاهش ۵/۵۱ درصد نسبت به شاهد) مشاهده شد که با سطوح B_3Zn_2 و B_1Zn_3 تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶). به نظر می‌رسد که محلول‌پاشی در مرحله گلدهی موجب افزایش

(Dordas et al., 2007) (*Beta vulgaris* L.) پنبه (*Gossypium herbaceum* L.) (Dordas, 2006a) و یونجه (Dordas, 2006b) نتایج این آزمایش را تأیید می‌کند.

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر ساده آبیاری بر صفت عملکرد بیولوژیک معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار بدون قطع آبیاری مشاهده شد (جدول ۴). سطوح آبیاری S_2 و S_3 عملکرد بیولوژیک را به ترتیب ۱۰/۵۳ و ۸/۳۶ درصد نسبت به S_1 کاهش دادند. کاهش میزان کربوهیدرات‌ها و کاهش تولید ماده‌ی خشک گیاه، از اثرات قطعی افزایش تنش خشکی می‌باشد (Keatinge and Cooper, 1984; et al., 1984). کاهش عملکرد بیولوژیک ناشی از کاهش تجمع ماده خشک بوده است. از آنجایی که در مرحله‌ی گلدهی نیز گیاه تجمع ماده خشک را ادامه می‌دهد، قطع آبیاری در این مرحله باعث آسیب بیشتری به روند تجمع ماده خشک و در نهایت عملکرد بیولوژیک می‌گردد، درحالی که با قطع آبیاری در مراحل دانه‌بندی خسارت کمتر می‌شود. پژوهشگران دیگر با مطالعه در گیاهان گلرنگ (Yari et al., 2012; Mohsennia & Jalilian, 2015) و آفتابگردان (Allahdadi et al., 2014) اعلام نمودند که محدودیت آب اثر منفی بر تجمع ماده خشک دارد.

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر ساده بور و روی و اثرات متقابل بور در روی بر صفت شاخص برداشت معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین شاخص برداشت در تیمار B_2Zn_2 (با افزایش ۲/۳۴ درصد نسبت به تیمار B_1Zn_1) مشاهده شد که با سطوح B_3Zn_2 و B_1Zn_3 تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵). شاخص برداشت به‌عنوان یک خصوصیت فیزیولوژیک، پتانسیل گیاه در اختصاص مواد فتوسنتزی به دانه را نشان می‌دهد. در واقع شاخص برداشت، معیاری از کارایی انتقال مواد فتوسنتزی تولید شده در گیاه به دانه است. عدم تغییر شاخص برداشت در اثر تنش آبی توسط محققان دیگر در گلرنگ گزارش شده است (Farid & Ehsanzadeh, 2006). به نظر می‌رسد در مدیریت نوین گیاهان زراعی شاخص برداشت یک رقم معین، صفت ثابتی است که حتی در شرایط تنش

به نظر می‌رسد که محلول پاشی بور و سولفات روی تا حدی از خسارت وارده می‌کاهد.

اثر سال بر صفات مورد مطالعه

اثر سال بر کلیه صفات مورد بررسی در این آزمایش به‌استثنای تعداد طبق نابارور در بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین صفات مورد بررسی (جدول ۷) نشان داد که در سال دوم، صفات تعداد طبق بارور در بوته، دانه در طبق، دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و ارتفاع بوته به‌ترتیب ۱۰/۱۷٪، ۵/۴۵٪، ۱۵/۹٪، ۵/۵۲٪، ۲۳/۰۴٪، ۱۴/۶۲٪، ۸/۰۲٪ و ۷/۱۹٪ نسبت به سال اول افزایش نشان دادند. درصد پوکی دانه نیز در سال دوم ۱۹/۶۷٪ نسبت به سال اول کاهش نشان داد. به‌عبارت دیگر، در سال دوم کلیه صفات نسبت به سال اول برتری داشتند.

میزان تلقیح شده و تعداد دانه‌های مغزدار به علت افزایش مواد فتوسنتزی افزایش یافته، در نتیجه درصد دانه‌های پوک در طبق کاهش می‌یابد. برمکی و همکاران به این نتیجه رسیدند که محلول پاشی با عناصر بور، روی اثر معنی‌داری بر کاهش درصد پوکی دانه آفتابگردان داشته است (Kiran et al., ۲۰۱۴؛ Barmaki et al., 2010). با توجه به این که در شرایط تنش خشکی نیز محلول پاشی عناصر توانسته پوکی دانه‌ها را به میزان قابل توجهی کاهش دهد، می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط تنش خشکی عناصر ریزمغذی می‌توانند در تنظیم اسمزی نقش داشته باشند. از طرف دیگر مصرف ریزمغذی‌ها، سبب افزایش دوام سطح برگ و تولید مواد فتوسنتزی بیشتر می‌شود که این امر نیز در کاهش درصد پوکی دانه‌ها می‌تواند موثر واقع شود. روی در تنظیم آب گیاه مؤثر است و یکی از دلایل پوکی کاهش میزان آب است (Salardini, 2007). در هنگام تنش خشکی از بین رفتن دانه‌ی گرده و عدم تلقیح از عوامل ایجاد پوکی

جدول ۷- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه گلرنگ در سال‌های زراعی ۱۳۹۲-۹۳ (سال اول) و ۱۳۹۳-۹۴ (سال دوم)

Table 7- Mean comparison for studied characteristics of safflower during 2013-2014 (the first year) and 2014-2015 (the second year) growing seasons

تیمار Treatment	تعداد طبق بارور در بوته Fertile capitule per plant	تعداد طبق نابارور در بوته Infertile capitule per plant	تعداد دانه در طبق Seed number per capitule	تعداد دانه در بوته Seed number per plant	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	عملکرد دانه کیلوگرم در هکتار Seed yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک کیلوگرم در هکتار Biological yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	درصد پوکی دانه Unfilled grains per capitule (%)
سال اول The first year	12.99	1.95	32.31	419.05	28.1	4068.6	19807.5	20.71	115.48	2.44
سال دوم The second year	14.38	1.93	34.07	485.62	29.65	5006.17	22703.1	22.37	124.6	1.96
LSD _{0.05}	0.603	0.066	1.73	21.6	0.262	134	734	0.949	2.35	0.136

تیمارهای آبیاری (به‌دنبال وقوع بارندگی در زمان اعمال تنش در شهریور ۱۳۹۴) بین کرت‌های اصلی در مزرعه شرایط یکنواختی ایجاد شد. علاوه بر آن بارندگی‌های فراوان و خنک‌تر بودن هوا در زمان اعمال تنش در سال دوم اجرای آزمایش نسبت به سال اول باعث طولانی‌تر شدن طول دوره زایشی و تعداد روز تا دانه‌بندی و رسیدگی گردیدند. این عوامل منجر به برتری صفات مورد بررسی در سال دوم اجرای آزمایش نسبت به سال اول شد.

میانگین درجه حرارت و بارندگی در طی فصل رشد در سال ۱۳۹۳ به‌ترتیب ۱۷/۳ درجه سانتی‌گراد و ۲۹ میلی‌متر و در سال ۱۳۹۴ به‌ترتیب ۱۷ درجه سانتی‌گراد و ۲۴/۱ میلی‌متر بود (جدول ۱). به‌علت وجود بارندگی‌های زیاد در زمان اعمال تنش در دوره گلدهی و دانه‌بندی (در شهریور ماه ۹۴) کلیه صفات مورد بررسی در سال دوم اجرای آزمایش تحت تأثیر تیمارهای آبیاری قرار نگرفتند. با توجه به اینکه تنش عموماً اثر مخرب و منفی بر عملکرد، اجزاء عملکرد و دیگر صفات مورد بررسی در این آزمایش دارد، به‌دلیل عدم تأثیر

جدول ۸- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و اجزای عملکرد گلرنگ در دو سال زراعی ۱۳۹۲-۹۳ و ۱۳۹۳-۹۴
 Table 8- Correlation coefficients between seed yield, biological yield, harvest index and yield components in safflower during 2013-2014 and 2014-2015 growing seasons

	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	ارتفاع بوته Plant height	پوکی دانه Hollow grains	شاخص برداشت Harvest index	وزن هزار دانه 1000-seed weight	تعداد دانه در بوته Seed number per plant	تعداد دانه در طبق Seed number per capitule	تعداد طبق نابارور در بوته Infertile capitule per plant
عملکرد دانه Seed yield	0.47**	1							
ارتفاع بوته Plant height	0.25**	0.35**	1						
پوکی دانه Hollow grains	-0.26**	-0.56**	-0.17*	1					
شاخص برداشت Harvest index	-0.26**	0.73**	0.2*	-0.41**	1				
وزن هزار دانه 1000-seed weight	0.29**	0.57**	0.18*	-0.35**	0.4**	1			
تعداد دانه در بوته Seed number per plant	0.35**	0.83**	0.25**	-0.51**	0.62**	0.22**	1		
تعداد دانه در طبق Seed number per capitule	0.27**	0.59**	0.19*	-0.4**	0.43**	0.26**	0.73**	1	
تعداد طبق نابارور در بوته Infertile capitule per plant	-0.15 ^{ns}	-0.28**	0.009 ^{ns}	0.34**	-0.18*	-0.39**	-0.23**	-0.32**	1
تعداد طبق بارور در بوته Fertile capitule per plant	0.21**	0.5**	0.13 ^{ns}	-0.27**	0.38**	0.01 ^{ns}	0.58**	-0.12 ^{ns}	0.05 ^{ns}

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

نتیجه گیری

به طور کلی، تیمارهای B_2Zn_2 و B_3Zn_2 در شرایط تنش در مرحله گلدهی (به ترتیب با افزایش عملکرد ۵۴/۸٪ و ۵۵/۸٪ نسبت به تیمار بدون محلول پاشی) و دانه بندی (به ترتیب با افزایش عملکرد ۳۹/۵٪ و ۳۸/۴٪ نسبت به تیمار بدون محلول پاشی) توانستند تا حدود زیادی خسارت ناشی از محدودیت آب را در گلرنگ را جبران کنند.

نتایج به دست آمده به وضوح نشان داد که عملکرد دانه با صفاتی همچون ارتفاع بوته، تعداد طبق بارور در بوته، تعداد دانه در طبق، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت همبستگی مثبت و معنی دار و با تعداد طبق نابارور در بوته و درصد پوکی دانه همبستگی منفی و معنی دار داشت (جدول ۸). وجود همبستگی معنی دار بین عملکرد و سایر صفات مورد مطالعه نشان داد که محلول پاشی عناصر ریزمغذی اگر در زمان مناسب و به مقدار بهینه

منابع

- Aggrawal, P.K., Khanna Chopra, R., and Sinha, S.K. 1984. Changes in leaf water potential in relation to growth and dry matter production. In the Chickpea pp.168-169. C.A.B. International, UK.
- Aghighi-Shahverdikandi, M., Khodadadi, A.R., and Heidari, F. 2012. Evaluation of Boron foliar application and irrigation withholding on qualitative traits of safflower. International Journal of Farming and Allied Sciences 1(1): 16-19.
- Ahmadi, J., Seyfi, M.M., and Amini, M. 2012. Effect of spraying micronutrients Fe, Zn and Ca on grain and oil yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties. Electronic Journal of Crop Production 5(3): 115-130. (In Persian with English Summary)
- Ahmadi, M. 2010. Effect of zinc and nitrogen fertilizer rates on yield and yield components of oil seed rape (*Brassica napus* L.). World Applied Sciences Journal 10(3): 298-303.
- Alahdadi, I., Oraki, H., and Parhizkar-Khajani, F. 2014. Changes in morphological and physiological characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to the water deficit stress. African Journal of Agricultural Research 9(30): 2324-2331.
- Alloway, B.J. 2004. Zinc in Soils and Crop Nutrition. International Zinc Association (IZA). Belgium, 128 p.
- Arab, S., Baradaran-Firouzabadi, M., Asghari, H.R., Gholami, A., and Rahimi, M. 2016. The effect of ascorbic acid and sodium nitroprusside foliar application on seed yield, oil and some agronomical traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water deficit stress. Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences 9(1): 69-87. (In Persian with English Summary)
- Arnon, I. 1972. Crop Production in Dry Areas. Vol. II: Systematic treatment of the principal crops. Leonard Hill, London.
- Ashri, A., Zimmer, D.E., Urie, A.L., Cahaner, A., and Marani, A. 1974. Evaluation of the world collection of safflower, *Carthamus tinctorius* L. IV. Yield and yield components and their relationships. Crop Science 14: 799-802.
- Aytac, Z., Gurmezoglu, N., Sirel, Z., Tolay, I., and Torun, A.A. 2014. The Effect of zinc on yield, yield components and micronutrient concentrations in the seeds of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 42(1): 202-208.
- Azizi, K., Norouziyan, A., Heidari, S., and Yaghoubi, M. 2010. The study of effect of zinc and boron foliar application on yield, yield components, seed oil and protein content and growth indices of rapeseed (*Brassica napus* L.) in

مصرف گردد، در القای مقاومت به خشکی گیاه اثر خواهد گذاشت. محلول پاشی روی، بور و توام روی و بور در شرایط تنش خشکی توانست باعث بهبود عملکرد و اجزای عملکرد و درصد روغن و پروتئین در کجند شود (Misagh et al., 2016). این مطلب را پژوهشگران در گلرنگ (Movahedi-Aghighi et al., 2012)؛ گندم (Dehnavi et al., 2007، آفتابگردان (Saeed et al., 2015)، گندم (Karim et al., 2012) و یونجه (Gerewal & Williams, 2000) نشان دادند. پژوهش های بیشتری در راستای تعیین زمان دقیق، مقدار مصرف بهینه و شکل فرمولاسیون مناسب کاربرد عناصر ریزمغذی بور و روی جهت بهبود قابلیت تحمل تنش خشکی انتهای فصل در محصولات زراعی به ویژه گلرنگ بهاره مورد نیاز خواهد بود.

- Khorramabad climatic conditions. *Journal of Agronomy Science* 4(5): 2-16. (In Persian with English Summary)
- Banks, L.W. 2004. Effect of timing of foliar zinc fertilizer on yield component of soybeans. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 22: 226-231.
- Barmaki, Y., Jalili, F., Eivazi, A.R., and Rezaei, A. 2010. Effects of foliar application of zinc, iron and boron on yield and quality of two cultivars of sunflower oil. *Journal of Research in Crop Sciences* 2(6): 13-26. (In Persian with English Summary)
- Bellaloui, K.N., Reddy, A.M., and Abel, C.A. 2010. Nitrogen Metabolism and Seed Composition as Influenced by Foliar Boron Application in Soybean. *Plant and Soil* 336: 143-155.
- Bowyzys, T., and Krauz, A. 2000. Effect of boron fertilizers yield content and uptake of boron by spring oil seed rape variety star. *Rosliny Oleiste* 21: 813-817.
- Boyer, J.S. 1982. Plant productivity and the environment. *Science* 218: 443-448.
- Brown, P.H., Cakmak, I., and Zhang, Q. 1993. Form and function of zinc plants. In: Robson, A.D., (Ed.). *Zinc in Soils and Plants*. Springer Netherlands, p. 93-106.
- Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil* 302(1-2): 1-17.
- Champolivier, L., and Merrien, A. 1996. Effects of water stress at different growth stages of *Brassica napus* L. var. *oleifera* on yield, yield components and seed quality. *European Journal of Agronomy* 5: 153-160.
- Dajue, L., and Mundel, H.H. 1996. Safflower. International plant genetic resources institute, Rome, Italy. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd Ed. Academic Press, 890 p.
- Devi, K.N., Singh, L.N.K., Singh, M.S., Singh, S.B., and Singh, K.K. 2012. Influence of sulphur and boron fertilization on yield, quality, nutrient uptake and economics of soybean (*Glycine max* L.) under upland conditions. *Journal of Agricultural Science* 4 (4) : 1-10.
- Dordas, C. 2006a. Foliar boron application affects lint and seed yield and improves seed quality of cotton grown on calcareous soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 76: 19-28.
- Dordas, C. 2006b. Foliar boron application improves seed set, seed yield, and seed quality of alfalfa. *Agronomy Journal* 98: 907-913.
- Dordas, C., Apostolides, G.E., and Goundra, O. 2007. Boron application affects seed yield and seed quality of sugar beets. *Journal of Agricultural Science* 145: 377-384.
- Ebrahimian, E., Baybordi, A., Seyyedi, S.M., and Mohammadi Kia, R. 2015. Effects of nitrogen, zinc and water salinity levels on yield, quality indices and nutrient uptake in canola (*Brassica napus* L.) Okapi variety. *Journal of Agroecology* 7(1): 120-126. (In Persian with English Summary)
- Eshghizade, H.R. and Ehsanzadeh, P. 2009. Maize hybrids performance under differing irrigation regimes: 1-chlorophyll fluorescence, growth and grain yield. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 40: 144-135. (In Persian with English Summary)
- Farid, N., and Ehsanzadeh, P. 2006. Yield and yield components of spring sown safflower genotypes and their response to shading on inflorescence and the adjacent green tissue in Isfahan. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 10: 189-199. (In Persian with English Summary)
- Farokhinia, M., Roshdi, M., Pasban-Eslam, B., and Sasandoust, R. 2011. Study of some physiological traits and yield in spring safflower under water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science* 42: 545-553. (In Persian with English Summary)
- Galavi, M., Heidari, M., and Zamani, M. 2007. Effects of zinc sulphate spray on quality, yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Plant Nutrition* 18(1): 179-200.
- Gobarah, M.E., Mohamed, M.H., and Tawfik, M.M. 2006. Effect of phosphorus fertilizer and foliar spraying with zinc on growth, yield and quality of groundnut under reclaimed sandy soils. *Journal of Applied Science Research* 2(8): 491-496.
- Grant, C.A., and Baily, L.D. 1998. Fertility management in canola production. *Canadian Journal of Plant Science* 73(3): 651-670.
- Grewal, H.S., and Williams, R. 2000. Zinc nutrition affects alfalfa response to water stress and excessive moisture. *Journal of Plant Nutrition* 23: 942-962.
- Guertal, E.A. 2004. Boron fertilization of bentgrass. *Crop Science* 44: 204-208.
- Heydari-sharifabad, H. 2000. Plants, drought and famine. Ministry of Agriculture. Teaching and Research Department

- of Forests and Range. Publication No. 250 (In Persian)
- Hosainpanahi, F., Kafi, M., Parsa, M., Nasiri-mahalati, M., and Banayan, M. 2012. The evaluation of yield and yield component of tolerant and sensitive wheat cultivar subjected to water deficit stress used by penmon montith model. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences* 4(1): 47-63. (In Persian with English Summary)
- Jabeen, N., Ahmad, R., Soltana, R., and Saleem, R. 2013. Investigation on foliar spray of boron and manganese on oil content and concentrations of fatty acids in seeds of sunflower plant raised through saline water irrigation. *Journal of Plant Nutrition* 36 (6): 1001-1011.
- Kamaraki, H., and Galavi, M. 2012. Evaluation of Fe, B and Zn spraying on safflower quantitative and qualitative traits. *Journal of Agroecology* 4(3): 201-206. (In Persian with English Summary)
- Karami, A., Ghanadha, M., Naghavi, M.R., and Mardi, M. 2004. The evaluation of resistance to drought in barley. *Journal of Agricultural Science* 1(3):547-560.
- Karim, R., Zhang, Y.Q., Zhao, R.R., Chen, X.P., Zhang, F.S., and Zou, C.Q. 2012. Alleviation of drought stress in winter wheat by late foliar application of zinc, boron, and manganese. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 175(1): 142-151.
- Kasraei, R. 1993. Summary of Plant Nutrition Science. Tabriz University Press, Tabriz, Iran. 120 pp. (In Persian)
- Keatinge, J.D.H., and Cooper, P.J.M. 1984. Physiological and moisture use studies on growth and development of winter sown chickpea. In Saxena: M.C. and Singh, K.B. (eds). *Ascochyta blight and winter sowing of chickpeas. World crops: production, utilization, description* pp. 141-177.
- Khan, I., Anjum, S.A., Qardi, R.W.K., Ali, M., Chattha, M.U., and Asif, M. 2015. Boosting achene yield and yield related traits of sunflower hybrids through boron application strategies. *American Journal of Plant Sciences* 6: 1752-1759.
- Khiavi, M., Khorshidi, M.B., Ismaeili, M., Azarabadi, S., Faramarzi, A., and Emaratpardaz, J. 2011. Effect of foliar application of boron and zinc on yield and some qualitative characteristics of two rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Jornal of Water and Soil Science* 1(3): 31-45. (In Persian with English Summary)
- Kiran, S.P., Paramesh, R., Nishanth, G.K., Channakeshava, B.C., and Niriranjana-Kumara, B. 2014. Influence of seed pelleting on crop growth and seed yield in sunflower hybrid seed production of KBSH-53 (*Helianthus annus* L.). *International Journal of Advances in Pharmacy, Bilogy and Chemistry* 3(2): 391-394.
- Lewis, D.C., and McFarlane, J.D. 1986. Effect of foliar applied manganese on the growth of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and the diagnosis of manganese deficiency by plant tissue and seed analysis. *Australian Journal of Agricultural Research* 37: 567-572.
- Mandal, B., Hazra, G.C., and Mandal, L.N. 2000. Soil management influence on zinc dsorptions for rice and maize nutrition. *Soil Science Society of America Journal* 64(5): 1699-1705.
- Marschner, H. 1995. Functions of mineral nutrients: macronutrients. *Mineral nutrition of higher plants* 2nd Edition. Academic Press, New York. P. 299-312.
- Mekki, B.B., El-Kholy, M.A., and Mohamed, E.M. 1999. Yield, oil and fatty acid contents as affected by water deficit and potassium fertilization in two sunflower cultivars Egypt. *Journal of Argonomy* 21: 67-85.
- Misagh, M., Movahedi-Dehnavi, M., Yadavi, A.R., and Khadem-Hamze, H.R. 2016. Improvement of yield, oil and protein percentage of sesame under drought stress by foliar application of zinc and boron. *Electronic Journal of Crop Production* 9(1): 163-180. (In Persian with English Summary)
- Mohsennia, O., and Jalilian, J. 2012. Effects of drought stress and ertilizer sources on yield and yield components of safflower (*Crathamus tinctorius* L.). *Journal of Agroecology* 4(3): 235-245. (In Persian with English Summary)
- Moradi-Telavat, M.R., and Siadat, S.A. 2013. *Introduaction to Oilseed Plants Production*. Agricultural Extension and Education Publications. Pp. 375.
- Moradi-Telavat, M.R., Roshan, F., and Siadat, S.A. 2015. Effect of foliar application of zinc sulfate on minerals contenet, seed and oil yields of two safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences* 17(2): 153-164. (In Persian with English Summary)
- Movahedi- Dehnacvi, M., and Modares-Sanavi, A.M. 2007. Effect of Zn and Mn micro nutrients foliar application on yield and yield components of three winter safflower under drought stress in Isfahan. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 13(2): 1-11. (In Persian with English Summary)
- Nam, N.H., Chauhan, Y.S., and Johansen, C. 1993. Comparison of extra-short-duration pigeonpea with short-season legumes under rainfed conditions on alfisols. *Experimental Agriculture* 29: 307-316.

- Nuttall, W.F., Ukrainetz, H., Stewart, J.W.B., and Spurr, D.T. 1987. The effect of nitrogen, sulfur and boron on yield and quality of rapeseed (*Brassica napus* L. and *Brassica campestris* L.). Canadian Journal of Soil Science 67: 545-559.
- Porter, P.M. 1993. Canola response to boron and nitrogen grown on the southeastern Coastal plain. Journal of Plant Nutrition 16(12): 2371- 2381.
- Pratima, S., Sharma, C., Chatterjee, C., and Sinha, P. 1999. Seed quality of sesame (*Sesamum indicum* L.) as influenced by boron nutrition. Indian Journal of Agricultural Science 1: 14-17.
- Purdad, S.S. 2007. Safflower. Center of Mehr Publication, Iran 123 pp. (In Persian)
- Ramesh, S., Raghbir, S., Mohinder, S., Sharam, R., Singh, R., and Singh, M. 1999. Effect of P, Fe on the yield of sunflower. Annals Agricultural Research 4: 445-450.
- Ravi, S., Channal, H.T., Hebsur, N.S., Patil, B.N., and Dharmatti, P.R. 2008. Effect of sulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Karnataka Journal of Agricultural Sciences 32: 382-385.
- Roshan, F., Moradi-Telavat, M.R., and Siadat, S.A. 2016. Effects of foliar application of zinc sulfate on minerals content, seed and oil yields of two safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). Iranian Journal of Crop Sciences 17(4): 1063-1074. (In Persian with English Summary)
- Saeed, U., Sher, A., Hussain, S., Khan, A., Ameen, A., jincai, L., and Shakoore, A. 2015. Impact of foliar application of boron on growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under different irrigation conditions. Academia Journal of Agricultural Research 3(9): 219-225.
- Salardini, A.A. 2007. Soil Fertility. University of Tehran Press, Tehran, Iran. 432 p. (In Persian)
- Sangale, P.B., Palit, G.D., and Daftardar, S.Y. 1981. Effect foliar application of zinc, iron and boron on yield of safflower. Journal of Maharashtra Agriculture University 6: 65-66.
- Sarawgi, S.K., and Rajput, R.S. 2005. Effect of phosphorus, zinc and PSM on growth and yield of soybean in vertisols of Chhattisgarh plain. Annual Agricultural Research 26 (2): 302–305.
- Selote, D.S., and Khana-Chopra, R. 2004. Drought-induced spikelet sterility is associated with an inefficient antioxidant defence in rice plants. Physiologia Plantarum 121: 462-467.
- Seyedsharifi, R. 2016. Application of biofertilizers and zinc increases yield, nodulation and unsaturated fatty acids of soybean. Zemdirbyste-Agriculture 103(3): 251-258.
- Shirani-Rad, A.H. 2003. Crop Physiology. Artistic and Cultural Institute Dibagaran Tehran, Tehran, Iran. 360 p. (In Persian)
- Shorrocks, V.M. 1997. The occurrence and correction of boron deficiency. Plant and Soil 193: 121–148.
- Shrestha, R., Turner, N.C.M., Siddique, K.H., Turner, D.W., and Speijers, J. 2006. A water deficit during pod development in lentils reduces flower and pod number but not pod size. Australian Journal of Agricultural Research 57(4): 427-438.
- Singh, R., Sharma, R.K., and Singh, M. 1996. Effect of P, Zn, Fe, CaCO₃, and farmyard manure application on yield and quality of sunflower. Annals of Biology Ludhiana 12: 203-208.
- Verma, C.K., Prasad, K., and Yadav, D. 2012. Studies on response of sulphur, zinc and boron levels on yield, economics and nutrients uptake of mustard (*Brassica napus* (L.) Czernj & Cosson). Crop Research 44(1-2): 75-78.
- Yari, P., Keshtkar, A.H., and Sepehri, A. 2015. Evaluation of water stress effect on growth and yield of spring safflower. Plant Production Technology 14(2): 101-117. (In Persian with English Summary)



Effect of Foliar Spray of Boron and Zinc on the Yield and Yield Components of Spring Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Late-Season Water Limitation

S. Soheili-Movahhed¹, S. Khomari^{*2}, P. Sheikhzadeh³ and B. Alizadeh⁴

Submitted: 16-01-2017

Accepted: 04-04-2017

Soheili-Movahhed, S., Khomari, S., Sheikhzadeh, P., and Alizade, B. 2018. Effect of foliar spray of Boron and Zinc on the yield and yield components of spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under late-season water limitation. Journal of Agroecology. 10(3): 823-840.

Introduction

The stable nature of plants constantly makes them to expose to a variety of environmental conditions that are often stressful and undesirable. Drought or water deficit stress is the most important environmental factor which has severe negative impacts on crops yield, especially when the water deficit stress occurs in the flowering stage, it will affect the crop production. The nutritional imbalance in plants is one of the effects of drought stress. Proper plants nutrition under stress conditions may partially help plants against various stresses. The growth and yield of plants under stress conditions can be improved by spraying foliar micro nutrients. Boron is essential for protein synthesis, seed and cell wall formation, pollen germination and pollen tube growth. Zinc application has a significant impact on basic plant processes such as metabolism and nitrogen uptake, improving the quality of protein structure, photosynthesis, resistance to biotic and abiotic stresses in plants and their protection against oxidative damage. The aim of this study was to investigate the effects of foliar spray of boron and zinc on yield and yield components of spring safflower (cv. Mahallie Esfahan) under late-season water deficit in Ardabil province.

Materials and Methods

The field experiment was conducted at the Research Farm of the University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran in 2014 and 2015. The experimental arrangement was split factorial based on a randomized complete block design with three replications. The main-plot factor consisted of three levels of water treatments (S₁: full irrigation until end of season, S₂: without irrigation in flowering, S₃: without irrigation in seed filling) and the sub-plot factor included factorial combination of Boron (B₁: 0, B₂: 350, B₃: 700 ppm) and Zinc (Z₁: 0, Z₂: 1000, Z₃: 2000 ppm). B was added as Boric Acid (H₃BO₃) and Zn as Zinc Sulfate (ZnSO₄). The treatments were applied during anthesis (when 50% of the plants were at anthesis stage) as foliar applications (Dordas et al., 2007). All other agricultural practices (weeds control and irrigation), were performed when they were required and as recommended for safflower production. The measured traits included plant height, fertile and infertile capitules per plant, grain number per capitole and plant, unfilled grain percentage, 1000-kernel weight, grain yield, biological yield and harvest index. Analyses of variance and comparison of means at P≤0.05 were carried out, using SAS 9.1 software. The means were compared using LSD test.

Results and Discussion

Combined analysis of variance of the data showed that year was significant for all the traits (except infertile capitules per plant). During the second year, there was no significant difference among all the treatments due to heavy rainfalls. The results of the mean comparison of data showed that all parameters were superior in the second year compared to the first year. Also Seed number per plant, 1000-kernel weight, seed yield and biological yield were significantly affected by drought stress. The results demonstrated that water deficit stress at flowering and seed filling stages significantly decreased grain yield compared to full irrigation (7.94% at flowering and 8.25% at seed filling). The

1, 2 and 3- Graduate, Associate Professor and Assistant Professors Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Mohagheh ardabili University, Ardabil, Iran, respectively.

4- Associate Professor, Department of Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

(*- Corresponding Author Email: saeid.khomari@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.60741

interaction effect of Boron×Zinc was significant in all considered characteristics (except plant height and biological yield). The treatments of B_3Z_2 , B_2Z_{n2} and B_1Zn_3 had the greatest increase of these parameters in comparison with B_1Z_1 (control). The treatment of B_3Z_2 had the greatest increase (47.66%) of grain yield in comparison with B_1Z_1 (control). Under stress conditions during flowering and grain filling stages, number of infertile capitules per plant, 1000-grain weight and grain hollowness were considerably improved through micronutrients foliar application. Boron and Zinc foliar application significantly improved most traits under water stress levels.

Conclusion

The significant and positive correlation between yield and other studied traits showed that foliar application of micronutrients at the right time and at right rate mediated drought stress tolerance in safflower plants. In general, Boron and Zinc foliar application compared to the control could alleviate the drought stress damages on safflower.

Acknowledgments

We would like to thank from the Faculty of Agriculture, Mohaghegh Ardabili University, for supporting this study.

Keywords: Flowering stage, Drought stress, Micronutrients, Resistance to drought

بررسی اثر تنش خشکی و عناصر کم‌مصرف روی و منگنز روی صفات مورفولوژیک و عملکرد گیاه ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.)

اعظم گیدسکی^{۱*} و رضا برادران^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۱۳

گیدسکی، الف.، و برادران، ر. ۱۳۹۷. بررسی اثر تنش خشکی و عناصر کم‌مصرف روی و منگنز روی صفات مورفولوژیک و عملکرد گیاه ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳): ۸۴۱-۸۵۱.

چکیده

به منظور بررسی اثر دور آبیاری و محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف روی گیاه ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.) آزمایشی به صورت کرت های خرد شده، در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای در منطقه‌ی سربیشه از توابع شهرستان بیرجند در سال ۱۳۹۱ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل دور آبیاری در سه سطح (۷، ۱۴ و ۲۱ روز) و محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف به چهار روش (محلول‌پاشی منگنز، محلول‌پاشی روی، محلول‌پاشی توأم منگنز و روی و بدون محلول‌پاشی) به ترتیب به کرت‌های اصلی و فرعی اختصاص یافت. نتایج نشان داد که کاهش دور آبیاری عمدتاً از طریق افزایش صفات مورفولوژیک مانند ارتفاع گیاه، تعداد برگ در بوته، مساحت برگ پرچم، طول پدانکل و طول خوشه سبب افزایش عملکرد دانه شد. محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف روی و منگنز نیز با افزایش ارتفاع گیاه، تعداد برگ در بوته، طول پدانکل و طول خوشه سبب افزایش عملکرد دانه شد. اثر تیمار دور آبیاری بر صفت شاخص برداشت دانه در خوشه معنی‌دار بود. کاهش دور آبیاری سبب افزایش شاخص برداشت دانه در خوشه شد (۱۷/۹۶ درصد نسبت به تیمار با دور آبیاری ۲۱ روز). اثر محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف بر صفت شاخص برداشت دانه در خوشه معنی‌دار بود. تیمار محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف سبب افزایش شاخص برداشت دانه در خوشه شد. اثر متقابل دور آبیاری و محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف نیز در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار دور آبیاری ۷ روزه و محلول‌پاشی توأم منگنز و روی با ۲۲۲/۶ گرم در متر مربع بود. کم‌ترین عملکرد دانه هم مربوط به تیمار دور آبیاری ۲۱ روز و بدون محلول‌پاشی بود. کاهش دور آبیاری به ۷ روز و محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف سبب افزایش صفات مورفولوژیک، شاخص برداشت دانه در خوشه و عملکرد دانه شد. در شرایط تنش خشکی محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف روی و منگنز سبب افزایش صفات مورفولوژیک و نهایتاً عملکرد دانه گردید.

واژه‌های کلیدی: دور آبیاری، شاخص برداشت، عملکرد دانه، محلول‌پاشی

مقدمه

عامل محدودکننده در ایران بوده و این در حالی است که این بخش بیش از ۹۰ درصد از آب استحصال شده کشور را به‌خود اختصاص می‌دهد. محدودیت این نهاده با ارزش و ظرفیت‌های مناسب بخش کشاورزی موجب کاهش تولید و عملکرد محصول به‌ازای میزان آب مصرفی می‌شود (Heidarypoor et al., 2014). قاعدتاً در شرایط تنش شدید به دلیل کاهش شدید آماس سلولی، کاهش رشد و تقسیم سلول‌ها رشد رویشی گیاه کاهش می‌یابد (Rahimizadeh et al., 2012). تنش خشکی سبب کاهش تقسیم سلولی، کاهش رشد طولی

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده محیطی است که موجب کاهش عملکرد گیاهان زراعی، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان می‌شود (Dastoor et al., 2014). آب مهم‌ترین

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران

(Email: r.baradaran@yahoo.com)

*- نویسنده مسئول:

بوته سورگوم دانه‌ای (*Sorghum bicolor* L.) در تیماری که به‌وسیله منگنز و روی محلول‌پاشی شده بود به‌دست آمد (Kazemi et al., 2012). کاربرد روی اختلاف معنی‌داری در ارتفاع بوته ارزن معمولی ایجاد نمود (NejhadHosseini et al., 2011). بیشترین مقدار طول خوشه ارزن دم‌روباهی (*Setaria italic* L.) مربوط به تیماری بود که به‌صورت ترکیبی با روی و منگنز محلول‌پاشی شده بود (Asghari et al., 2012). تیمارهایی که در آن آهن، روی و منگنز به‌کار رفته بود عملکرد دانه جو (*Hodeum vulgare* L.) را به‌ترتیب ۲۰، ۱۷/۵ و ۸/۶ درصد در مقایسه با شاهد افزایش دادند (Babaeian et al., 2005). هدف از انجام این آزمایش بررسی اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف منگنز و روی و همچنین بررسی اثر متقابل این دو صفت بر روی صفات مورفولوژیک، شاخص برداشت دانه در خوشه و عملکرد دانه گیاه ارزن معمولی بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در تابستان ۱۳۹۱ در مزرعه‌ای در شهر سرپیشه با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۲ دقیقه و ۵۳ دقیقه انجام گرفت. ویژگی‌های خاک و آب محل آزمایش در جداول مربوطه آمده است.

عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح‌کننده بود. پس از مشاهده نتایج آزمایش آنالیز خاک ۶۷ کیلوگرم فسفات در هکتار به‌صورت سوپر فسفات تریپل، ۶۳ کیلوگرم پتاسیم در هکتار به‌صورت سولفات پتاسیم و ۶۱ کیلوگرم نیتروژن به‌صورت اوره به زمین افزوده شد. ۱۲۲ کیلوگرم نیتروژن در مراحل بعدی بعد از وجین به‌صورت سرک به خاک داده شد.

سلول‌ها و در نتیجه کاهش رشد گیاه می‌شود (Ghanbari et al., 2011). اعمال تنش رطوبتی به‌ویژه در مراحل نمو ارزن (از مرحله طولی شدن ساقه به بعد) باعث کاهش ارتفاع بوته و در نتیجه کاهش تولید و ذخیره مواد فتوسنتزی می‌شود (Khazaee et al., 2005). تنش رطوبتی موجب کاهش عملکرد دانه گندم (*Triticum aestivum* L.) گردید (Senoubar et al., 2011). تنش خشکی اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته گیاه ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum* L.) داشت (Keshavars et al., 2011). افزایش تنش آب موجب کاهش ارتفاع ساقه در ذرت (*Zea mays* L.) گردید (SookhtAbendani & Ramazani, 2012). کم‌آبیاری شاخص برداشت دانه در خوشه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (Seghatoleslami et al., 2005). ارزن یکی از غلات سنتی در نواحی خشک و نیمه‌خشک مناطق گرمسیری محسوب می‌شود که از تحمل بالایی نسبت به تنش خشکی و شوری برخوردار است (Khazaee et al., 2005).

علاوه بر تأمین آب، تأمین و عرضه عناصر غذایی گیاه، برای نیل به عملکرد و کیفیت مطلوب محصولات کشاورزی ضرورت کامل دارد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک نه تنها کمبود آب، بلکه کمبود عناصر غذایی قابل جذب در خاک نیز همیشه محدود‌کننده رشد گیاه می‌باشد (Karimi et al., 2005). عناصر کم‌مصرف برای رشد طبیعی گیاهان مورد نیاز هستند و ضمن شرکت در ساختار بعضی اندام‌ها در بسیاری واکنش‌های بیوشیمیایی دخالت دارند. کمبود این عناصر گاهی به‌عنوان محدود‌کننده جذب سایر عناصر غذایی و رشد می‌تواند عمل کند (Ramroodi et al., 2011). محلول‌پاشی با ترکیبی از منگنز و روی در مقایسه با سایر تیمارهای محلول‌پاشی منجر به بیشترین مقدار پارامترهای رشدی گیاه ارزن دم‌روباهی (*Setaria italic* L.) شد (Asgharipour et al., 2012). بیشترین مقدار ارتفاع

جدول ۱- نتایج آزمایش آب محل انجام آزمایش

Table 1- Water properties of the experimental site

کل مواد محلول (میلی گرم بر لیتر) TDS mg.L ⁻¹	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر (dS.m ⁻¹) EC	کاتیون‌ها (میلی‌اکی‌والان بر لیتر) (MEQ.L ⁻¹)				درصد سدیم تبادلی SAR	آنیون‌ها (میلی‌اکی‌والان بر لیتر) (MEQ.L ⁻¹)			
			K ⁺	Na ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺		SO ₄	Cl ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃
4243	7.78	6.63	0.07	48.69	13.1	10	14.36	23.06	47.2	0	1.6

جدول ۲- نتایج آزمایش خاک محل انجام آزمایش

Table 2- Soil properties of the experimental site

بافت Texture	کربن الی کاک %CO	پتاسیم (میلی گرم بر کیلوگرم K(mg.kg ⁻¹)	درصد نیتروژن %N	درصد شونده کاک %T.N.V	درصد اشباع کاک SP %SP	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر لیتر EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	عمق (سانتی متر) Depth (cm)	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم) P(mg.kg ⁻¹)
لوم- شنی Loam- sandy	0.472	220	0.034	22.07	34.4	11.95	7.79	0-30	5.00

ادامه جدول ۲- نتایج آزمایش خاک محل انجام آزمایش

Continuation table 2- Soil properties of the experimental site

درصد %			میلی گرم بر کیلوگرم mg.kg ⁻¹			
شن Sand	رس Clay	سیلت Silt	آهن Iron	مس Copper	روی Zinc	منگنز Manganese
40	12	52	2.11	0.70	0.50	9.43

درهم ضرب کرده و عدد به دست آمده را بر ۱۰ تقسیم کرده تا میانگین طول در عرض برگ پرچم به دست آید این عدد را در ۰/۷ ضرب کردیم. بدین طریق مساحت برگ پرچم اندازه گیری شد. فاصله بین خوشه و آخرین گره ساقه به عنوان طول پدانکل در نظر گرفته شد. طول پدانکل ۱۰ بوته اندازه گیری و میانگین آن‌ها به عنوان طول پدانکل درج شد. میانگین طول خوشه ۱۰ بوته هر کرت به عنوان طول خوشه ثبت شد. از ۲ متر مربع وسط هر کرت برداشت نهایی صورت گرفت. سپس دانه‌ها از اندام هوایی جدا شده و وزن آن‌ها گرفته شد. برای محاسبه عملکرد دانه در یک متر مربع عدد به دست آمده بر ۲ تقسیم شد. برای محاسبه شاخص برداشت دانه در خوشه تعداد ۱۰ خوشه را انتخاب کرده و وزن آن‌ها را اندازه گیری شد. سپس خوشه‌ها را کوبیده و دانه‌ها را جدا کرده و وزن آن‌ها یادداشت شد. شاخص برداشت از تقسیم وزن دانه ده خوشه بر وزن ده خوشه به دست آمد و عدد به دست آمده در صد ضرب شد (Seghatoleslami et al., 2005).

نتایج و بحث

عملکرد دانه

تنش خشکی توانست اختلافی در سطح یک درصد در عملکرد دانه ایجاد نماید (جدول ۳). بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب مربوط به تیمار دور آبیاری ۷ و ۲۱ روز بود. تیمار دور آبیاری ۲۱ روز

طرح آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. هر تکرار شامل سه کرت اصلی در قالب سطوح آبیاری بود (دور آبیاری ۷، دور آبیاری ۱۴ و ۲۱ روز). هر کرت اصلی نیز شامل چهار کرت فرعی بود که تیمار محلول‌پاشی با عناصر کم‌مصرف روی آن‌ها انجام گرفت (تیمار محلول‌پاشی با عناصر منگنز، روی، توام منگنز و روی و بدون محلول‌پاشی). محلول پاشی با روی و منگنز به میزان پنج در هزار در دو مرحله شامل مرحله اول یک‌ماه پس از سبز شدن و مرحله دوم زمان گل‌دهی بود.

در زمان کشت، بذور به صورت متراکم کشت شدند. پس از سبز شدن، بوته‌ها با فاصله ۲/۵ سانتی‌متری تنک شدند. به طوری که تراکم نهایی بذرها ۷۰۰۰۰ بوته در هکتار بود. به منظور تعیین ارتفاع، تعداد برگ، مساحت برگ پرچم، طول پدانکل و طول خوشه و شاخص برداشت دانه در خوشه تعداد ۱۰ نمونه از هر کرت پس از حذف اثرات حاشیه‌ای انتخاب گردید. برای اندازه‌گیری ارتفاع گیاه ده بوته از انتهای ساقه تا محل طوقه با متر اندازه‌گیری شد و میانگین آن به عنوان ارتفاع گیاه ثبت شد. تعداد برگ ۱۰ بوته از هر کرت شمارش شد و میانگین آن به عنوان تعداد برگ در بوته در نظر گرفته شد. برای محاسبه مساحت برگ پرچم طول و عرض برگ پرچم ۱۰ بوته از هر کرت به وسیله خط‌کش اندازه‌گیری شد. سپس این دو عدد را

بیشتری را تولید و در دانه‌ها به‌عنوان مخزن ذخیره نماید (Zand et al., 2009). اثر متقابل تنش خشکی و محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. در صورت وجود شرایط رطوبتی مناسب جذب و انتقال مواد غذایی با سرعت و سهولت بیشتری صورت گرفته است. به همین دلیل در شرایط دور آبیاری ۷ روز، اثر محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف بر عملکرد دانه بیشتر می‌باشد. در صورت وجود تنش خشکی نیز محلول‌پاشی تا حدودی سبب افزایش عملکرد شده است. این امر به دلیل نقش عناصر ریزمغذی در فعالیت‌های گیاهی از جمله تنفس و فتوسنتز اتفاق می‌افتد. لذا در صورت وجود تنش خشکی با انجام محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی می‌توان عملکرد دانه را بالا برد. صفت عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح ۱ درصد و ۵ درصد به ترتیب با ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، طول خوشه و طول پدانکل و نیز با مساحت برگ پرچم داشت (جدول ۵). لذا با افزایش مقادیر این صفات می‌توان عملکرد دانه را نیز افزایش داد.

نسبت به تیمار دور آبیاری ۷ روز ۴۱ درصد کاهش نشان داد. دور آبیاری ۱۴ روز نیز ۲۵/۱٪ کاهش نسبت به دور آبیاری ۷ روز داشت (جدول ۴). با افزایش تنش آبی سطح برگ‌ها، ارتفاع و تعداد برگ‌ها محدود شده و در نتیجه میزان فتوسنتز و در نهایت عملکرد و اجزای عملکرد کاهش می‌یابد. هم‌چنین تنش خشکی باعث کاهش انتقال مواد غذایی به دانه، تسریع رسیدگی دانه و کاهش فتوسنتز می‌شود، لذا عملکرد دانه کاهش می‌یابد. اثر محلول‌پاشی توأم روی و منگنز بر صفت عملکرد دانه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). محلول‌پاشی توأم روی و منگنز بیشترین عملکرد دانه (۵۰/۸٪ نسبت به تیمار شاهد) را به‌خود اختصاص داد. محلول‌پاشی با روی (با ۳۰/۶۳ درصد افزایش نسبت به شاهد) و محلول‌پاشی با منگنز (با ۲۴/۱ درصد افزایش نسبت به شاهد) در رتبه‌های دیگر قرار گرفتند. کم‌ترین عملکرد دانه (۱۱۳/۹۶ گرم در متر مربع) مربوط به تیمار شاهد بود (جدول‌های ۴ و ۵). با توجه به نقش اساسی عنصر روی در گیاه که به‌طور مستقیم در بیوسنتز مواد رشد، همانند اکسین نقش دارند، عنصر روی می‌تواند سلول‌های گیاهی بیشتر و در نتیجه مواد خشک

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اجزای عملکرد گیاه ارزن معمولی تحت تأثیر دور آبیاری و محلول‌پاشی

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) for yield components of common millet affected as irrigation regimes and spraying

منابع تغییر Source of variations	درجه آزادی Df	شاخص برداشت (دانه /خوشه) HI (seed/panicle)	عملکرد دانه Grain yield	طول پدانکل Peduncle height	طول خوشه Panicle height	مساحت برگ پرچم Area of flag leaf	تعداد برگ Number of leaf per plant	ارتفاع بوته Height of plant
تکرار Replication	2	6.84 ^{ns}	238.181 ^{ns}	1.085 ^{ns}	1.268 ^{**}	0.496 ^{ns}	0.187 ^{ns}	229.679 [*]
دور آبیاری Irrigation regimes	2	203.378 [*]	17547.861 ^{**}	17.674 [*]	5.320 ^{**}	4.081 [*]	0.902 [*]	199.205 [*]
خطای اصلی Main error	4	12.794	88.866	1.629	0.031	0.255	0.062	20.886
محلول‌پاشی Leaf spraying	3	67.805 ^{**}	5138.151 ^{**}	11.655 ^{**}	7.311 ^{**}	0.171 ^{ns}	0.985 ^{**}	117.420 ^{**}
محلول‌پاشی × دور آبیاری Leaf spraying × Irrigation regimes	6	10.52 ^{ns}	962.723 [*]	1.031 ^{ns}	0.41 ^{ns}	0.323 ^{ns}	0.094 ^{ns}	7.53 ^{ns}
خطای فرعی Sub error	18	8.224	304.844	1.319	0.670	0.547	0.160	12.681
ضریب تغییرات Cv(%)		5.767	12.146	23.16	8.109	16.94	8.74	10.39

ns, * and ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

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

ارتفاع بوته

فتوستت و کاهش جذب عناصر غذایی تعداد برگ کاهش می‌یابد. اثر محلول‌پاشی بر تعداد برگ در بوته در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین تعداد برگ با ۱۶/۸ درصد افزایش از تیماری که محلول‌پاشی توأم داشت به‌دست آمد. بین تیمارهای دیگر تفاوت معنی‌داری دیده نشد. تیماری که محلول‌پاشی نشده بود کم‌ترین تعداد برگ را به‌خود اختصاص داد (۴/۳۴ برگ در بوته) (جدول ۴). علت اصلی تعداد برگ بیشتر در تیمار محلول‌پاشی توأم روی و منگنز نقش روی و منگنز در ایجاد فتوستت مطلوب، سنتز مواد مورد نیاز گیاه و تنظیم کننده‌های رشد می‌باشد. محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف سبب افزایش تعداد برگ در بوته سورگوم دانه‌ای می‌شود (Kazemi et al., 2012). صفت تعداد برگ در بوته همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح ۱ درصد با ارتفاع بوته و طول پدانکل و همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح ۵ درصد با صفت طول خوشه داشت (جدول ۵). برگ محل انجام فتوستت در گیاه است. لذا با افزایش آن دیگر صفات مورفولوژیک نیز افزایش یافت.

مساحت برگ پرچم

تنش خشکی بر مساحت برگ پرچم اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد ایجاد کرد (جدول ۳). بالاترین مساحت برگ پرچم (۴/۸۸ سانتی‌متر مربع) مربوط به دور آبیاری ۷ روز و بعد از آن دور آبیاری ۱۴ روز (۴/۴۲ سانتی‌متر مربع) بود که با هم در یک گروه قرار گرفتند. دور آبیاری ۲۱ روزه، ۲۳/۷ درصد کاهش در مساحت برگ پرچم نسبت به تیمار با دور آبیاری ۷ روزه داشت (جدول ۴). تنش خشکی سبب می‌شود گیاه سریع‌تر وارد فاز زایشی شده و رشد برگ پرچم کامل نشود. همچنین غلظت عناصر در برگ پرچم کاهش یافته که این موضوع نیز سبب کاهش رشد برگ می‌شود. اثر محلول‌پاشی بر مساحت برگ پرچم معنی‌دار نشد (جدول ۳). احتمالاً عناصر کم‌مصرف بیش‌تر روی تعداد برگ اثر گذاشته‌اند تا مساحت برگ. صفت مساحت برگ پرچم همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح ۵ درصد با ارتفاع بوته و طول خوشه داشت (جدول ۵). افزایش یا کاهش این صفت سبب افزایش یا کاهش فتوستت در مرحله آخر رشد گیاه می‌شود. لذا با افزایش این صفت عملکرد دانه و طول خوشه افزایش می‌یابد.

اثر تنش خشکی بر ارتفاع بوته در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). تیماری که دور آبیاری ۷ روزه داشت، بیشترین ارتفاع بوته (۳۸/۵۸ سانتی‌متر) را به‌خود اختصاص داد. تیماری که دور آبیاری ۱۴ روزه داشت با ۹/۲۷ درصد کاهش ارتفاع نسبت به آبیاری مطلوب در مرتبه بعدی قرار گرفت. کم‌ترین ارتفاع بوته مربوط به تیماری بود که دور آبیاری ۲۱ روزه داشت که نسبت به تیمار آبیاری ۷ روزه ۲۱/۰۷ درصد کاهش نشان داد (جدول ۴). تنش خشکی سبب کاهش تقسیم سلولی، کاهش رشد طولی سلول‌ها و در نتیجه کاهش رشد گیاه می‌شود (Ghanbari et al., 2011) لذا ارتفاع بوته در اثر تنش خشکی کاهش می‌یابد. اثر محلول‌پاشی بر ارتفاع بوته در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). کم‌ترین ارتفاع بوته از تیمار شاهد به‌دست آمد (۳۰/۳۴ سانتی‌متر). محلول‌پاشی با روی و محلول‌پاشی با منگنز به‌ترتیب سبب ۱۱/۶ درصد و ۱۶/۸ درصد افزایش ارتفاع بوته نسبت به تیمار شاهد شدند. محلول‌پاشی ترکیبی با روی و منگنز سبب ۲۸/۶ درصد افزایش ارتفاع نسبت تیمار بدون محلول‌پاشی شد (جدول ۴). این امر به‌دلیل نقش عناصر کم‌مصرف در فرایندهای حیاتی مانند فتوستت، تنفس و فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیولوژیکی اتفاق می‌افتد (Bameri, 2012). کمبود منگنز سبب کاهش فتوستت شده لذا رشد گیاه کاهش یافته و از ارتفاع گیاه کم می‌شود. در نتیجه محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف سبب افزایش ارتفاع بوته می‌شود. صفت ارتفاع بوته همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح ۱ درصد با تعداد برگ، طول خوشه و طول پدانکل همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح ۵ درصد با صفت مساحت برگ پرچم داشت (جدول ۵). طبیعی است که افزایش ارتفاع بوته منجر به افزایش تعداد برگ در بوته و افزایش تعداد برگ در بوته سبب نیرومندتر شدن گیاه می‌شود. دلیل این امر بهتر شدن شرایط فتوستت می‌باشد.

تعداد برگ در بوته

اثر تنش خشکی بر روی صفت تعداد برگ در بوته در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). تعداد برگ در تیمارهای آبیاری ۷ و ۱۴ روزه اختلاف معنی‌دار نداشت، اما با افزایش دور آبیاری به ۲۱ روز تعداد برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (به‌میزان ۱۰ درصد) (جدول ۴). در زمان تنش رطوبتی به‌دلیل کاهش طول دوره رویشی، کاهش میزان

طول خوشه

اثر تنش خشکی بر صفت طول خوشه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیشترین طول پدانکل (۶/۶۱ سانتی‌متر) مربوط به تیماری بود که با روی و منگنز ترکیبی محلول پاشی شده بود. تیمارهای محلول‌پاشی با منگنز و محلول‌پاشی با روی ۱۰/۹ درصد و ۳/۲ درصد نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی افزایش نشان دادند (جدول ۴). این امر می‌تواند به دلیل نقش روی بر تنظیم کننده‌های رشد، مانند هورمون اکسین و نقش منگنز در تشکیل کلروفیل و آزادسازی اکسیژن فتوسنتزی باشد (Malakouti & Tehrani, 1998). در نتیجه در صورت استفاده از عناصر کم‌مصرف روی و منگنز، طول پدانکل افزایش می‌یابد. صفت طول پدانکل همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح ۱ درصد با صفت طول خوشه و صفت عملکرد دانه داشت (جدول ۵). پدانکل آخرین اندامی است که در گیاه سبز می‌ماند، لذا در مرحله آخر رشد که فتوسنتز برگ قطع شده است عمل فتوسنتز را انجام می‌دهد. پس با افزایش این صفت می‌توان طول خوشه را افزایش داد که این امر منجر به افزایش عملکرد دانه می‌شود.

شاخص برداشت دانه در خوشه

تنش خشکی بر شاخص برداشت دانه در خوشه اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد ایجاد کرد (جدول ۳). تیماری که دور آبیاری ۷ روزه داشت، بیشترین شاخص برداشت دانه در خوشه (۵۳/۴۶) را به خود اختصاص داد. تیماری که دور آبیاری ۱۴ روزه داشت، با ۵/۶ درصد کاهش در مرتبه بعدی قرار گرفت. تنش خشکی در دور آبیاری ۲۱ روزه، شاخص برداشت دانه در خوشه را ۱۵/۲ درصد کاهش داد (جدول ۴). در صورت عدم موجود آب کافی انتقال مواد به اندام زایشی و خصوصاً دانه کاهش یافته و شاخص برداشت دانه در خوشه کاهش می‌یابد. اثر محلول‌پاشی روی و منگنز بر شاخص برداشت دانه در خوشه در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین شاخص برداشت دانه در خوشه با ۱۴/۱ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد مربوط به تیماری بود که محلول‌پاشی توأم روی و منگنز داشت. بعد از آن محلول‌پاشی روی قرار داشت (۹/۱ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد). کم‌ترین شاخص برداشت دانه در خوشه (۴۶/۳۴) مربوط به شاهد بود (جدول ۴). در صورت محلول‌پاشی، به دلیل افزایش مورفولوژیک وزن دانه، تعداد دانه و در نهایت عملکرد دانه افزایش یافته و سبب افزایش شاخص برداشت دانه در خوشه می‌شود. می‌توان این افزایش را به دلیل بالا رفتن فتوسنتز و افزایش انتقال مواد تولید

طول پدانکل

تنش خشکی بر طول پدانکل اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد ایجاد کرد (جدول ۳). بیشترین طول پدانکل (۶/۱۷ سانتی‌متر) مربوط به تیماری بود که دور آبیاری ۷ روزه داشت و تیمارهای دور آبیاری ۱۴ و ۲۱ روزه به ترتیب با ۳۲/۴ درصد و ۳۹/۳ درصد کاهش در طول پدانکل در ردیف‌های بعد قرار گرفتند (جدول ۴). لذا تنش خشکی از طریق بسته شدن روزه‌ها و کاهش کربوهیدرات سبب کاهش در طول پدانکل شد. اثر محلول‌پاشی روی و منگنز بر طول پدانکل در

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده کاهش دور آبیاری با افزایش سطح فتوسنتز کننده مانند ارتفاع گیاه، مساحت برگ پرچم، طول خوشه، طول پدانکل و تعداد برگ در بوته می‌تواند سبب افزایش عملکرد دانه شود.

شده به دانه نسبت به دیگر قسمت‌های گیاه و افزایش فعالیت‌های آنزیمی و فعالیت‌های بیولوژیکی دانست. صفت شاخص برداشت دانه در خوشه همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح ۱ درصد با ارتفاع بوته، تعداد برگ، طول خوشه، طول پدانکل، مساحت برگ پرچم و عملکرد دانه داشت (جدول ۵). با افزایش صفات مورفولوژیک گیاه با قدرت بیشتری می‌تواند دانه تولید کند بنابراین شاخص برداشت دانه در خوشه افزایش می‌یابد.

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین صفات مورد بررسی تحت تأثیر تیمارهای دور آبیاری و محلول‌پاشی روی و منگنز در گیاه ارزن معمولی
Table 4- Means comparisons of plant characteristics of common millet affected as irrigation regimes and spraying of manganese and zinc

دور آبیاری Irrigation regimes	محلول‌پاشی Spraying	شاخص برداشت (دانه/خوشه) HI (seed/panicle)	عملکرد دانه Grain yield (g. m ⁻²)	طول پدانکل Peduncle height (cm)	طول خوشه Panicle height (cm)	مساحت برگ پرچم Area of flag leaf (cm ²)	تعداد برگ در بوته Number of leaf per plant	ارتفاع بوته Height of plant (cm)
۷ روزه 7 days	منگنز Manganese	52.93ab*	191.3b	5.34bcd	11.1ab	5.0a	4.35cd	39.9ab
	روی Zinc	55.1a	186.8b	6.05abc	11.0abc	4.95ab	4.53bcd	36.89abc
	منگنز+ روی Manganese+ Zinc	55.8a	222.6a	7.97a	11.6a	4.86abc	5.46a	44.0a
	بدون محلول‌پاشی No spraying	49.9bc	134.7cd	5.33bcd	9.5de	4.82abc	4.46cd	33.4bcd
۱۴ روزه 14 days	منگنز Manganese	48.5bc	125.5cde	5.04bcd	9.9bcde	27abc.4	4/86abc	13bc.36
	روی Zinc	49.08bc	141.3c	3.76de	10.8abcd	5.04a	4.5cd	32.8bcd
	منگنز+ روی Manganese+ Zinc	55.9a	177.4b	7.1ab	10.49abcd	4.38abc	5.2ab	40.8ab
	بدون محلول‌پاشی No spraying	48.26bc	109.6de	3.98cde	9.0ef	4.33abc	4.5cd	30.4cd
۲۱ روزه 21 days	منگنز Manganese	45.88c	107.8de	3.94cde	9.46cde	3.71bc	4.4cd	30.2cd
	روی Zinc	47.55bc	118.7cde	3.52de	9.57de	3.55c	4.16cd	31.9cd
	منگنز+ روی Manganese+ Zinc	47.01c	111.8cde	4.74cde	10.67abcd	4.06abc	4.53bcd	33.0bcd
	بدون محلول‌پاشی No spraying	40.87d	97.55e	2.78e	8.01f	3.58c	4.03d	22.6d

* میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

* Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level, using duncan's multiple range test

جدول ۵- ضرایب همبستگی ساده صفات مورد بررسی در ارزیابی معمولی
Table 5- Simple correlations coefficient of experimental characteristics for common millet

ارتفاع بوته Height of plant	تعداد برگ در بوته Number of leaf per plant	مساحت برگ پرچم Area of flag leaf	طول پدانکل Peduncle height	طول خوشه Panicle height	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت (دانه / خوشه) HI (seed/panicle)
ارتفاع بوته Height of plant	1					
تعداد برگ در بوته Number of leaf per plant	0.859**	1				
مساحت برگ پرچم Area of flag leaf	0.592*	0.395 ^{ns}	1			
طول پدانکل Peduncle height	0.827**	0.64*	0.666*	1		
طول خوشه Panicle height	0.925**	0.903**	0.536 ^{ns}	0.733**	1	
عملکرد دانه Grain yield	0.929**	0.722**	0.705*	0.796**	0.865**	1
شاخص برداشت (دانه / خوشه) HI (seed/panicle)	0.912**	0.759**	0.709**	0.793**	0.898**	0.905**

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.
 ns, *and **: are non significant and significant at 5 and 1 probability levels, respectively.

معنی‌دار گردید. اثر عناصر کم‌مصرف در شرایط رطوبتی مناسب افزایش می‌یابد. همچنین در شرایط تنش خشکی محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف موجب افزایش صفات مورفولوژیک و عملکرد دانه گردید. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که با کاهش دور آبیاری به ۷ روز و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی می‌توان صفات مورفولوژیک و عملکرد دانه ارزیابی معمولی را افزایش داد. بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار دور آبیاری ۷ روزه و محلول‌پاشی توأم منگنز و روی با ۲۲۲/۶ گرم در متر مربع بود.

در شرایط بدون تنش خشکی حجم بیشتری از مواد فتوسنتزی از خوشه به دانه منتقل می‌شوند لذا شاخص برداشت دانه در خوشه افزایش می‌یابد. محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی سبب افزایش مقدار صفات مورفولوژیک و افزایش عملکرد دانه می‌گردد. عملکرد دانه و صفات مورفولوژیک گیاه ارزیابی معمولی تحت شرایط افزایش دور آبیاری کاهش یافت. همچنین محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف روی و منگنز موجب افزایش صفات مورفولوژیک و عملکرد دانه گیاه ارزیابی معمولی شد. اثر متقابل دور آبیاری و محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف

منابع

- Asghari Pour, M. R., Ghanbari banjar, A., Azizmoghadam, H., Sirousmehr, A., and Heidari, M. 2012. The effects of purified urban waste water along with micronutrients foliar application on growth and absorption of nutrients in Zabol Zone. *Journal of Agricultural Sciences and Technologies and Natural Resources*. 62: 35- 49. (In Persian with English abstract)
- Babaeian, M., Heidari, M., and Ghanbari, A. 2012. Effects of water stress and foliar micronutrient application on physiological characteristics and nutrient uptake in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences* 12 (4): 377- 391. (In Persian with English abstract)
- Bameri, M. 2012. Effect of different microelement treatment on wheat (*Triticum aestivum* L) growth and yield. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences* 3(1): 219-223.
- Dastoor, A., Asghari, R., Shahbazi, and H. 2014. Evaluation of wheat non stress and post anthesis drought stress conditions. *Journal of Agroecology* 3(6): 561- 570. (In Persian with English abstract)

- Ghanbari, A., Siahisar, B., Tavassoli, A., Esmaeilian, Y., and Babaeian, V. 2011. Effect of Unionazole and Cycocel on growth, yield and nutrients uptake of pearl millet under drought stress condition. *American- Eurasian Journal Agriculture and Environment* 10(5): 857- 862.
- Heidary poor, R., Nassiri mohallati, M., Koocheki, A., and Zarea Feizabadi, A. 2014. Effect of irrigation interval and nitrogen fertilizer on performance of using water and water efficiency in three plants, *Zea mays L., Beta vulgarise L. and Sesamume indicum L.* *Journal of Agroecology* 6(2): 187- 198. (In Persian with English abstract)
- Karimi, A., Homaie, M., Moez Ardalan, M., Liaghat, A., and Raisi, F. 2005. Effect of fertigation on yield of water use efficiency on corn in a tape irrigation system. *Agricultural Science- Research Journal* 3: 562- 573. (In Persian with English abstract)
- Kazemi, E., Baradaran, R., Seghat Eslami, M.J., and Ghasemi, A. 2012. Effects of Zn and Fe foliar application on qualitative and quantitative features of grain sorghum under drought stress. *Agronomy Journal (Research and Development)* 102: 190- 196. (In Persian with English abstract)
- Khazae, H. R., Mohammad Abadi, A., and Borzouee, A. 2005. The effect of drought stress on Morphological and Physiological characteristics of millet. *Iranian Journal of Planting Researche* 3(1): 35- 44. (In Persian with English abstract)
- Keshavars, L., Farahbakhsh, H., and Golka, P. 2012. The Effects of drought stress and super absorbent polymer on morphophysiological traits of pearl millet (*Pennisetum glaucum L.*). *International Research Journal of Applied and Basic Sciences* 3(1): 148- 154.
- Malakuti, M.J., and Tehrani, M.M. 1998. The role of micronutrients in increasing performance and improving quality of agricultural products. Tarbiat Modarres University Press Tehran, Iran. (In Persian with English abstract)
- Nejhad Hosseini, T., Astaraei, A., Khorasan, R., and Imami, H. 2011. Investigation two kind of manure with Zn and br elements on yield, yield components and density of elements in the common millet. *Iranian Journal of Field Crops Research* 9(1): 70- 77. (In Persian with English abstract)
- Rahimizadeh, M., Kashani, A., Zare Fizabady, A., Madani, H., and Soltani, E. 2012. Effect of micronutrient fertilizers on sunflower growth and yield in drought stress condition. *Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Science* 3(1): 57-72. (In Persian with English abstract)
- Ramroodi, M., Keikhahjale, M., Galavi, M., Seghatol eslami, M. J., and Baradaran, R. 2011. Effect of spraying micronutrients and irrigation regimes on yield quantity and quality of *Plantago forsk.* *Journal of Agroecology* 3(2): 219- 226. (In Persian with English abstract)
- Seghatol Eslami, M. J., Kafi, M., Magidi haravan, E., Darvish, F., and Nourmohammadi, Gh. 2005. Effect of low irrification on performance of using water in three type of millet. *Scientific-Research Journal of Agricultural Science* 11(4): 121- 131. (In Persian with English abstract)
- Senoubar, A., Tabatabaee, S. A., and Dehghani, F. 2011. Effect of irrigation time on seed performance, performance components and with drawal index of *Tritium aestivm L.* genotypes in Yazd zone. *Environmental Stresses in Planting Sciences Journal*. No 2: 95- 104. (In Persian with English abstract)
- Sookht Abendani, R., and Ramazani, M. 2012. Effect time of irrigation and nitrogen fertilizer on physiological index of growth and yield of forage corn in condition of north of Iran (Mazandaran). *Crop Physiology Jornal* 3(7): 19- 44. (In Persian with English abstract)
- Waraich, E., Rashid, A., Saifullah, A., Ashraf, M., and Ehsanullah, Y. 2011. Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. *Australian Journal of Crop Science*. 5(6): 764-777.
- Zand, B., Soroushzaeh, A., Ghanati, F., and Moradi, F. 2009. Effect of Zinc and auxin foliar application on grain yield and its components of Grain Maize under water deficits condition. *Seed and Plant Production Journal*. 2(25): 431- 448. (In Persian with English abstract)



Effects of Drought Stress and Micronutrients (Zinc and Manganese) on Morphological Traits and Yield of Millet (*Panicum miliaceum*)

A. Gideski*¹ and R. Baradaran²

Submitted: 09-03-2017

Accepted: 04-07-2017

Gideski, A., and Baradaran, R. 2018. Effects of drought stress and micronutrients (zinc and manganese) on morphological traits and yield of millet (*Panicum miliaceum*). Journal of Agroecology. 10(3):

Introduction

Drought stress is one of the most important environmental abiotic stress causes a decrease in crop yield, especially in arid and semi-arid regions of the world. Millet is a traditional cereal cultivating in arid and semi-arid zones, tolerant to drought and salinity. The application of water stress, especially in the millet development stages (from stem elongation to later), reduced plant height and resulted in decreased production and storage of photosynthetic materials (Khazaee et al., 2005). In arid and semi-arid areas, not only water scarcity but also absorbable nutrient elements deficiency in soil always restricts plant growth. Micronutrients are essential for natural growth of plants and in addition to their cooperation in the structure of some organelles they are involved in many chemical reactions. The shortage of these elements may sometimes act as limiting factor of absorption of other nutrient elements and growth. spraying Manganese and Zn combining with the other spray treatments resulted in the highest growth parameters of the *Setaria italica*. The aim of this experiment is to investigate the effects of drought stress and spraying manganese and zinc micronutrients and their interactions on morphological traits, harvest index, seed per panicle and seed yield of common millet.

Material and Methods

To investigate the effects of different irrigation intervals and foliar application of micronutrients on *Panicum miliaceum*, an experiment was conducted as split plot arrangement based on randomized complete block design with three replications in Sarbisheh agricultural research farm in south Khorasan province on 2012. Each replication included three main plot factors based on irrigation levels (7, 14 and 21 days irrigation intervals). Each main plot had four sub plot factors which treatment of foliar application with micronutrients were conducted on them (foliar application treatment with manganese, zinc, manganese and zinc without foliar application). Plant height, the number of leaves per plant, flag leaf area, peduncle length, panicle length, harvest index of seed in the panicle and seed yield was measured.

Results and Discussion

Drought stress cause significant differences on plant height, the number of leaves per plant, flag leaf area and peduncle length at 5% significance level and on panicle length and seed yield at 1% significance level. Drought stress decreases morphological traits by reducing photosynthesis, growth period length and material partitioning to organs. The effect of foliar application on plant height, panicle length, peduncle length and the number of leaves in plant and seed yield was significant at 0.01 probability. Foliar application had not significant effect on flag leaf area. Drought stress caused a significant difference at significance level of 5% on harvest index. The highest harvest index (53/46) was related to 7-day irrigation interval treatment. In the absence of sufficient water, material partitioning to reproductive organs and especially seed would be decreased which causes the reduction of harvest index. The effect of Zinc and Manganese foliar application on harvest index was significant at the significance level of 1%. The highest harvest index with 14.1% increase in compare to the control treatment was related to Zinc and Manganese foliar application treatment. Increasing morphological traits produced seed with higher power and finally harvest index of seed in panicle increased.

1 and 2- M.Sc. of Student and Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran

(*- Corresponding Author Email: r.baradaran@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.61216

Conclusion

Considering achieved results, the decrease of irrigation interval can increase the photosynthetic surface and consequently seed yield. Micronutrients foliar application also causes an increase in morphological traits and seed yield. Spraying micronutrients increased seed weight, number of seed per panicle and seed yield. The interaction of irrigation interval and micronutrients foliar application was significant too. The highest seed yield was related to 7-day irrigation interval and manganese and zinc foliar application with 222.6 grams per square meter.

Keywords: Common millet, Irrigation interval, Manganese, Morphological traits, Seed yield, Zinc



ارزیابی عملکرد، مصرف سوخت و شاخص‌های انرژی در تولید پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) در استان گلستان

رضا عارفی^{۱*}، افشین سلطانی^۲ و حسین عجم نوری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۱۶

عارفی، ر.، سلطانی، الف.، و عجم نوری، ح. ۱۳۹۷. ارزیابی عملکرد، مصرف سوخت و شاخص‌های انرژی در تولید پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) در استان گلستان. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳): ۸۵۳-۸۷۳.

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی میزان سوخت و شاخص‌های انرژی در تولید پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) در شهرستان‌های علی‌آباد کنول و آق‌قلا در استان گلستان طی سال‌های ۹۳-۹۴ انجام شد. اطلاعات از طریق مصاحبه حضوری با ۱۰۰ پنبه‌کار جمع‌آوری شد. مقادیر مصرف سوخت و انرژی برای هر یک از عملیات زراعی مرتبط با تولید پنبه در علی‌آباد و آق‌قلا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عملکرد وش ۲/۸ تن در هکتار بدست آمد که این مقدار معادل ۱۵۴۳۷۱ مگاژول در هکتار انرژی می‌باشد. بیشترین مصرف انرژی با ۴۱ درصد از کل انرژی مصرفی مربوط به عملیات آبیاری بود و عملیات‌های تغذیه و آماده‌سازی زمین در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. مجموعه انرژی نیروی کارگری ۲۲۶۲ مگاژول در هکتار محاسبه شد که به ترتیب عملیات برداشت، آبیاری و وجین، سه‌شکنی و واکاری از بیشترین به کمترین مصرف انرژی کارگری را داشتند. ۶۱ درصد از کل انرژی تولید کودهای پتاسیم، تولید کودهای آلی، تولید حشره‌کش‌ها، تولید علف‌کش‌ها و تولید قارچ‌کش‌ها مصرف شده است. تولید کود نیتروژن با ۳۰ درصد بیشترین سهم را نسبت به سایر بخش‌های انرژی‌های غیرمستقیم داشت در حالی که ۳۹ درصد از کل انرژی‌های مصرفی مربوط به انرژی‌های مستقیم و از طریق بکارگیری نیروی انسانی و مصرف سوخت مصرف شده است. متوسط نسبت انرژی در مجموع مزارع برابر با ۵/۹۲ بود. نتایج بررسی مقادیر کل انرژی ورودی در مزارع نشان داد که کمترین و بیشترین انرژی ورودی کل به ترتیب برابر ۱۵۶۱۴ و ۴۳۳۲۱ مگاژول در هکتار محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: انرژی خروجی، انرژی مستقیم، انرژی ورودی، نیروی انسانی

مقدمه

سطح زندگی شده، موضوع انرژی، چگونگی مصرف و افزایش کارایی مصرف انرژی و بهینه‌سازی آن همواره حائز اهمیت می‌باشد (Almasi, 2005). انرژی یکی از مباحث مهم بوم‌شناسی کشاورزی است و در این ارتباط در نقاط مختلف جهان نسبت انرژی خروجی و ورودی در اکوسیستم‌های مختلف کشاورزی محاسبه شده است. اکوسیستم‌های کشاورزی، به دو نهاده مختلف انرژی یعنی انرژی اکولوژیکی و زراعی وابسته هستند (Hosier, 1985; Dehghanian and Koocheki, 1996). مصرف فشرده انرژی در بوم‌نظام‌های زراعی سبب بروز مشکلات عدیده‌ای برای سلامت اجتماعی و محیط زیست شده است. استفاده کارآمد از انرژی در بوم‌نظام‌های کشاورزی

موضوع انرژی در کشاورزی به دلیل سیر صعودی نرخ انرژی و سوخت‌های فسیلی و محدود بودن منابع انرژی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به نیاز روز افزون به انرژی و افزایش جمعیت جهانی که منجر به افزایش مصرف غذا و مصرف سرانه و ارتقاء کیفی

۱ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان

۲- استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

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

۳۴۹۱۳/۰۷ مگاژول در هکتار برآورد گردید. در تحقیقات سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2013) بیشترین انرژی را جهت آماده سازی بسترکشت با صرف ۵۳ درصد از کل انرژی مصرف شد و به ترتیب آبیاری با ۱۵ درصد و برداشت با ۱۹ درصد بیشتر مصرف کنندگان انرژی بوده‌اند و نیز عملیات کاشت ۷/۲ درصد انرژی ورودی را به خود تعلق و سایر عملیات کمتر از یک درصد انرژی را به خود تعلق داده‌اند (Soltani et al., 2013). در محیط خشک میزان آبیاری افزایش خواهد یافت و لذا میزان انرژی مصرفی نیز افزایش خواهد یافت (Tuti et al., 2012).

در بررسی مؤیدی شهری و همکاران (Moayedi shahraki et al., 2010) بر روی زراعت زعفران بیشترین میزان مصرف انرژی در سال اول مربوط به کود دامی با مقدار ۹۱/۱۶ درصد از کل انرژی و در سال دوم تا پنجم کود اوره با مقدار ۳۷/۶۷ درصد از کل انرژی مصرفی اعلام نمود و همچنین نسبت انرژی تولیدی به مصرفی طی یک دوره پنج ساله بهره‌برداری زعفران برابر ۰/۴۱ برآورد گردید. یکی از رویکردهای مناسب در جهت کاهش انرژی‌های ورودی و از سوی دیگر افزایش انرژی خروجی، بررسی و ارزیابی شاخص‌های به دست آمده از مطالعات منطقه‌ای می‌باشد. این که چه عواملی چگونه و به چه میزان بیشترین تأثیر را در مقدار این شاخص‌ها می‌گذارند در کنار بررسی امکان جایگزینی آنها با سایر عوامل و با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و فنی، در نهایت می‌تواند منجر به بهینه‌سازی الگوی مصرف انرژی در تولیدات کشاورزی گردد (Witney, 1995). از طرفی آنالیز مصرف انرژی می‌تواند نشان‌دهنده چگونگی کاهش انرژی ورودی به نظام تولیدی و افزایش کارایی انرژی باشد (Fluck and Baird, 1980; Panesar & Fluck, 1993; Aggarwal, 1995; Kaltsas et al., 2007; Strapatsa et al., 2006) رجبی و همکاران (Rajabi et al, 2012) بر ارزیابی مصرف انرژی در تولید گندم در گرگان بیان داشتند انرژی ورودی کودهای شیمیایی (۴۵/۸ درصد) عمدتاً نیتروژن (۳۸/۳ درصد) بیشترین سهم را در کل انرژی‌های ورودی دارا بود و به دنبال آن انرژی ورودی سوخت (۲۲/۵ درصد) قرار داشت.

سینگ و همکاران (Sing et al., 2002) نیز میزان کل سوخت مصرفی را برای ۳ محصول گندم (*Triticum aestivum* L.)، نخود سبز (*Pisum sativum* L.) و ارزن صدفی (*Panicum miliaceum* L.) در هند بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که برای تولید این محصولات به ترتیب ۲۲/۳، ۵۹، و ۲۸/۷ لیتر در هکتار سوخت گازوئیل

سبب کمینه‌سازی مشکلات زیست محیطی، جلوگیری از تخریب منابع طبیعی و دستیابی به کشاورزی پایدار به عنوان یک نظام تولیدی اقتصادی می‌گردد. چنین نظام‌هایی می‌توانند در دراز مدت ادامه حیات داده، از نظر محیطی سودمند و مناسب بوده، امنیت غذایی را با تکیه بر بهینه‌سازی مصرف نهاده‌های خارجی ایجاد کرده و بر اساس راهبردهای بوم‌شناختی درون نظام، خود را تنظیم کرده و توانایی بازیابی یابد. بنابراین، ارزیابی بوم‌شناختی نظام‌های تولید در کشاورزی برای اطمینان از سلامت بهره‌گیری از منابع به لحاظ زیست محیطی و طراحی نظام‌های تولیدی که در آنها سطوح بالای ستاده از نظام، با تکیه بر کمینه انرژی فسیلی ورودی حاصل می‌شود و به ویژه در نظام‌های تولید محصولات راهبردی در هر منطقه ضروری است. انرژی را می‌توان به دو بخش انرژی‌های ورودی و انرژی‌های خروجی تقسیم‌بندی نمود که در اکثر مطالعات حاضر انرژی‌های ورودی (مصرفی) به دو بخش انرژی مستقیم و انرژی غیرمستقیم طبقه‌بندی می‌شوند (Kaltsas et al., 2007; Turhan et al., 2008; Tipi et al., 2009; Kizilaslan, 2009; Akcaoz et al., 2009). در سیستم‌های تولید گیاهان زراعی انرژی ورودی شامل انرژی خورشیدی (اکولوژیک) و انرژی زراعی هستند (Koocheki and Hosseini, 1994; Schroll, 1994; Ozkan et al., 2004). انرژی زراعی مستقیم شامل آماده‌سازی زمین، آبیاری، برداشت، فرآوری پس از برداشت، حمل و نقل نهاده‌ها و محصول می‌شود و انرژی زراعی غیرمستقیم کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها هستند (Alam et al., 2005). احمدی و آقاعلیخانی (Ahamadi & Aghaalkhani, 2013) در بررسی مصرف انرژی در زراعت پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) در استان گلستان، سهم انرژی مصرفی در مورد سوخت تراکتور و موتورپمپ را به ترتیب برابر ۲۴ درصد و ۳۰ درصد و به‌طور کل، ۵۴ درصد انرژی مصرفی مربوطه به سوخت گازوئیل گزارش نمودند. کودها با ۲۴ درصد و مواد شیمیایی با ۱۳ درصد نیز به ترتیب رتبه دوم و سوم را در مصرف انرژی داشتند و مجموع انرژی ورودی برای تولید پنبه در استان گلستان ۳۱ گیگاژول بر هکتار اعلام شد. ارزیابی بودجه انرژی و بهره‌وری آن در مزارع تولید سیب‌زمینی در استان کردستان توسط پناهی و کافی (Panahi & Kafi, 2012) نشان داد که مقادیر کارایی مصرف انرژی، انرژی ویژه و بهره‌وری انرژی و انرژی خالص در مزارع تجاری به ترتیب ۱/۳۷، ۲/۶۲ مگاژول به ازای هر کیلوگرم ۰/۳۸ کیلوگرم به ازای هر مگاژول

باشد که می‌تواند زمینه‌ساز ارایه راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی در این محصول باشد. اهداف اصلی این تحقیق شامل تعیین سهم نهاده‌های مختلف و ارزیابی مصرف سوخت، انرژی و شاخص‌های انرژی در تولید پنبه در دو منطقه علی‌آباد کنول و آق قلاگلستان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

جامعه آماری این پژوهش، کشاورزان پنبه‌کاری بودند که بذر مورد نیاز خود را از مراکز خدمات تهیه می‌کردند و چون جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز در طی سال زراعی انجام می‌شد کشاورزانی که از طرف مراکز خدمات احتمال همکاری بهتری را داشتند معرفی شدند (۱۳۰ کشاورز). بر این اساس، تعداد مزارع با استفاده از فرمول کوکران (۱۳۰) و مزرعه به دست آمد که به منظور افزایش دقت، ۱۰۰ کشاورز به صورت تصادفی انتخاب شد. بر اساس فرمول کوکران p و q ، d و z مقدار $1/96$ و $0/05$ در نظر گرفته شد، N حجم جمعیت آماری و n حجم نمونه می‌باشد.

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

تعداد ۱۰۰ مزرعه پنبه در اطراف شهرهای علی‌آباد و آق قلا واقع در استان گلستان ایران در دو سال زراعی ۹۳ و ۹۴ انتخاب شدند. این مزارع طوری انتخاب شدند که طیفی از کشاورزان را دربرگیرند. کلیه عملیات و اتفاقات در طول فصل رشد در این مزارع رصد گردید و نیز اطلاعات کاملی از روش‌های تیبیک تولید و عملیات زراعی در سالیان گذشته جمع‌آوری گردید (جدول ۱)، این اطلاعات شامل استفاده از ادوات، سوخت، کود، آفت‌کش و نظایر این‌ها بودند. بدین منظور ابتدا کلیه‌ی اعمال زراعی به ۸ بخش تهیه‌ی زمین، کاشت، کوددهی، حفاظت گیاه، کنترل علف‌های هرز، آبیاری، برداشت و حمل‌ونقل به کارخانه جهت تحویل محصول تفکیک شدند، سپس مقادیر مختلف کاربرد نهاده‌ها و اطلاعات جامع‌تر در هر مرحله از کاشت تا برداشت جمع‌آوری و ثبت گردیده و اطلاعات جمع‌آوری شده از طریق نرم‌افزار اکسل محاسبات انجام و انرژی مصرفی برای نهاده‌های مختلف پنبه برآورد گردید.

و همچنین $2/51$ ، $7/82$ و $7/59$ کیلووات در هکتار الکتریسیته نیاز است و نیز جهت ارزیابی سوخت مصرفی برای تولید گندم در منطقه آنتالیای ترکیه تحقیقی انجام گردید و میزان کل سوخت مصرفی برابر با $8/67$ لیتر در هکتار سنجیده شد که از این مقدار عملیات تهیه بستر (خاک‌ورزی) با $5/46$ لیتر بیشترین سهم را دارا بود. ضمن اینکه عملیات‌های دیگر نظیر برداشت ($5/46$)، کنترل آفات (۱ لیتر) کوددهی ($6/0$ لیتر)، حمل و نقل ($7/5$ لیتر) و کاشت ($5/0$ لیتر) به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار داشتند (Kaltsas et al., 2007).

پنبه مهمترین و قدیمی‌ترین گیاه لیفی جهان، از جنس *Gossypium* می‌باشد. وجود الیاف مصنوعی تا اندازه‌های در صنایع نساجی جای پنبه را گرفته‌اند ولی هنوز پنبه ارزش و مقام خود را حفظ کرده است (Smith & Cothren, 1991) در بازار جهانی، دانه پنبه در میان پنج دانه روغنی، در مقام دوم قرار دارد و علت آن غنی بودن پنبه دانه از مواد پروتئینی و روغنی می‌باشد. متجاوز از یک قرن است که روغن پنبه مصرف خوراکی دارد و به علت مصرف متعدد جایگاه ویژه‌ای در بین محصولات صنعتی ایران دارد و به آن طلای سفید می‌گویند (Anonymous, 1980-1994). بر طبق آمار فائو (FAO, 2009) چین، هند، آمریکا، پاکستان و ازبکستان بزرگترین تولیدکنندگان پنبه دانه در دنیا هستند.

کشت پنبه از زمان‌های بسیار قدیم در ایران معمول و رقم پنبه مورد کشت از نوع بومی بوده است. استان گلستان نیز به عنوان قطب اصلی تولید پنبه به سرزمین طلای سفید معروف بوده است. سطح زیرکشت پنبه در ایران در سال زراعی ۵۲-۱۳۵۱ معادل ۳۸۰ هزار هکتار بوده که استان گلستان با دارا بودن ۱۸۰ هزار هکتار سطح زیر کشت، بزرگ‌ترین تولیدکننده این محصول در بین استان‌های مختلف کشور بوده است. این در حالی است که در سال‌های اخیر سطح زیرکشت این محصول در کل کشور بویژه در استان گلستان دارای روند کاهشی بوده بطوری‌که سطح زیرکشت آن در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ به حدود ۱۰۰ هزار هکتار در کشور و ۹ هزار هکتار در استان گلستان رسیده است (Department of Agriculture, 2013). در حال حاضر به دلیل بحران انرژی در جهان، ضرورت مطالعه و یافتن راهکارهایی برای کاهش مصرف انرژی احساس می‌شود. با توجه به جایگاه پنبه در جهان و موقعیت ممتاز استان گلستان در تولید این محصول برآورد انرژی‌های ورودی، کارایی انرژی و انرژی ویژه در این محصول یکی از زمینه‌های تحقیقاتی ضروری می

جدول ۱- مشخصات مدیریتی هر مزرعه برای کشت پنبه در استان گلستان
Table 1- Profile management of the farm for the cultivation of cotton in Golestan Province

سال	شماره مزرعه / کشاورز	تعداد شخم	تعداد دیسک	میزان بذر مصرفی (کیلوگرم در هکتار)	نوع کود مصرفی	تعداد آبیاری	تعداد دفعات وجین	تعداد دفعات سم پاشی	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)
Year	No. farm / farmer	The number of plow	Number of disks	Amount of consumed seed energy (kg.ha-1)	Fertilizer consumption	Number of irrigations	Number of weeding	The number of spraying	Yield (kg.ha-1)
93	1	0	5	60	سوپر فسفات تریپل، اوره و حیوانی Urea, TSP, Animal manure	5	2	3	3550
93	2	1	7	60	سوپر فسفات تریپل، اوره Urea, TSP	5	3	5	2800
93	3	1	7	50	سوپر فسفات تریپل، اوره TSP	5	3	7	3300
93	4	1	4	50	سوپر فسفات تریپل، اوره TSP, Urea	5	4	4	3500
93	5	0	3	40	سوپر فسفات تریپل، اوره TSP, Urea	5	3	4	3700
93	6	0	8	60	سوپر فسفات تریپل، اوره TSP	4	1	6	2500
93	7	0	5	60	سوپر فسفات تریپل، اوره و کود حیوانی TSP, Animal manure	6	2	5	3300
93	8	0	3	50	سوپر فسفات تریپل، اوره TSP	5	1	5	2800
93	9	0	3	48	سوپر فسفات تریپل، اوره TSP, Urea	6	1	5	3700
93	10	0	3	55	سوپر فسفات تریپل، اوره TSP, Urea	5	2	5	3600
93	11	0	3	40	اوره Urea	9	0	6	3500
93	12	0	3	50	اوره Urea	5	1	3	2000
93	13	0	3	60	اوره و حیوانی Urea, Animal manure	8	2	6	3550
93	14	0	3	40	سوپر فسفات تریپل، اوره TSP, Urea	4	1	4	2100
93	15	0	3	40	اوره Urea	6	2	5	2200
93	16	0	3	40	اوره Urea	3	1	4	2600
93	17	0	5	65	اوره Urea	5	2	4	2500
93	18	0	3	65	اوره Urea	6	0	6	3100
93	19	0	4	40	فسفات آمونیم، اوره DAP, Urea	5	1	3	2700
93	20	0	4	60	اوره Urea	7	0	6	3250
93	21	0	3	40	سوپر فسفات تریپل، اوره Urea, TSP	5	1	4	2700
93	22	0	3	40	سوپر فسفات تریپل، اوره Urea, TSP	6	0	5	3050
93	23	0	7	47	اوره Urea	6	1	4	2300
93	24	1	6	45	سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم TSP, SOP	4	1	3	4300
93	25	1	4	55	سوپر فسفات تریپل، اوره TSP, Urea	4	1	4	3150
93	26	1	4	55	اوره و حیوانی Urea, Animal manure	4	3	5	3100
93	27	0	3	40	اوره و حیوانی Urea, Animal manure	4	2	3	4200
93	28	1	4	55	سوپر فسفات تریپل، اوره، سولفات پتاسیم و کود حیوانی TSP, UREA, SOP, Animal manure	5	3	4	3800
93	29	1	3	60	فسفات آمونیم، اوره DAP, Urea	4	2	4	3500
93	30	1	4	50	سوپر فسفات تریپل، اوره TSP, Urea	5	2	5	3500
93	31	1	6	50	سوپر فسفات تریپل، اوره TSP, Urea	5	2	5	3400
93	32	1	4	50	سوپر فسفات تریپل، اوره و کود حیوانی TSP, Urea, Animal manure	6	2	4	3600
93	33	1	5	60	سوپر فسفات تریپل، اوره TSP, Urea	5	2	3	3200
93	34	0	3	55	اوره Urea	6	0	6	2650

TSP= Triple Super Phosphate DAP= Diammonium phosphate SOP= Potassium sulfate
 سوپر فسفات پتاسیم دی آمونیم فسفات سولفات پتاسیم
 NPK= Macro fertilizers
 کود ماکرو

ادامه جدول یک

سال	شماره مزرعه / کشاورز	تعداد تخم	تعداد دیسک	میزان بذر مصرفی (کیلوگرم در هکتار)	نوع کود مصرفی	تعداد آبیاری	تعداد دفعات وجین	تعداد دفعات سم پاشی	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)
Year	No. farm / farmer	The number of plow	Number of disks	Amount of consumed seed energy (kg.ha-1)	Fertilizer consumption	Number of irrigations	Number of weeding	The number of spraying	Yield (kg.ha-1)
93	35	0	3	50	اوره Urea	7	1	5	3200
93	36	0	3	60	اوره Urea	6	1	3	2800
93	37	0	3	40	سوپر فسفات تریپل، اوره TSP, Urea	6	0	6	3250
93	38	0	4	50	سوپر فسفات تریپل، و کود حیوانی TSP, Animal manure	7	0	4	3500
93	39	0	2	30	سوپر فسفات تریپل و اوره TSP, Animal manure	5	0	3	2300
93	40	0	2	50	سوپر فسفات تریپل و اوره TSP, Urea	7	0	6	3200
93	41	1	5	50	سوپر فسفات تریپل و اوره TSP, Urea	5	2	6	3650
93	42	1	4	45	سوپر فسفات تریپل و اوره TSP, Urea	5	3	5	3800
93	43	1	6	45	سوپر فسفات تریپل و اوره TSP, Urea	3	3	3	2700
93	44	0	4	55	سوپر فسفات تریپل و اوره TSP, Urea	5	1	5	3550
93	45	1	5	50	سوپر فسفات تریپل و اوره TSP, Urea	5	2	3	4000
93	46	2	6	60	سوپر فسفات تریپل و اوره TSP, Urea	4	2	3	3200
93	47	1	6	40	فسفات آمونیم و اوره DAP, Urea	3	2	4	3700
93	48	0	6	65	سوپر فسفات تریپل و اوره TSP, Urea	5	3	5	3300
93	49	1	6	55	دی فسفات آمونیم و اوره DAP, Urea	4	2	3	3400
93	50	0	7	60	سوپر فسفات تریپل و حیوانی TSP, Animal manure	4	2	5	3100
94	51	2	5	40	سوپر فسفات تریپل، اوره، سولفات پتاسیم و کود حیوانی TSP, Urea, SOP, Animal manure	4	2	4	3800
94	52	0	4	45	سوپر فسفات تریپل، اوره، سولفات پتاسیم و کود حیوانی TSP, Urea, SOP, Animal manure	4	2	4	3500
94	53	2	6	35	اوره و کود حیوانی Urea, Animal manure	3	3	4	2500
94	54	0	3	35	اوره Urea	8	4	4	2600
94	55	0	5	40	اوره Urea	6	2	2	3100
94	56	1	4	65	اوره و کود حیوانی Urea, Animal manure	5	1	2	1500
94	57	0	2	55	سوپر فسفات تریپل، اوره و کود حیوانی TSP, Urea, Animal manure	4	3	4	2200
94	58	0	3	30	دی فسفات آمونیم و کود حیوانی DAP, Animal manure	3	1	4	1600
94	59	0	5	35	اوره Urea	4	4	4	1800
94	60	1	6	50	اوره و کود حیوانی Urea, Animal manure	5	3	3	2300
94	61	0	6	55	سوپر فسفات تریپل، اوره، سولفات پتاسیم و کود حیوانی TSP, Urea, SOP, Animal manure	8	3	4	3200
94	62	0	4	40	اوره، سوپر فسفات تریپل، و کود حیوانی TSP, Urea, Animal manure	5	2	3	3100
94	63	0	3	40	دی فسفات آمونیم و کود حیوانی DAP, Animal manure	5	3	3	3000
94	64	2	4	55	سولفات آمونیم SOP	4	3	4	2900
94	65	0	4	60	سولفات آمونیم SOP	4	2	2	1800
94	66	0	6	55	سوپر فسفات تریپل، اوره و کود حیوانی TSP, Urea, Animal manure	6	2	5	2800
94	67	1	5	45	سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم و اوره TSP, SOP, UREA	5	2	3	3600

TSP= Triple Super Phosphate
سوپر فسفات پتاسیم

DAP= Diammonium phosphate
دی آمونیم فسفات

SOP= Potassium sulfate
سولفات پتاسیم

NPK= کود ماکرو

ادامه جدول یک

سال	شماره مزرعه / کشاورز	تعداد شخم	تعداد دیسک	میزان بذر مصرفی (کیلوگرم در هکتار)	نوع کود مصرفی	تعداد آبیاری	تعداد دفعات وجین	تعداد دفعات سم پاشی	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)
Year	No. farm / farmer	The number of plow	Number of disks	Amount of consumed seed energy (kg.ha-1)	Fertilizer consumption	Number of irrigations	Number of weeding	The number of spraying	Yield (kg.ha-1)
94	68	0	2	45	سوپر فسفات تریپل، اوره، سولفات پتاسیم و کود حیوانی، TSP, Urea, SOP, Animal manure	5	1	4	3300
94	69	0	3	50	سوپر فسفات تریپل، اوره و کود حیوانی، TSP, Urea, Animal manure	7	2	3	3300
94	70	0	4	55	اوره Urea	3	3	4	1900
94	71	0	2	50	اوره Urea	5	4	3	1700
94	72	0	5	40	اوره Urea	4	2	5	1900
94	73	0	6	50	اوره و کود حیوانی، Urea, Animal manure	4	3	4	3500
94	74	1	5	45	اوره، کود ماکرو و حیوانی، Urea, NPK, Animal manure	6	3	5	3800
94	75	0	4	35	سوپر فسفات تریپل، اوره، سولفات پتاسیم و کود حیوانی، TSP, Urea, SOP, Animal manure	7	4	4	3300
94	76	0	5	50	اوره و کود حیوانی، Urea, Animal manure	4	4	5	3200
94	77	0	4	45	اوره و کود حیوانی، Urea, Animal manure	6	4	5	3500
94	78	0	6	60	اوره Urea	8	1	5	1700
94	79	0	4	50	سوپر فسفات تریپل، اوره و اوره Urea, TSP	3	2	5	1900
94	80	2	6	55	اوره Urea	5	4	7	2800
94	81	0	4	50	اوره Urea	4	3	5	2700
94	82	0	5	50	سوپر فسفات تریپل، اوره و حیوانی، TSP, Urea, Animal manure	4	3	4	2900
94	83	0	4	45	سوپر فسفات تریپل، اوره، کود حیوانی، TSP, Urea, Animal manure	5	4	3	3000
94	84	0	6	55	سوپر فسفات تریپل، TSP	5	2	5	3500
94	85	0	4	55	سوپر فسفات تریپل، اوره و سولفات پتاسیم SOP, TSP, Urea	3	3	3	2100
94	86	0	3	45	سوپر فسفات تریپل، اوره و اوره Urea, TSP	6	2	2	2500
94	87	0	5	40	سوپر فسفات تریپل، اوره و کود حیوانی، TSP, Urea, Animal manure	5	3	4	2600
94	88	0	4	40	سوپر فسفات تریپل، اوره و اوره Urea, TSP	4	4	5	2400
94	89	0	4	45	سوپر فسفات تریپل، اوره و کود حیوانی، TSP, Urea, Animal manure	7	3	3	2900
94	90	0	5	55	سوپر فسفات تریپل، اوره و اوره Urea, TSP	6	2	4	3000
94	91	0	6	60	سوپر فسفات تریپل، اوره و اوره Urea, TSP	5	2	3	1900
94	92	0	4	50	سوپر فسفات تریپل، اوره و اوره Urea, TSP	3	1	5	1300
94	93	0	3	50	سوپر فسفات تریپل، اوره و اوره Urea, TSP	2	1	3	900
94	94	0	3	55	سوپر فسفات تریپل، اوره و اوره Urea, TSP	3	1	3	1100
94	95	0	5	45	اوره و کود حیوانی، Urea, Animal manure	4	2	2	1700
94	96	2	6	45	اوره و سولفات پتاسیم Urea, SOP	4	3	3	2200
94	97	1	4	50	اوره و کود حیوانی، Urea, Animal manure	5	2	3	2100
94	98	0	6	55	سوپر فسفات تریپل، TSP	2	1	4	1000
94	99	1	5	60	سوپر فسفات تریپل، TSP	4	1	3	1200
94	100	0	4	60	اوره Urea	3	2	3	1800

TSP= Triple Super Phosphate
 سوپر فسفات پتاسیم
 NPK= Macro fertilizers
 کود ماکرو
 DAP= Diammonium phosphate
 دی آمونیوم فسفات
 SOP= Potassium sulfate
 سولفات پتاسیم

محاسبه انرژی نیروی انسانی

برای کلیه مراحل عملیات زراعی و ساعات کارگران در مزرعه برحسب ساعت در هکتار ثبت می‌شود؛ سپس با ضرب تبدیل انرژی مربوط به نیروی انسانی برابر ۱/۹۶ به کل انرژی ورودی نیروی انسانی برای عملیات‌های زراعی مختلف برحسب مگاژول در هکتار محاسبه گردید (Soltani et al., 2013).

محاسبه انرژی مصرفی کودهای شیمیایی

به منظور محاسبه انرژی در کودها، وزن کود مصرفی (کیلوگرم در هکتار) در درصد عناصر تشکیل دهنده آن ضرب و با استفاده ضرب تبدیل مربوطه انرژی کودها محاسبه شد. همچنین سمومی که حالت جامد دارند، وزن سم مصرفی (کیلوگرم در هکتار) در کسر ماده مؤثره موجود در آن ضرب شد، سپس میزان انرژی با استفاده از ضرب تبدیل انرژی محاسبه شد (Rajabi et al., 2012).

$$P=W*Aa$$

در این رابطه p: وزن ماده مؤثره موجود در آفت کش یا وزن ماده مغذی موجود در کود بر حسب کیلوگرم در هکتار؛ W: وزن آفت کش یا وزن کود برحسب کیلوگرم در هکتار و Aa: کسر ماده مؤثره موجود در آفت کش یا کسر ماده مغذی موجود در کود است.

محاسبه انرژی سموم شیمیایی

به منظور ارزیابی مصرف انرژی در این بخش، درصد ماده مؤثر هر سم از طریق برچسب قوطی سم در دسترس قرار گرفت و چگالی مربوط به سموم مایع از طریق منابع مختلف جمع‌آوری شد. سپس وزن مخصوص (کیلوگرم در لیتر) در درصد ماده مؤثره، ضرب شد؛ سپس میزان مصرف انرژی برای علف‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها بر حسب مگاژول بر هکتار با استفاده از ضرب تبدیل مربوطه حساب شد (Rajabi et al., 2012).

$$PW=Pv*Aa*d$$

در این رابطه، PW: وزن ماده مؤثره موجود در آفت کش بر حسب کیلوگرم در هکتار؛ Pv: حجم آفت کش برحسب لیتر در هکتار؛ Aa: کسر ماده مؤثره موجود در آفت کش؛ d: وزن مخصوص ماده مؤثره بر حسب کیلوگرم در لیتر.

انرژی مصرفی برای ساخت ادوات و ماشین‌الات

برای محاسبه کل انرژی در این بخش معادل انرژی برای ادوات

انرژی را می‌توان به دو بخش انرژی‌های ورودی و انرژی‌های خروجی تقسیم‌بندی نمود که در اکثر مطالعات حاضر انرژی‌های ورودی (مصرفی) به دو بخش انرژی مستقیم و انرژی غیرمستقیم طبقه‌بندی می‌شوند (Kaltsas et al., 2007; Turhan et al., 2008; Tipi et al., 2009; Kizilaslan, 2009; Akcaoz et al., 2009). که انرژی مستقیم از انرژی مصرفی سوخت، نیروی برق و نیروی انسانی مصرفی تشکیل و انرژی غیرمستقیم از جمع انرژی مصرفی جهت تولید و حمل و نقل کودهای شیمیایی، انرژی مصرفی برای تولید و حمل و نقل سموم شیمیایی همچون علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها، انرژی مورد نیاز به منظور ساخت، تعمیر و نگهداری ادوات کشاورزی، انرژی موجود در بذر بدست می‌آید.

با توجه به مطالب عنوان شده مبنای محاسبات در این تحقیق براساس دو شکل انرژی‌های ورودی مستقیم و غیرمستقیم انجام می‌گردد و در نهایت انرژی خروجی محصول (وش) محاسبه گردید.

برآورد سوخت مصرفی

به منظور مصرف سوخت، مدت زمان هر عملیات از آغاز تا پایان به طور جداگانه محاسبه گردید و سپس براساس رابطه زیر محاسبه شد (Rajabi et al., 2011).

$$FT= t * FH$$

که FT: سوخت مورد نیاز برای انجام عملیات زراعی در سطح یک هکتار (لیتر در هکتار)، t: مدت زمان کارکرد تراکتور (ساعت در هکتار) و FH: سوخت مورد نیاز تراکتور در یک ساعت انجام عملیات (لیتر بر ساعت) می‌باشد. سپس با به دست آمدن میزان کل سوخت مصرفی (لیتر در هکتار) برای هر عملیات، مقدار انرژی ورودی برحسب مگاژول در هکتار با استفاده ضرب تبدیل مربوط به عملیات محاسبه شد.

برآورد انرژی

محاسبه کل انرژی ورودی سوخت در عملیات‌های زراعی (تهیه زمین، کاشت، کودی، حفاظت کوددهی، حفاظت گیاه، آبیاری و حمل و نقل) ۱۰۰ مزرعه تولید پنبه براساس ضرب تبدیل انرژی سوخت گازوئیل و بنزین به ترتیب معادل ۳۸ و ۳۷ مگاژول بر لیتر (Hydrocarbon balance sheet in Iran, 2007) محاسبه شد (Soltani et al, 2013).

و ماشین‌الات که عدد ثابت ۱۴۲/۷ مگاژول بر کیلوگرم می‌باشد در وزن ادوات و ماشین‌الات (کیلوگرم) و مدت زمان استفاده از آن (ساعت در هکتار) ضرب و بر عمر مفید ادوات و ماشین‌الات مورد استفاده تقسیم شد و انرژی ساخت، تعمیر و نگهداری و حمل و نقل ماشین‌الات برحسب مگاژول در هکتار محاسبه می‌گردد. عدد ثابت و معادل ۱۴۲/۷ مگاژول بر کیلوگرم شامل ۸۶/۳۸ مگاژول بر کیلوگرم برای ساخت، ۴۷/۵ مگاژول بر کیلوگرم برای تعمیر و نگهداری و ۸/۸ مگاژول بر کیلوگرم برای حمل و نقل ادوات و ماشین‌الات مورد استفاده در مزارع می‌باشد (Kaltsas et al., 2007).

$$Em=(E*W/Lt)*t$$

در این رابطه، Em: انرژی کاربرد ادوات و ماشین‌الات جهت انجام عملیات زراعی (مگاژول در هکتار)؛ E: معادل انرژی برای ساخت، تعمیر و نگهداری و حمل و نقل ادوات و ماشین‌الات (مگاژول بر کیلوگرم)؛ W: وزن ادوات و ماشین‌الات (کیلوگرم)؛ Lt: عمر مفید ادوات و ماشین‌الات (ساعت)؛ t: مدت زمان کاربرد ادوات و ماشین‌الات (ساعت).

محاسبه انرژی بذر

برای محاسبه انرژی موجود در بذر پنبه، مقدار بذر مصرفی (کیلوگرم در هکتار) در ۵۰ مزرعه مورد بررسی ثبت شد و سپس با استفاده از ضریب تبدیل مربوط به بذر پنبه کل انرژی موجود در بذر برحسب مگاژول در هکتار محاسبه شد. پس از برداشت محصول عملکرد مزرعه ثبت شد و با استفاده از ضریب تبدیل انرژی (۵۴/۵) مگاژول بر کیلوگرم وش - الیاف + دانه) برحسب مگاژول در هکتار میزان انرژی خروجی محاسبه گردید (Ozkan et al., 2004).

با برآورد انرژی‌های ورودی و خروجی پارامترهای شاخص ارزیابی انرژی از قبیل نسبت یا کارایی انرژی، انرژی ویژه، بهره‌وری انرژی و عملکرد انرژی خالص برای هر مزرعه با استفاده از روابط زیر Sing et al., 2011; Rajabi et al., 2002) محاسبه شد.

نسبت یا کارایی انرژی

$$ER=EO/EI$$

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 (Rajabi et al., 2011).

انرژی ویژه

$$SE=EI/GY$$

که در آن SE: انرژی ویژه (مگاژول در کیلوگرم)، EI: مجموع انرژی ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) و GY: عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) می‌باشد (Rajabi et al., 2011).

بهره‌وری انرژی

$$EP=GY/EI$$

که در آن EP: بهره‌وری انرژی (کیلوگرم بر مگاژول)، GY: عملکرد (کیلوگرم در هکتار) و EI: مجموع انرژی‌های ورودی به مزرعه (مگاژول در هکتار) می‌باشد (Rajabi et al., 2011).

عملکرد انرژی خالص

$$NEY=EO-EI$$

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 (Rajabi et al., 2011).

بخشی از نمودارها و کلیه محاسبات آماری توسط اکسل انجام و جهت رسم نمودار باکس پلات و نمودارهای فراوانی تجمعی از نرم‌افزار SPSS استفاده گردید.

نتایج و بحث

در بین مراحل مختلف مورد بررسی جهت تولید یک هکتار پنبه، بیشترین میزان مصرف انرژی مربوط به مرحله آبیاری با ۴۱ درصد کل انرژی صرف شده در طول دوره کشت بود (جدول ۳). افزایش تعداد آبیاری تأثیر به‌سزایی در افزایش مصرف سوخت و انرژی داشته به طوری که بیشترین و کمترین انرژی مصرفی مربوط به بیشترین و کمترین تعداد آبیاری می‌باشد. بعد از آبیاری به ترتیب مراحل تغذیه، آماده‌سازی زمین، کنترل شیمیایی علف‌های هرز و آفات و کاشت از رتبه‌های بعدی از نظر مصرف انرژی بودند. احمدی و آقاعلیخانی (Ahamadi & Aghaalikhani, 2013) نیز در بررسی مصرف انرژی در زراعت پنبه به نتایج مشابهی رسیده و بیشترین سهم انرژی مصرفی را مربوط به عملیات آبیاری گزارش کردند.

جدول ۲- معادل‌های انرژی‌های ورودی و خروجی‌های مورد استفاده در تولید پنبه

Table 2- Inputs and outputs of energy used in the production of cotton

نوع نهاده یا ستاده Type of input and output	واحد (هکتار) Unit (in ha)	معادل انرژی Energy equivalent	منبع Reference
ورودی‌ها (الف) A) Inputs			
نیروی انسانی Human labor	h	1.96	Ozkan et al., 2004
بذر پنبه Cotton seeds	kg	33	Ozkan et al., 2004
ماشین‌ها Machinery	kg	142.7	Kaltsas et al., 2007
کودهای شیمیایی Chemical fertilizer	kg	60.6	
نیتروژن (a) Nitrogen	kg	60.6	Akcaoz et al., 2009
فسفر (b) Phosphate	kg	6.7	Akcaoz et al., 2009
پتاسیم (c) Potassium	kg	11.1	Akcaoz et al., 2009
کود آلی Animal manure	kg	0.3	Ozkan et al., 2004
گازوئیل Gasoline	L	38	Balance sheet hydrocarbon Iran., 2008
الکتریسیته Electricity	kwh	3.6	Pimental & Pimental., 2008
علف‌کش‌ها Herbicides	Kgai	278	Tzilivakis et al., 2005
حشره‌کش‌ها Pesticides	Kgai	237	Tzilivakis et al., 2005
قارچ‌کش‌ها Fungicides	Kgai	99	Strapatsa et al., 2006
خروجی (ب) B) Output			
وش Lint	kg	54.5	Ozkan et al., 2004

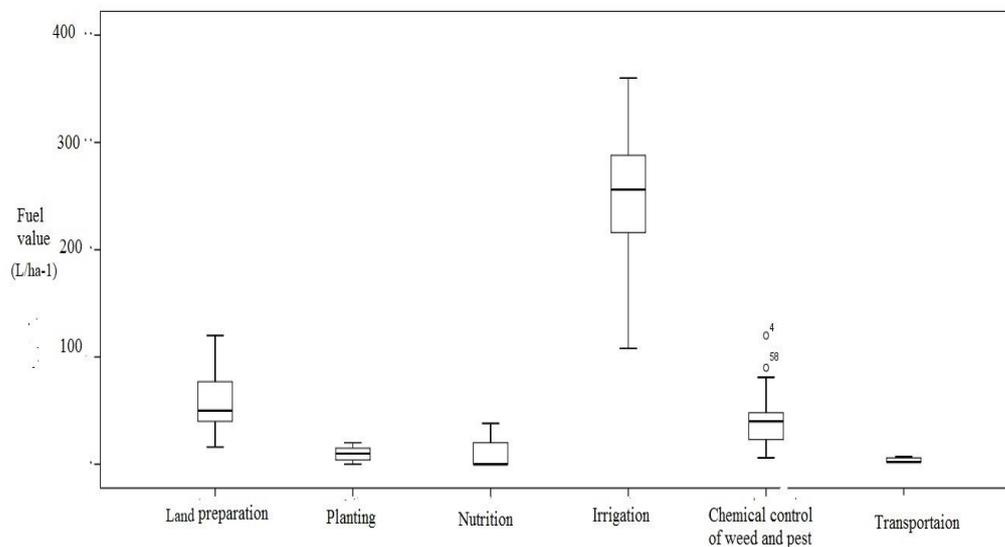
جدول ۳- انرژی‌های ورودی و خروجی تولید پنبه در استان گلستان (مگا ژول در هکتار)

Table 3- Inputs and outputs energies of cotton production in Golestan Province (MJ/ha-1)

ورودی‌ها و خروجی‌ها <i>Inputs and outputs</i>	میانگین <i>Mean</i>	درصد <i>Percentage</i>
ورودی‌ها <i>Inputs</i>		
آماده‌سازی زمین Land preparation	2546.74663	10
کاشت Planting	2091.722498	8
تغذیه Nutrition	6457.119142	25
آبیاری Irrigation	10857.18505	41
وجین، واکاری و سله‌شکنی Weeding, Cultivation and crust-breaking	574.1428	2
کنترل شیمیایی علف‌های هرز و آفات Chemical control of weeds and pests	2581.025253	10
برداشت Harvesting	879.7852	3
حمل و نقل Transporting	338.878413	1
کل Total	26326.60499	
خروجی <i>Output</i>		
وش Cotton	33423.5	

مصرف سوخت در عملیات آبیاری نسبت به سایر عملیات‌ها می‌باشد. در جدول ۴ میانگین انرژی نیروی کارگری در هر یک عملیات‌های زراعی ارائه شده است. نتایج بررسی نشان داد که عملیات برداشت به طور میانگین ۸۷۹ مگاژول و با ۳۹ درصد سهم بیشترین و عملیات آماده‌سازی، کاشت، تغذیه، حمل و نقل و کنترل شیمیایی علف‌های هرز و آفات پایین‌ترین سطح مصرف انرژی نیروی انسانی را داشتند برداشت سنتی پنبه با دست، با تعداد زیادی کارگر و معمولاً در سه مرحله و نیز کنترل علف‌های هرز، سله‌شکنی و وجین با استفاده از نیروی کارگری جز عوامل اصلی افزایش انرژی نیروی کارگری مصرفی در برداشت پنبه در استان گلستان می‌باشد (جدول ۴).

ارزیابی مصرف سوخت برای انجام عملیات مختلف زراعی نشان داد که عملیات آبیاری با ۶۸ درصد کل سوخت مصرفی در تولید پنبه بیشترین مصرفی را به خود اختصاص داده و عملیات آماده‌سازی و کنترل شیمیایی علف‌های هرز و آفات در رتبه‌های بعدی از نظر مصرف سوخت می‌باشند (شکل ۱). بخش‌های حمل و نقل، کاشت و تغذیه پایین‌ترین مصرف سوخت (شکل ۱) و عملیات‌های برداشت، وجین، واکاری و سله‌شکنی در تولید پنبه در استان گلستان به دلیل اینکه در تمامی مزارع توسط نیروی کارگری انجام گردیده بود بدون مصرف سوخت بودند. استخراج آب از چاه‌های عمیق و نیمه عمیق با پمپ‌های دیزلی، عملیات آبیاری در چندین مرحله جهت تأمین آب مورد نیاز پنبه در طول دوره کشت، اصلی‌ترین دلایل بیشتر بودن



شکل ۱- نمودار باکس پلات مصرف سوخت برای عملیات‌ها زراعی تولید پنبه در استان گلستان

Fig. 1- Box plot diagram of fuel consumption for agricultural operations of cotton production in Golestan province

جدول ۴- میانگین انرژی نیروی کارگری در هر یک از مراحل در تولید پنبه (مگا ژول در هکتار)

Table 4- Average of labor force energy in each stage (MJ/ha-1)

مراحل تولید Producing stages	میانگین Mean	درصد Percentage
آماده سازی زمین Land preparation	9.896824	1
کاشت Planting	4.846296	0
تغذیه Nutrition	18.5024	1
آبیاری Irrigation	717.8304	32
وجین، واکاری و سله شکنی Weeding, gap filling and crusting	574.1428	25
کنترل شیمیایی علف های هرز و آفات Chemical control of weeds and pests	28.276528	1
برداشت Harvesting	879.7852	39
حمل و نقل Transporting	29.694	1
کل Total	2262.974448	

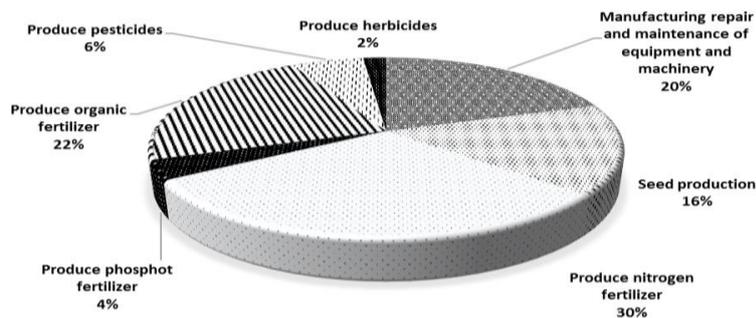
جدول ۵- میانگین انرژی مستقیم و غیر مستقیم در تولید پنبه (مگا ژول در هکتار)

Table 5- Direct and indirect energy mean in cotton production (MJ/ha-1)

نوع انرژی Type of energy	میانگین Mean	درصد Percentage
انرژی مستقیم Direct energy	16142.61125	39
انرژی غیر مستقیم Indirect energy	10183.99374	61
کل Total	26326.60499	

تولید قارچ‌کش‌ها مصرف شده است. تولید کود نیتروژن با ۳۰ درصد بیشترین سهم را نسبت به سایر بخش‌های انرژی‌های غیرمستقیم داشت (شکل ۲). در حالی که ۳۹ درصد از کل انرژی‌های مصرفی مربوط به انرژی‌های مستقیم و از طریق بکارگیری نیروی انسانی و مصرف سوخت مصرف شده است.

جدول ۵ نشان می‌دهد که از کل انرژی که برای تولید پنبه مصرف شده است. ۶۱ درصد آن (۱۰۲۱۷ مگا ژول در هکتار) به طور غیرمستقیم برای ساخت، تعمیر و نگهداری ادوات و ماشین‌آلات، تولید بذر، تولید کود نیتروژن، تولید کودهای فسفر، تولید کودهای پتاسیم، تولید کودهای آلی، تولید حشره‌کش‌ها، تولید علف‌کش‌ها و



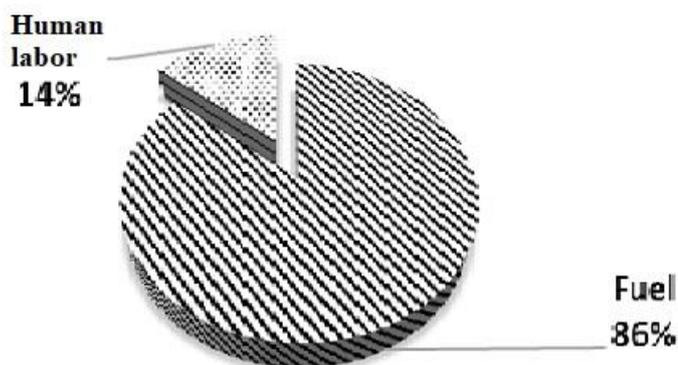
شکل ۲- سهم هر یک از بخش‌های انرژی‌های غیرمستقیم در تولید پنبه
Fig. 2- Contribution of each indirect energy sector in cotton production

همکاران (Taheri rad et al., 2015) در بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای، تحلیل انرژی و هزینه‌های تولید پنبه، میزان نهاده‌های سوخت دیزل و ماشین‌های کشاورزی را جز پر مصرف‌ترین نهاده‌های انرژی در تولید پنبه عنوان کردند. متفاوت بودن مدیریت‌های زراعی و شرایط اقلیمی هر نظام تولید برای هر گیاهی میزان مصرف هر نهاده را می‌تواند مشخص کند در کشت پنبه در استان گلستان به دلیل استفاده بیشتر از ادوات دیزلی و کودهای شیمیایی در مدیریت زراعی مزرعه این نهاده‌ها را نسبت به سایر نهاده‌ها، پر مصرف نموده است. سموم شیمیایی آفت‌کش که برای تولید پنبه در مزارع نمونه مورد استفاده قرار گرفت شامل: کنفیدور، ابامکتین، استامی پراید، دورسپان، لاروین، دانیتول، آندوسولفان، متاسیتوکس، کواکرون، سوین،

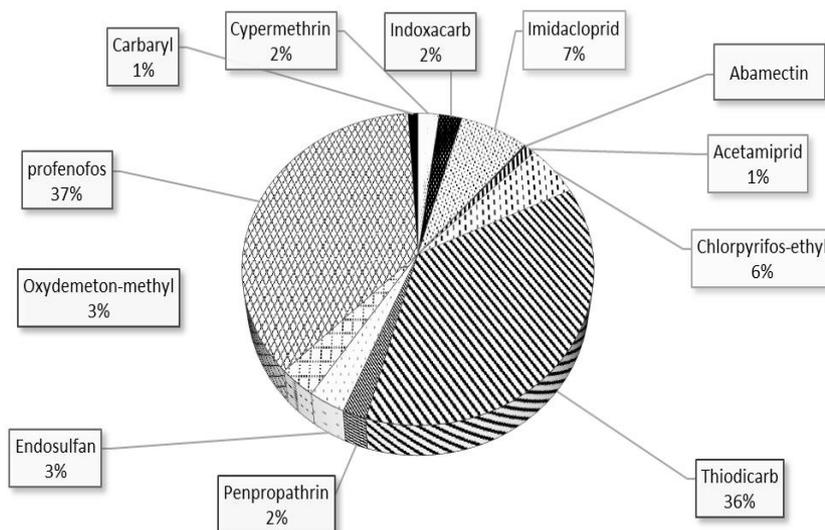
شکل ۳ نشان می‌دهد که ۸۶ درصد از انرژی‌های مستقیم مصرفی در تولید پنبه در استان گلستان از منابع غیرقابل تجدید تأمین می‌شود در واقع انرژی که به صورت سوخت موتور پمپ‌ها و ماشین‌آلات مصرف می‌شود همگی از منابع غیرقابل تجدید تأمین می‌شوند. نهاده‌های پر مصرف انرژی در تولید پنبه به ترتیب سه نهاده کودهای شیمیایی، آب آبیاری و سوخت دیزل برای استان آنتالیا و سوخت دیزل، کودهای شیمیایی و ماشین‌آلات برای استان هاتای گزارش شدند (Dagistan et al., 2009; Yilmaz et al., 2005) در تحقیق رجبی و همکاران (Rajabi et al, 2012) بر ارزیابی مصرف انرژی در تولید گندم در گرگان، بیشترین انرژی مصرفی را مربوط به کودهای شیمیایی و سپس سوخت را بیان کردند. طاهری راد و

زمان مناسب سم‌پاشی تأثیر به‌سزایی در کاهش مصرف سموم و کاهش مصرف انرژی می‌تواند داشته باشد در بین علف‌کش‌های مورد استفاده بیشترین مقدار و انرژی مصرفی مربوط به علف‌کش ترفلان بود (شکل ۸).

سایپرمترین و اوانت بودند که میانگین انرژی‌های غیرمستقیم برای سموم حشره‌کش نشان داد که کوآکرون و لاروین به ترتیب ۳۷ و ۳۶ درصد از کل انرژی مصرفی تولید سموم شیمیایی آفت‌کش‌ها را مصرف نموده‌اند (شکل ۴). استفاده از سموم کوآکرون و لاروین به دلیل کنترل آفت کرم قوزه پنبه می‌باشد. افزایش مدیریت مزرعه و



شکل ۳- سهم هر یک از بخش‌های انرژی‌های مستقیم در تولید پنبه
Fig. 3- Contribution of each direct energy sector in cotton production



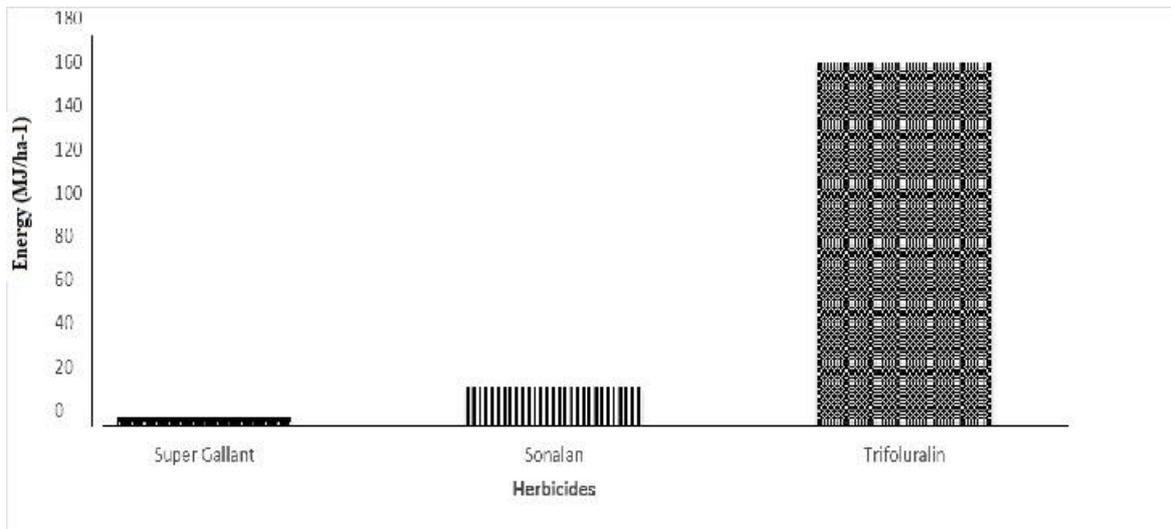
شکل ۴- سهم آفت‌کش‌ها پنبه در مصرف انرژی‌های غیرمستقیم در تولید پنبه
Fig. 4- Contribution of cotton pesticides in indirect energy consumption in cotton production

پرمصرف‌ترین مزرعه در مقایسه با کمترین مزرعه، ۲/۷ برابر بیشتر بود. به‌طور میانگین مقدار انرژی ورودی در مزارع پنبه ۲۶۳۵۹ مگاژول در هکتار محاسبه شد. میانگین عملکرد و ش برای تمامی

نتایج بررسی مقادیر کل انرژی ورودی در مزارع نشان داد که کمترین و بیشترین انرژی ورودی کل به ترتیب برابر ۱۵۶۱۴ و ۴۳۳۲۱ مگاژول در هکتار محاسبه شد. مصرف انرژی ورودی در

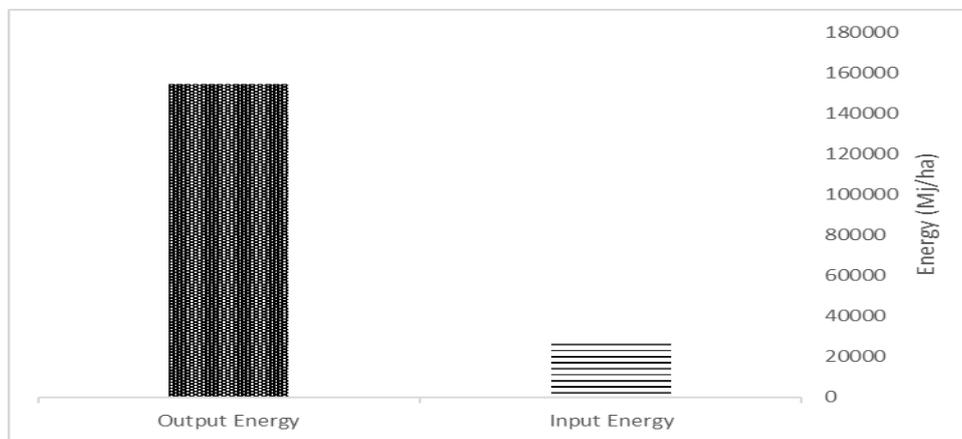
کرد رجیبی و همکاران (Rajabi et al., 2012) حداکثر انرژی ورودی و انرژی خروجی برای کشت گندم در استان گلستان را به ترتیب برابر ۲۱۱۷۹ و ۱۲۰۵۳۱ مگاژول در هکتار اعلام نمود.

مزارع ۲/۸ تن در هکتار بدست آمد که این مقدار معادل ۱۵۴۳۷۱ مگاژول در هکتار انرژی می‌باشد (شکل ۶). طاهری راد و همکاران (Taheri Rad et al., 2014) نتایج حاصل از مجموع انرژی ورودی برای تولید پنبه در استان گلستان را ۲۸۸۹۸ مگاژول بر هکتار گزارش



شکل ۵- نمودار میزان انرژی مصرفی علف‌کش‌ها در تولید پنبه

Fig. 5- Diagram of herbicides consumed energy in cotton production



شکل ۶- نمودار میزان میزان انرژی ورودی و خروجی در تولید پنبه

Fig. 6- Diagram of input and output energies amount on cotton production

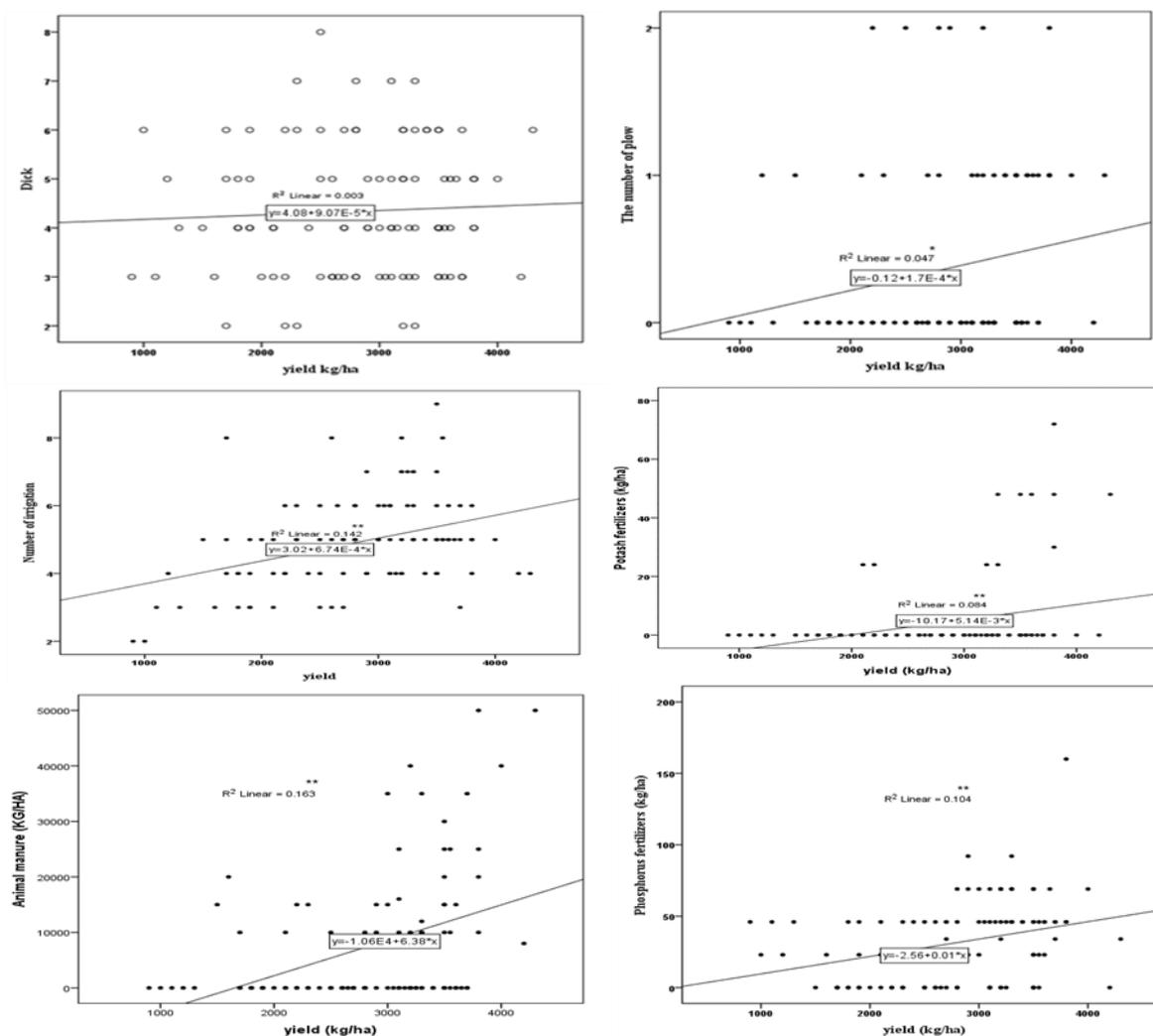
معنی‌داری دارد (شکل ۷) بیشترین عملکرد بدست آمده از نمونه‌های مورد بررسی برابر ۴۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد بدست آمده برابر ۹۰۰ کیلوگرم می‌باشد (جدول ۱). در بررسی عملکرد نمونه‌های مورد مطالعه، مدیریت‌های زراعی مختلفی با نتایج متفاوتی مشاهده می‌شود، ولی یکی از دلایل اصلی افزایش عملکرد، مدیریت

ارزیابی عملکرد

نتایج ضرایب همبستگی و نمودارهای رگرسیون بین عملیات‌های مختلف زراعی و عملکرد نشان می‌دهد که عملکرد با دفعات تکرار شخم، دفعات تکرار دیسک، دفعات تکرار آبیاری، مقدار مصرف کود فسفر، پتاسیم و کود حیوانی مصرفی رابطه مستقیم و

برآورد شد. سالیانه بیش از ۱۰۵ هزار هکتار از زمین‌های زراعی ایران با میانگین عملکرد ۲۴۳۰ کیلوگرم و ش در هکتار به کشت پنبه اختصاص می‌یابد (Anonymous., 2010).

زراعی مزرعه در تعدد و زمان انجام هر یک از عملیات‌ها و میزان مصرف نهاده‌ها می‌باشد، مدیریت‌های زراعی مختلف برای تمام نمونه‌های مورد بررسی در جدول ۱ نشان داده شده است میانگین عملکرد برای نمونه‌های مورد بررسی برابر ۲۸۵۰ کیلوگرم در هکتار



شکل ۷- رابطه عملیات‌های مختلف کشت پنبه با عملکرد پنبه

Fig. 7- The various operations related to cotton yield of cotton

رابطه بین تعداد شخم با عملکرد پنبه (بالا سمت راست) - رابطه بین تعداد دیسک با عملکرد پنبه (بالا سمت چپ)

The relationship between the number of plowing cotton yield (top right) - The relationship between the number of disks of cotton yield (top left)

رابطه بین مقدار مصرف پتاسیم در هکتار با عملکرد پنبه (وسط سمت راست) - رابطه بین تعداد آبیاری با عملکرد پنبه (وسط سمت چپ)

The relationship between the amount of potassium in the yield of cotton (middle right) - The relationship between the number of watering the cotton yield (center left)

رابطه بین مقدار مصرف فسفر مصرفی در هکتار با عملکرد پنبه (پایین سمت راست) - رابطه بین مقدار مصرف کود حیوانی در هکتار با عملکرد پنبه (پایین سمت چپ)

The relationship between the amount of phosphorus per hectare cotton yield (lower right) - The relationship between the amount of manure per hectare cotton yield (lower left)

جدول ۶- شاخص‌های ارزیابی انرژی در تولید پنبه در استان گلستان

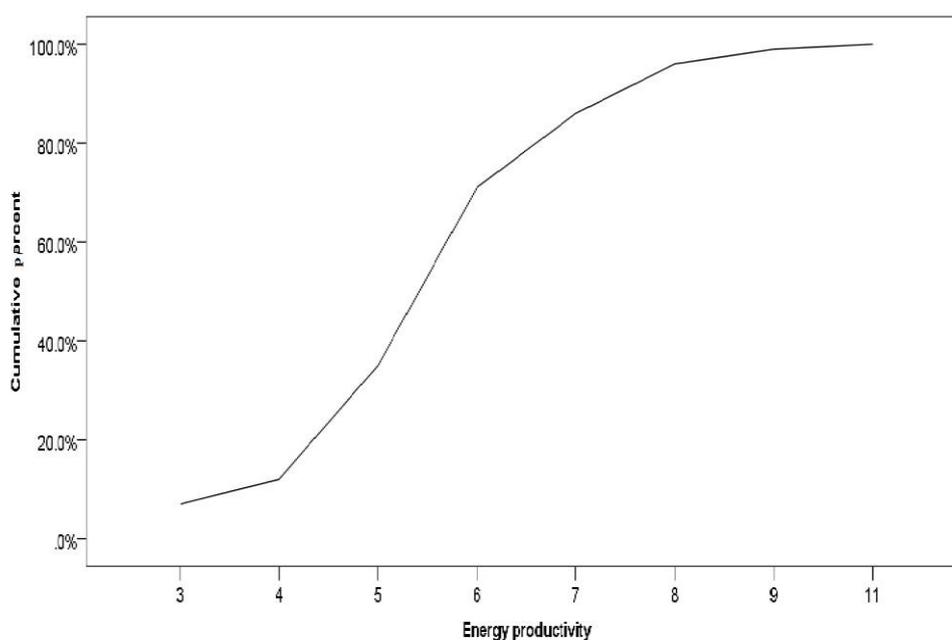
Table 6- Energy assessment indicators in cotton production on Golestan Province

شاخص‌های ارزیابی انرژی Energy assessment indicators	حداکثر Maximum
نسبت یا کارایی انرژی (ER) Energy rate (ER)	2.46
انرژی ویژه (SE) مگا ژول در کیلوگرم Special energy (SE) MJ/Kg-1	21.09
بهره وری انرژی (EP) کیلوگرم بر مگا ژول Energy productivity (EP) Kg/MJ-1	0.21
عملکرد انرژی خالص (NEY) مگا ژول در هکتار Net energy yield (NEY) MJ/he-1	25,941.84

شاخص‌های ارزیابی انرژی

نسبت انرژی بیان‌کننده راندمان یا کارایی انرژی یک سیستم است. متوسط نسبت انرژی در مجموع مزارع برابر با ۵/۹۲ بود و حدود ۲۰ درصد از مزارع دارای کارایی انرژی حدود ۷ به بالا را داشتند (شکل ۷). نمونه‌ای که از نظر میزان مصرف انرژی ورودی و خروجی مناسب‌ترین مزرعه در بین مزارع باشد بیشترین نسبت یا کارایی انرژی را خواهد داشت و مزارعی که مصرف نهاده‌ها در مصرف انرژی

به طور کارا عمل نکند و جایگاه مناسبی به لحاظ انرژی ورودی و انرژی خروجی نداشته باشد کمترین میزان نسبت کارایی انرژی را خواهد داشت. تحقیقات مشابهی در خصوص ارزیابی کارایی انرژی پنبه توسط سایر محققین انجام و کارایی انرژی تولید پنبه در استان های آنتالیا و هاتای ترکیه، ۰/۷۴ و ۲/۳۶ (Dagistan et al., 2009; Yilmaz et al., 2005) در استان البرز ۱/۸۵ مگاژول در هکتار (Pishgar-komleh et al., 2012) گزارش گردیده است.

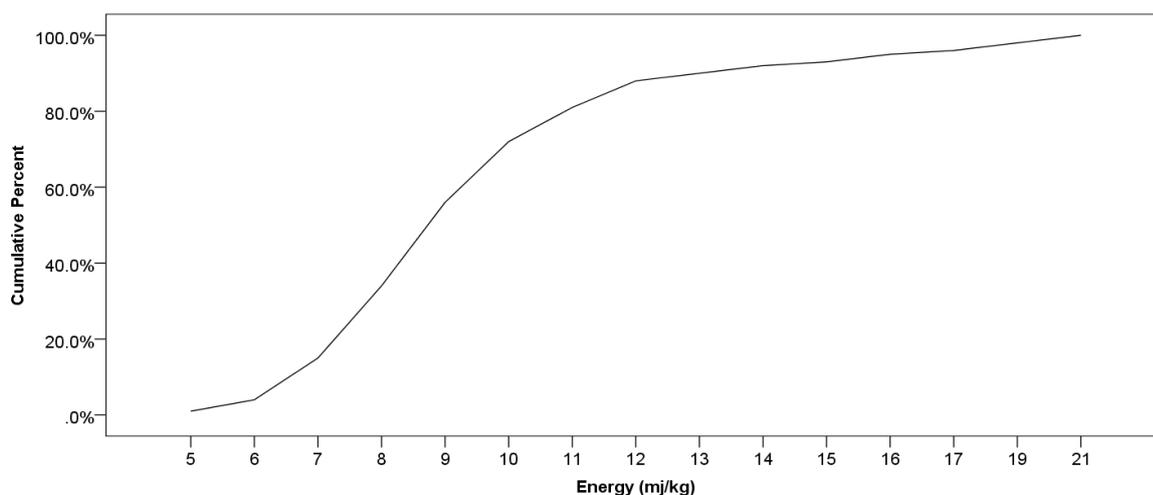


شکل ۷- فراوانی تجمعی کارایی انرژی در مزارع تولید پنبه

Fig. 7- Cumulative frequency of energy productivity on cotton production farms

ویژه کمتر از ۷ مگاژول در کیلوگرم داشتند (شکل ۷). داغستان و همکاران (Dagistan et al., 2009) انرژی ویژه را در مطالعه آنالیز مصرف انرژی در تولید پنبه در ترکیه ۴/۹۹ مگاژول بر کیلوگرم برآورد کردند در این تحقیق میانگین انرژی ویژه برابر ۹/۸۸ مگاژول بر کیلوگرم برآورد شده است.

در رابطه با انرژی ویژه نیز بیشترین میزان ۲۱ مگاژول در هکتار و کمترین ۴/۷۹ مگاژول در هکتار مشخص شد (شکل ۷). لازم به ذکر است که انرژی ویژه عملکرد سیستم تولیدی را در خصوص مصرف انرژی نشان می‌دهد. کمترین میزان انرژی ویژه مناسب‌ترین مزرعه برای تولید پنبه می‌باشد و نیز حدود ۲۰ درصد مزارع میزان انرژی



شکل ۸- فراوانی تجمعی انرژی ویژه (مگا ژول در کیلوگرم) در مزارع تولید پنبه
 Fig. 8- Cumulative frequency of special energy on cotton production farms

داشتند. کاهش مصرف کودهای نیتروژن را از طریق راه‌های زیر کاهش داد.

استفاده از کودهای نیتروژن براساس آزمون خاک
 انطباق داد زمان کوددهی با نیاز گیاه

بهبود در روش‌های کوددهی مانند جایگزاری در خاک به جای
 پخش دستی و ساتریفیوژ

استفاده از ترکیبات بازدارنده نیترونیفیکاسیون یا کودهای پوشش
 دار

استفاده از کودهای سبز

مدیریت زارع از طرق کاهش تعداد عملیات خاک‌ورزی اولیه و ثانویه، کاهش تعداد دور آبیاری و آبیاری براساس نیاز گیاه، کاهش تعداد سم پاشی‌ها و سم پاشی در زمان مناسب باعث کاهش انرژی ساخت، تعمیر و نگهداری ادوات و ماشین آلات خواهد شد.

بیشترین مصرف انرژی در بین انرژی‌های مستقیم (نیروی کارگری و سوخت) متعلق به انرژی سوخت می‌باشد که ۸۶ درصد از

در رابطه با بهره‌وری انرژی بین ۰/۲۱ تا ۰/۰۵ کیلوگرم بر مگاژول متغیر و میانگین آن برابر با ۰/۱۱ کیلوگرم بر مگاژول بود (جدول ۶) و میانگین عملکرد انرژی خالص ۱۲۷ گیگاژول در هکتار برآورد گردیده است.

نتیجه‌گیری

نتایج ارزیابی مصرف انرژی در مزارع نشان داد که بیشترین مصرف انرژی مربوط به انرژی‌های غیرمستقیم (۶۱ درصد از کل انرژی) شامل ساخت، تعمیر و نگهداری ادوات و ماشین آلات، تولید بذر، تولید کود نیتروژن، تولید کودهای فسفر، تولید کودهای پتاسیم، تولید کودهای آلی، تولید حشره‌کش‌ها، تولید علف‌کش‌ها و تولید قارچ‌کش‌ها مصرف شده است. که در این بین سهم تولید کودهای نیتروژن با ۳۰ درصد بیشترین مصرف و نیز ساخت، تعمیر و نگهداری ادوات و ماشین آلات و تولید کودهای آلی در رتبه‌های بعدی قرار

سوخت و انرژی مصرفی جهت آبیاری را کاهش دهد یکی از مهمترین عملیات زراعی که به طور گسترده در مزارع انجام می‌شود و سهم زیادی از مصرف سوخت را به خود اختصاص می‌دهد عملیات شخم است. خاک‌ورزی حفاظتی سیستم شخم قابل اجرا برای کاهش مصرف سوخت است.

انرژی‌های مستقیم را سهم خود نموده است که سهم عظمی از آن مربوط به سوخت مصرفی در طول دوره آبیاری پنبه می‌باشد. عوامل زیادی مانند بافت خاک، مسطح بودن مزرعه، نیاز گیاه، نوع پمپ و تجهیزات مورد استفاده، تعمیر و نگهداری به موقع تجهیزات آبیاری، شرایط آب و هوایی، میزان آب موجود و نحوه دسترسی و از همه مهمتر مدیریت کوتاه مدت و دراز مدت زارع می‌تواند میزان مصرف

منابع

- Aggarwal, G.C. 1995. Fertilizer and irrigation management for energy conservation in crop production. *Energy* 20(8): 771-776.
- Ahmadi, M., and Aghaalikhani, D. 2013. Analysis of Energy Consumption of Cotton in Golestan province in order to provide a solution for increasing resource efficiency. *Journal of Agroecology*. 4(2): 151-158. (In Persian with English abstract).
- Akcaoz, H., Ozcatlbas, O., and Kizilay, H. 2009. Analysis of energy use for pomegranate production in Turkey. *Journal food Agriculture Environment* 7: 475-480.
- Alam, M.S., Alam, M.R., and Islam, K.K. 2005. Energy flow in agriculture: Bangladesh. *American Journal of Environmental Sciences* 1(3): 213-220.
- Almasi, M. 2005. Energy management in agriculture. Masters textbook of agricultural mechanization. Azad University of Science and Research of Tehran, Iran. (In Persian with English abstract).
- Anonymous. 2010. Statistic Agriculture. Crop Production. Office of Statistics and Information Technology, Ministry of Agriculture. Ministry of Jihad Agriculture, Tehran, Iran. (In Persian with English abstract).
- Anonymous. 1980-1994. Final research report on cotton improvement projects. Cotton Research Institute (In Persian with English abstract).
- 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(4): 655-666.
- Clements, D.R., Weise, S.F., Brown, R., Stonehouse, D.P., Hume, D.J., and Swanton, C.J. 2005. Energy analysis of tillage and herbicide inputs in alternative weed management-systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 52(2): 119-128.
- Dagistan, E., Akcaoz, H., Demirtas, B., and Yilmaz, Y. 2009. Energy usage and benefit- cost analysis of cotton production in Turkey. *African Journal of Agricultural Research* 4(7): 599-604.
- Dehghanian, S., and Kocheiki, A. 1996. Ecological economy and organic agriculture economy. Jihad Daneshgahi Publications of Mashhad, Mashhad, Iran 164 (In Persian).
- Fluck, R.C., and Baird, C.D. 1980. Agricultural energetics. AVI Publishing Co.
- Hosier, R. 1985. How hold energy consumption in rural Kenya. *Ambio* 14(4-5): 225- 227.
- Institute for International Energy Studies. 2007. Hydrocarbon balance sheet in Iran, Ministry of Petroleum.
- Kaltsas, A.M., Mamolos, A.P., Tsatsarelis, C.A., Nanos, G.D., and Kalburtji, K.L. 2007. Energy budget in organic and conventional olive groves. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 122(2): 243-251.
- Kizilaslan, N. 2009. Energy use and input-output energy analysis for apple production in Turkey. *The Journal of Agricultural and Environmental* 7(2): 419-423.
- Koocheiki, A., and Hosseini, M. 1994. Energy efficiency in agricultural ecosystems. University of Mashhad Publication 299. (In Persian).
- Moayedi Shahraki, A.A., Jami Ahmadi, M., and Behdani, M.A. 2010. Performance evaluation of saffron (*Crocus sativus* L.) In: South Khorasan. *Journal of Agroecology* 2: 55-62. (In Persian with English abstract).
- Ozkan, B., Akcaoz, H., and Fert, C. 2004. Energy input- output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy* 29(1): 39-51.
- Ozkan, B., Akcaoz, H., and Karadeniz, F. 2005. Energy requirement and economic analysis of citrus production in Turkey. *Energy Conversion and Management* 45(11): 1821-1830.

- Panahi, F. H., and Kafi, M. 2012. Budget evaluation and energy efficiency in potato fields in Kurdistan, Case Study: Plain Dehgolan. *Journal of Agroecology*. 4(2): 159-169. (In Persian).
- Panesar, B.S., and Fluck, R.C. 1993. Energy productivity of a production system-analysis and measurement. *Agricultural Systems* 43(4): 415-437.
- Pimental, D., and Pimental, M, H. 2008. Food, energy and society. Taylor and Francis Group publisher 380.
- Pishgar-Komleh, S.H., Sefeepari, P., and Ghahderijani, M. 2012. Exploring energy consumption and CO₂ emission of cotton production in Iran. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 4: 033115-033114.
- Rajabi, M.H., Soltani, A., Vahidinia, B., Zeinali, E., and Soltani, E. 2011. Fuel consumption assessment on wheat production farms in Gorgan. *Environmental Sciences* 9(2). (In Persian with English abstract).
- Rajabi, M.H., Soltani, A., Zeinali, E., and Soltani, E. 2012. Energy consumption assessment on wheat production in Gorgan. *Journal of Plant Production* 19(3). (In Persian with English abstract).
- Schroll, H. 1994. Energy –flow and ecological sustainability in Danish agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 51(3):301-310.
- Sing, H., Mishra, D., and Nahar, N, M. 2002. Energy use pattern in production agriculture of a typical village in arid zone, India_ part I. *Energy Conversion and Management* 43(16): 2275-2286.
- Smith, C.W., and Cothren, J.T. 1991. Cotton; origin, history, technology and production. John Wiley & Sons 9.
- 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. (In Persian with English abstract).
- Strapatsa, A.V., Nanos, G.D., and Tsatsarelis, C.A. 2006. Energy flow for integrated apple production in Greece. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 116(3): 176-180.
- Taheri-Rad, A.R., Nikkhah, A., Khojastehpour, M., and Nourozieh, S. 2014. Assessing GHG emissions, and energy and economic analysis of cotton production in the Golestan province. *Journal of Agricultural Machinery* 5(2): 428-445.
- Tipi, T., Cetin, B., and Vardar, A. 2009. An analysis of energy use and input costs for wheat production in Turkey. *The Journal of Agricultural and Environmental* 7: 352-356.
- Turhan, S., Canan Ozbag, B., and Rehber, E. 2008. A comparison of energy use in organic and conventional tomato production. *The Journal of Food, Agriculture and Environment* 6(3-4): 318-321.
- Tuti, D.M., Prakash, V., Pandey, B.M., Bhattacharyya, R., Mahanta, D., Bisht, J.K., Kumar, M., Mina, B.L., Kumar, N., Bhatt, J.C., and Srivastva, A.K. 2012. Energy budgeting of colocasia-based cropping systems in the Indian sub-Himalayas. *Energy* 45(1): 986-993.
- 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(2): 101-119.
- Witney, B. 1995. Choosing and using farm machines. Land Technology Ltd, UK.
- Yilmaz, I., Akcaoz, H., and Ozkan, B. 2005. An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. *Renewable Energy* 30: 145-155.



Estimation of Fuel and Energy Consumption and Indicators of Cotton Production in Golestan Province (Iran)

R. Arefi^{1*}, A. Soltani², and H. Ajam Norouzi³

Submitted: 26-03-2017

Accepted: 06-06-2017

Arefi, R., Soltani, A., and Ajam Norouzi, H. 2018. Estimation of fuel and energy consumption and indicators of cotton production in Golestan Province (Iran). *Journal of Agroecology*. 10(3):853-873.

Introduction

Energy is of particular important in agricultural inputs due to the increasing rate of consumption, fossil fuels adverse impacts on the environment and limited sources. Due to the growing demand of energy, increasing world population, increasing food consumption per capita and improvement of life quality, the energy, the way it consumes and increasing its efficiency and optimization are very important. Moayedi et al (1388) indicated that the highest energy consumption of the first year of saffron cultivation was related to manure application with a 16.91% of the total energy consumption and in the second to fifth to urea fertilizer with a 67/37% of the total energy consumption. Similarly, energy production to consumption ratio over a period of five years of saffron cultivation was estimated to be 41/0. Ahamadi & Aghaalikhani, (2013) reviewed the energy consumption of cotton in the Golestan province. They considered the share of energy use in cotton in Golestan province, the share of energy consumption in tractor fuel inputs and fuel pump to be 24%, 30% respectively, and 54% of the energy was related to diesel fuel. Fertilizers had 24% and chemicals had 13% of energy consumption, and the total energy input for the production of cotton in Alborz Province was announced to be 31 GJ per hectare. Considering the energy crisis in the world, exploring the demand and consumption rate of energy and finding solutions to reduce the consumption is of researcher's priority globally. Considering the privileged position of cotton production in the world and Golestan province of Iran, estimation of energy input and, efficiency are among the main research areas leading to fruitful solutions of optimizing energy consumption of the product.

Materials and Methods

A hundred of cotton fields around the Aliabad and AqQala cities in Golestan province were selected during two sowing years of 2014 and 2015. These farms were selected in such a way a number of farmers can be included. Important dates of different operations and events were observed during the growing seasons in selected fields. The data of typical production methods and cultivation practices were collected in last year including the use of equipment and fuel, application of fertilizers and pesticides and so on. Accordingly, all agricultural practices were divided into eight categories, including land preparation, planting, fertilizer application, plant protection, weed control, irrigation, harvesting and transportation to factory or crop delivery, primarily. Then, the different amounts of input use and more comprehensive information were collected and recorded at every single stage from planting to harvesting.

Results and Discussion

The results showed that the highest energy consumption was related to irrigation with 41% of the total energy and fertilizer application and land preparation were in the next positions. Labor force energy was calculated to be 2262 MJ.ha⁻¹ related to harvesting, irrigation, cultivation, and crust-breaking. 61% of the total energy (10217 MJ.Ha⁻¹) was used indirectly for the manufacturing, repair and maintenance of equipment and machinery, and production of seed, nitrogen fertilizer, phosphate fertilizer, potassium fertilizer, organic fertilizer, insecticides, herbicides and industrial fungicides. Nitrogen fertilizer production consumed 30 percent of indirect energy sources, the highest share, while 39 percent of the total energy consumption was related to direct energy through

1 and 3- Ph.D. Student and Associate Professor of Agriculture Department of Islamic Azad University of Gorgan

2- Professor of Agriculture Department of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

(*- Corresponding Author Email: arefi.reza@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.62349

the use of human resources and fuel consumption. Average power ratio of total farms was equal to 92.5. The results of levels of total energy input to fields showed that the minimum and maximum energy inputs were 15614 and 43321 MJ per hectare, respectively.

Conclusion

The results of this study showed that most of the direct energy (labor and fuel) consumption for cotton production is related to fuel with 86 % of the total energy mostly used in irrigation practices. Several factors such as soil texture, farm leveling, plant's feeding and protection, equipment and types of pumps, irrigation equipment maintenance in a timely manner, weather conditions, the amount of water available and most importantly short-term and long-term management are among areas which can reduce fuel and energy consumption of irrigation practices in the cotton production farms of Golestan province.

Keywords: Cotton, Fuel, Input Energy, Output energy



کارایی بوم‌شناختی - اقتصادی تولید یونجه (*Medicago sativa* L.) و ذرت علوفه‌ای

(*Zea mays* L.): دشت مراغه - بناب، استان آذربایجان شرقی

آرش محمدزاده^۱، عبدالمجید مهدوی دامغانی^{۲*}، جواد وفابخش^۳ و رضا دیهیم‌فرد^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۱۲

محمدزاده، الف، مهدوی دامغانی، ع، وفابخش، ج، و دیهیم فرد، ر. ۱۳۹۷. کارایی بوم‌شناختی - اقتصادی تولید یونجه (*Medicago sativa* L.) و ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.): دشت مراغه - بناب، استان آذربایجان شرقی. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳): ۸۷۵-۸۹۵.

چکیده

استفاده بهینه از منابع و نهاده‌ها یکی از اولین و اساسی‌ترین اهداف توسعه کشاورزی پایدار است. در پژوهش حاضر، پایداری بوم‌نظام‌های زراعی یونجه (*Medicago sativa* L.) و ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) دشت مراغه - بناب استان آذربایجان شرقی در سال ۱۳۹۴-۱۳۹۳ مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور، اطلاعات مورد نیاز تحقیق با استفاده از پرسشنامه و مصاحبه حضوری با ۱۱۰ کشاورز به دست آمد. نتایج نشان داد که کل انرژی ورودی، خروجی و انرژی خالص در بوم‌نظام‌های یونجه (به ترتیب ۴۸۱۵۱، ۴۳۲۹۲۰ و ۳۸۴۷۶۸ مگاژول در هکتار) بیشتر از ذرت علوفه‌ای (به ترتیب ۳۵۵۵۷، ۲۱۷۳۵۰ و ۱۸۱۷۹۲ مگاژول در هکتار) بود. همچنین، شاخص‌های کارایی مصرف انرژی و انرژی مخصوص در یونجه (به ترتیب ۹ و ۱۵/۸ مگاژول بر کیلوگرم) مقادیر بالاتری از ذرت علوفه‌ای (به ترتیب ۶/۱ و ۴/۱ مگاژول بر کیلوگرم) را نشان داد. از نظر شاخص‌های اقتصادی، علی‌رغم پایین بودن هزینه کل تولید در ذرت علوفه‌ای (۱۰۸۹ دلار در هکتار)، بیشترین ارزش ناخالص تولیدی (۶۴۴۷ دلار در هکتار) و سود خالص (۴۱۹۳ دلار در هکتار) برای یونجه محاسبه گردید. مقایسه بوم‌نظام‌ها نشان داد که در واحد سطح، تولید یونجه در مقایسه با ذرت علوفه‌ای اثر بیشتری بر گرمایش جهانی داشته و نیز اثرات محیط زیستی بیشتری را ناشی از مصرف آفت‌کش‌ها بر جای می‌گذارد. با این وجود، از نظر شاخص کارایی اکولوژیک، ارزش ناخالص محصول یونجه به ازای اثر محیط زیستی ایجاد شده (۱/۷۵ دلار بر کیلوگرم CO₂ در هکتار و ۳۵/۳ دلار بر eq.) بیشتر از ذرت علوفه‌ای (۱/۵ دلار بر کیلوگرم CO₂ در هکتار و ۲۶ دلار بر eq.) به دست آمد. به عبارتی، اثرات محیط زیستی ناشی از تولید یونجه در واحد سطح بیشتر از ذرت علوفه‌ای و به ازای ارزش محصول تولیدی کمتر از ذرت علوفه‌ای می‌باشد. شاخص‌های بهره‌وری زمین، بهره‌وری اقتصادی زمین، بهره‌وری آب آبیاری، بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری و کارایی استفاده از کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب برای یونجه ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار در روز، ۲۱/۵ دلار در هکتار در روز، ۴/۱ کیلوگرم در متر مکعب، ۰/۶۳ دلار در متر مکعب، ۳۳۵ کیلوگرم در کیلوگرم، ۱۱۹۱ کیلوگرم در کیلوگرم و ۱۸۲۶ کیلوگرم در کیلوگرم و برای ذرت علوفه‌ای ۵۸۳ کیلوگرم در هکتار در روز، ۲۲/۹ دلار در هکتار در روز، ۸ کیلوگرم در متر مکعب، ۰/۳۱ دلار در متر مکعب، ۵۶۵ کیلوگرم در کیلوگرم، ۳۵۵۳ کیلوگرم در کیلوگرم و ۶۵۵۲۵ کیلوگرم در کیلوگرم به دست آمد. به طور کلی، نتایج نشان داد که تولید یونجه علی‌رغم مصرف انرژی بیشتر و اثرات محیط زیستی بالا در واحد سطح، از نظر اقتصادی بر تولید ذرت علوفه‌ای برتری دارد.

واژه‌های کلیدی: آفت‌کش، بهره‌وری آب، کارایی انرژی، کارایی مصرف کود، گرمایش جهانی

۱، ۲ و ۴- به ترتیب فارغ‌التحصیل، دانشیار و استادیار گروه آگرواکولوژی،

پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی

۳- استادیار بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش

کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، مشهد، ایران

*-نویسنده مسئول: (Email:mmd323@gmail.com)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.62701

مقدمه

یکی از چالش‌های جدی کشاورزی در قرن بیست و یکم، تأمین امنیت غذایی جمعیت در حال گسترش جهان از منابع پایه محدود نظیر زمین و آب و عناصر غذایی است. اما، توسعه کشاورزی برای پاسخ به این نیاز فزاینده با افزایش چشمگیر مصرف نهاده‌های شیمیایی نظیر کودها، آفت‌کش‌ها، سوخت‌های فسیلی و سایر نهاده‌های پرنرژژی در تولید محصولات کشاورزی همراه شده است که سلامت انسان و محیط‌زیست را به شدت تهدید می‌کند (Pimentel et al., 2005). افزایش جمعیت آفات مقاوم؛ از بین رفتن موجودات غیرهدف نظیر پرندگان، ماهی‌ها، دوزیستان، گرده‌افشان‌ها و کرم‌های خاکی؛ آلودگی آب و هوا و ایجاد بیماری‌های حاد و مزمن در انسان از جمله اثراتی است که از مصرف بی‌رویه و نامناسب آفت‌کش‌های شیمیایی پدید می‌آید (Gill & Garg, 2014). آلودگی آب‌های زیرزمینی با نیترات، انتشار گازهای گلخانه‌ای، تخریب لایه اوزون، کاهش تنوع زیستی در بوم‌نظام‌های خشکی و آبی، آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین، و سرشارسازی (بیوتریفیکاسیون)^۱ بوم‌نظام‌های آبی از مهمترین اثرات محیط زیستی است که ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی در تولید محصولات کشاورزی است (Chien et al., 2009). همچنین، قسمتی از انتشار گازهای گلخانه‌ای (حدود ۱۰ تا ۱۲ درصد) در جهان به بخش کشاورزی مربوط می‌شود که عمدتاً ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، سموم و کودهای شیمیایی، الکتروسیسته و عملیات خاک‌ورزی می‌باشد (Camargo et al., 2013; Yousefi et al., 2016; Mohammadi et al., 2014). بنابراین، ارزیابی کمی بوم‌نظام‌های زراعی از جنبه‌های مختلف می‌تواند با کمک به مدیریت مطلوب این بوم‌نظام‌ها تولید پایدار محصولات را در بلندمدت تضمین می‌کند.

در تحقیقات متعددی، شاخص‌های مربوط به مصرف انرژی (Beheshti Tabar et al., 2010; Mousavi-Avval et al., 2011; Azizi & Heidari, 2013; Sahabi et al., 2013; Mondani et al., 2015; Sahabi et al., 2016)، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (Tzilivakis et al., 2005; Khoshnevisan et al., 2016; Yousefi et al., 2016; al., 2013) و مباحث اقتصادی (Ghorbani et al., 2011; Pishgar Komleh et al., 2011; Azizi &

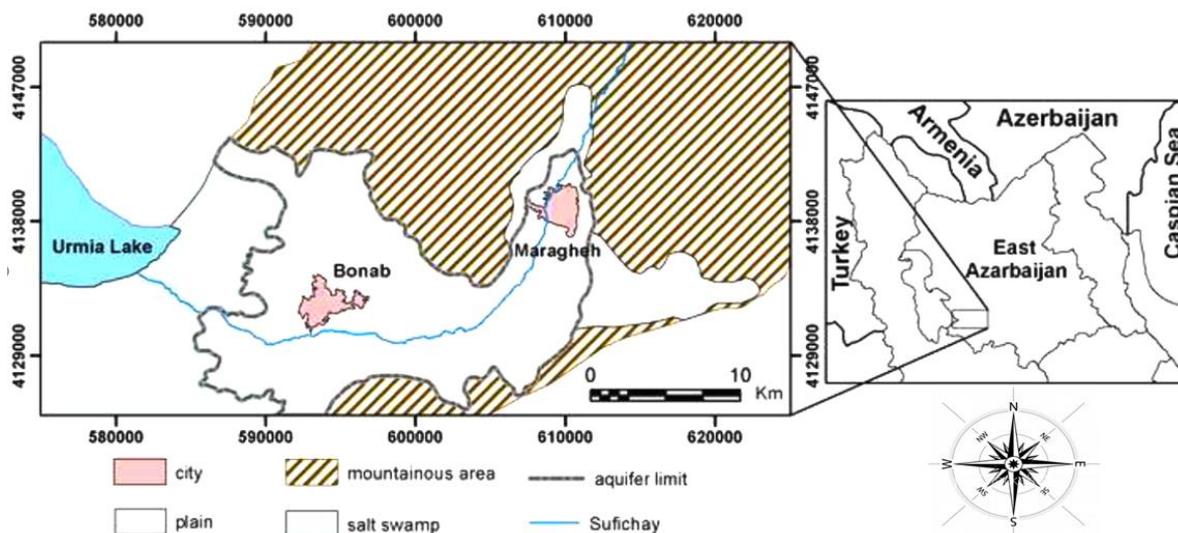
Heidari, 2013; Sahabi et al., 2013; Sahabi et al., 2016) در تولید بسیاری از محصولات زراعی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین، اثرات محیط زیستی ناشی از مصرف آفت‌کش‌ها (Cross & Edwards-Jones, 2006; Deihimfard et al., 2014; Sharma Katerji et al., 2015)، کارایی استفاده از منابع تولید نظیر آب (Singh et al., 2010) (al., 2008; Molden et al., 2010)، زمین (Singh et al., 2010) و کودها (Prasad, 2009; Zhu et al., 2012) در مورد برخی از محصولات زراعی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است که تمامی این موارد می‌توانند به عنوان شاخص‌های کمی در ارزیابی میزان پایداری یک بوم‌نظام زراعی مورد استفاده قرار بگیرند. در بسیاری از این تحقیقات، تنها یک یا چند شاخص از شاخص‌های مورد اشاره در مطالعه محصولات زراعی انتخاب شده‌اند که این موضوع دید جامعی از شرایط تولید محصول، اثرات محیط زیستی و وضعیت اقتصادی را به تصمیم‌گیرندگان ارائه نمی‌کند. بنابراین، مطالعه همزمان این شاخص‌ها در ارزیابی کمی بوم‌نظام‌های زراعی از بعد محیط زیستی و اقتصادی به مدیریت مطلوب در تولید پایدار این محصولات کمک شایانی خواهد نمود.

محصول یونجه (*Medicago sativa L.*) یکی از اصلی‌ترین منابع تأمین‌کننده علوفه مورد نیاز دام در دشت مراغه-بناب بوده و با سطح زیر کشت بیش از ۴۰۰۰ هکتار رتبه دوم پس از گندم (*Triticum aestivum L.*) را در بین محصولات زراعی آبی منطقه به خود اختصاص می‌دهد. کشت ذرت علوفه‌ای (*Zea mays L.*) نیز در منطقه اگر چه طی ۱۰ سال گذشته از ۵۰۰ هکتار تجاوز نکرده است اما به عنوان محصول کشت دوم نقش زیادی در تأمین علوفه مورد نیاز دام منطقه ایفا می‌کند. در مطالعه حاضر برخی از شاخص‌های کمی پایداری شامل: الف) کارایی انرژی و پتانسیل گرمایش جهانی، ب) اثر محیط زیستی آفت‌کش‌ها، ج) سود اقتصادی و د) کارایی استفاده از منابع آب، زمین و کودها به منظور ارزیابی بوم‌نظام‌های یونجه و ذرت علوفه‌ای مورد تحلیل قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و گردآوری اطلاعات

دشت مراغه-بناب با مساحت ۳۳۰ کیلومتر مربع جزو حوضه آبریز دریاچه ارومیه بوده و در جنوب استان آذربایجان شرقی و در شرق دریاچه ارومیه واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (فیجانی و همکاران (Fijani et al., 2013))
 Fig. 1- Location of the study area (Fijani et al., 2013)

شدن شاخص‌های مورد بررسی، تمامی ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم تولید یونجه به صورت میانگین سالانه بیان شده است. شاخص‌های انرژی طبق معادلات ۱ تا ۴ محاسبه گردید (Pimentel, 1980; Herrhz et al., 1995; Hatirli et al., 2006):

کارایی مصرف انرژی:

$$\text{معادله (۱)} \quad \text{کارایی مصرف انرژی} = \frac{\text{انرژی خروجی (مگاژول در هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)}}$$

بهره‌وری انرژی:

$$\text{معادله (۲)} \quad \text{بهره‌وری انرژی} = \frac{\text{عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)}}$$

انرژی خالص:

$$\text{معادله (۳)} \quad \text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)} - \text{انرژی خروجی (مگاژول در هکتار)} = \text{انرژی خالص}$$

انرژی مخصوص:

$$\text{معادله (۴)} \quad \text{انرژی مخصوص} = \frac{\text{انرژی ورودی (مگاژول در هکتار)}}{\text{عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)}}$$

انرژی ورودی در سیستم‌های زراعی را می‌توان به دو شکل مستقیم و غیرمستقیم یا تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم‌بندی کرد. بر اساس این تقسیم‌بندی‌ها، انرژی مستقیم شامل نیروی انسانی، سوخت دیزلی، آب آبیاری و الکتریسیته و انرژی غیرمستقیم شامل بذر، کودهای شیمیایی، کود حیوانی، آفت‌کش‌ها و ماشین‌آلات می‌باشد

طبق اندازه‌گیری‌های انجام شده از سال ۱۹۵۹ الی ۲۰۰۹ میلادی در ایستگاه هواشناسی مراغه، متوسط بارش این منطقه حدود ۳۴۶ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه آن حدود ۱۲/۸ درجه سانتی‌گراد است. میزان تبخیر این منطقه حدود ۱۴۴۰ میلی‌متر است که چهار برابر متوسط بارش منطقه می‌باشد. همچنین، بر اساس اقلیم‌نمای آمبرژه، اقلیم این دشت از نوع سرد و خشک محاسبه شده است (Fijani et al., 2013).

اطلاعات مورد نیاز تحقیق شامل تاریخ کاشت، عملیات زراعی، نوع و میزان نهاده‌های مصرفی، هزینه‌های تولید، میزان عملکرد محصول و در نهایت سود اقتصادی تولید محصول با استفاده از پرسشنامه و مصاحبه حضوری با ۱۱۰ کشاورز تولید کننده یونجه و ذرت علوفه‌ای در منطقه مورد مطالعه به دست آمد. همچنین، قیمت فروش محصول اصلی و فرعی از جهاد کشاورزی استان آذربایجان شرقی تهیه گردید.

محاسبه شاخص‌های مربوط به انرژی

برای محاسبه شاخص‌های انرژی در محصولات مورد مطالعه، انرژی نهاده‌های مصرفی شامل بذر، کود، آفت‌کش‌ها، ماشین‌آلات، آب، نیروی انسانی و غیره که طی عملیات زراعی مورد استفاده قرار می‌گیرند به همراه عملکرد محصول مطابق معادل انرژی آن‌ها که در جدول ۱ نشان داده شده است، محاسبه گردید. به منظور قابل مقایسه

تجدیدناپذیر به شمار می‌رود (Yilmaz et al., 2005). در مطالعه حاضر، انرژی ورودی برای یونجه و ذرت علوفه‌ای طبق دسته‌بندی‌های مذکور محاسبه گردید.

(Yilmaz et al., 2005). همچنین، نیروی انسانی، بذر، آب آبیاری و کود دامی به عنوان انرژی تجدیدپذیر و الکتریسیته، کودهای شیمیایی، سوخت دیزلی، آفت‌کش‌ها و ماشین‌آلات جزو انرژی

جدول ۱- معادل انرژی ورودی و خروجی در بوم‌نظام‌های زراعی یونجه و ذرت علوفه‌ای

Table 1- Energy equivalents of input and output in alfalfa and corn silage production systems

ورودی (الف) a) Inputs	واحد Unit	انرژی معادل (مگاژول بر واحد) Energy equivalents (MJ unit ⁻¹)	منبع Reference
نیروی انسانی Human labour	hr	1.96	De et al. (2001)
ماشین‌آلات Machinery	hr	62.7	Mandal et al. (2002)
گازوئیل Diesel	l	47.8	Kitani (1999)
بنزین Gasoline	l	46.3	Kitani (1999)
نیتروژن Nitrogen	kg	66.14	Hatirli et al. (2006)
فسفر (P ₂ O ₅) Phosphate	kg	12.44	Hatirli et al. (2006)
پتاسیم (K ₂ O) Potassium	kg	11.15	Hatirli et al. (2006)
سولفور Sulphur	kg	1.12	Nagy (1999)
کلسیم Calcium	kg	8.8	Pimentel (1980)
علفکش‌ها Herbicides	l	85	Kitani (1999)
حشره‌کش‌ها Insecticides	l	229	Kitani (1999)
قارچ‌کش‌ها Fungicides	l	115	Kitani (1999)
الکتریسیته Electricity	KWh	12	Kitani (1999)
آب آبیاری Irrigation water	m ³	1.02	Acaroglu (1998)
بذر یونجه Alfalfa seed	kg	28.1	Tsatsarelis & Koundouras (1994)
بذر ذرت علوفه‌ای Alfalfa seed	kg	15.7	Canakci et al. (2005)
ب) خروجی			
b) Outputs			
یونجه Alfalfa	kg	15.8	Tsatsarelis & Koundouras (1994)
ذرت علوفه‌ای Corn silage	kg	4.14	Mohammadi et al. (2014)

و متان (CH₄) در هر یک از نهاده‌ها که در جدول ۲ نشان داده شده است محاسبه گردید. سپس، پتانسیل گرمایش جهانی در یک هکتار بر اساس میزان انتشار هر یک از گازهای گلخانه‌ای و ضریب اثر آن‌ها

محاسبه انتشار گازهای گلخانه‌ای

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به واسطه نهاده‌های شیمیایی مطابق ضرایب انتشار دی‌اکسید کربن (CO₂)، اکسید نیتروس (N₂O)

برای یک دوره ۱۰۰ ساله که برای CO₂ برابر ۱، برای N₂O برابر ۲۱ و برای CH₄ برابر ۳۱۰ بود محاسبه گردید (IPCC, 1995). در نهایت، پتانسیل گرمایش جهانی گازهای گلخانه‌ای انتشار یافته برای یک هکتار یونجه و ذرت علوفه‌ای بر اساس معادل CO₂ بیان گردید.

جدول ۲- انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای مصرف هر واحد نهاده ورودی

Table 2- Gaseous emissions (g) per unit of input

ورودی Input	متان CH ₄	اکسیدنیتروس N ₂ O	دی‌اکسیدکربن CO ₂	منبع Reference
گازوئیل Diesel (l)	5.20	0.70	3560	Kramer et al. (1999)
بنزین Gasoline (l)	*	*	2320	Koga and Tajima (2011)
نیترژن Nitrogen (kg)	3.70	0.03	3100	Snyder et al. (2009)
فسفر Phosphate (kg)	1.80	0.02	1000	Snyder et al. (2009)
پتاسیم Potassium (kg)	1.00	0.01	700	Snyder et al. (2009)
الکتریسیته Electricity (kwh)	0.02	8.82	61.20	Tzilivakis et al. (2005)
علفکش Herbicide (kg)	*	*	6300	Lal (2004)
حشره‌کش Insecticide (kg)	*	*	5100	Lal (2004)
قارچ‌کش Fungicide (kg)	*	*	3900	Lal (2004)
معادل CO ₂ CO ₂ equivalence factor	21	310	1	IPCC (1995)

محاسبه ضریب اثر محیط زیستی آفت‌کش‌ها

برای ارزیابی اثرات محیط‌زیستی آفت‌کش‌های مورد استفاده از روش EIQ² (شاخص اثر محیط‌زیستی آفت‌کش‌ها) استفاده شد. در این روش، میزان سمیت (شامل سمیت‌های مزمن، پوستی، سمیت برای ماهی‌ها، پرندگان، بندپایان و زنبورهای عسل)، آشوبی و تلفات سطحی بالقوه، و نیمه عمر خاک و گیاه برای تخمین میزان آسیب‌رسانی محیط‌زیستی مواد مؤثره آفت‌کش‌های مربوطه مد نظر قرار می‌گیرد. مقدار عددی EIQ میانگین سه جزء اصلی آسیب شامل آسیب بالقوه برای سلامت کارگران مزرعه، آسیب بالقوه برای مصرف‌کنندگان از طریق اثر مستقیم مواد سمی باقیمانده در محصولات غذایی و یا از طریق آلودگی آب‌های زیرزمینی و اثرات منفی بالقوه برای محیط زیست شامل موجودات زنده آبی و خشکی را نشان می‌دهد. بدین ترتیب، این مدل مجموعه اطلاعات اثرات محیط‌زیستی مصرف آفت‌کش‌ها به صورت یک عدد از طریق

محاسبه شاخص‌های اقتصادی

برای محاسبه شاخص‌های اقتصادی از معادلات ۵ تا ۸ استفاده گردید (Zangeneh et al., 2010):

معادله (۵) قیمت هر کیلوگرم محصول (دلار) × عملکرد

محصول (کیلوگرم در هکتار) = ارزش ناخالص تولیدی

معادله (۶) کل هزینه تولید (دلار در هکتار) - ارزش

ناخالص تولیدی (دلار در هکتار) = سود خالص

معادله (۷)
$$\frac{\text{ارزش ناخالص تولیدی (دلار در هکتار)}}{\text{کل تولید هزینه (دلار در هکتار)}} = \text{نسبت سود به هزینه}$$

معادله (۸)
$$\frac{\text{عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)}}{\text{کل تولید هزینه (دلار در هکتار)}} = \text{بهره‌وری اقتصادی}$$

نیز با تقسیم سود خالص (دلار در هکتار) بر طول دوره رشد محصول (روز) محاسبه گردید (Singh et al., 2010).

شاخص‌های مصرف آب آبیاری:

بهره‌وری آب آبیاری^۴: این شاخص از تقسیم عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار) بر حجم آب مصرفی در آبیاری (متر مکعب) حاصل می‌شود (Rodrigues and Pereira, 2009).

بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری^۵: برای محاسبه این شاخص، ارزش اقتصادی محصول تولید شده بر حسب دلار در هکتار بر حجم آب مصرفی در تولید محصول بر حسب متر مکعب، تقسیم گردید (Rodrigues & Pereira, 2009).

شاخص مصرف کودهای شیمیایی

برای محاسبه کارایی مصرف کودهای نیتروژنی، فسفر و پتاسیم، از شاخص بهره‌وری جزئی که بیانگر مقدار محصول به دست آمده (بر حسب کیلوگرم در هکتار) به ازای مقدار کود مصرفی (کیلوگرم) است، استفاده گردید (Mosier et al., 2004).

نتایج و بحث

شاخص‌های انرژی

مقادیر ورودی، خروجی و انرژی معادل آن‌ها در بوم‌نظام‌های زراعی یونجه و ذرت علوفه‌ای در جدول ۳ نشان داده شده است. نیروی انسانی مورد نیاز برای بوم‌نظام‌های یونجه و ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۸۱۴ ساعت در هکتار (۱۵۹۶/۲ مگاژول در هکتار) و ۲۴۸ ساعت در هکتار (۴۸۶/۱ مگاژول در هکتار) معادل ۳/۳ درصد و ۱/۴ درصد از کل انرژی ورودی محاسبه گردید. اصغری‌پور و همکاران (Asgharipour et al., 2016) نیروی انسانی مورد نیاز برای محصول یونجه را برای کل دوره رشدی محصول حدود ۸۸۴ ساعت در هکتار معادل ۱۷۷۳ مگاژول در هکتار به دست آوردند.

معادله‌ای مبتنی بر سه جزء اصلی بیان شده را ارائه می‌دهد. این ضریب طبق معادله ۹ محاسبه گردید (Kovach et al., 1992):
معادله (۹)

$$EIQ = (C[(DT \times 5) + (DT \times P)] + (C \times [(S+P)/2] \times SY) + (L) + (F \times R) + (D \times [(S+P)/2] \times 3) + (Z \times P \times 3) + (B \times P \times 5)/3$$

که در این معادله، C= سمیت مزن، DT= سمیت پوستی، P= نیمه عمر در سطح گیاه، SY= سیستمیک بودن، L= پتانسیل آبشویی، F= سمیت برای ماهی، R= پتانسیل رواناب، D= سمیت برای پرندگان، S= نیمه عمر در خاک، Z= سمیت برای زنبور عسل، و B= سمیت برای بندپایان سودمند می‌باشند.

مقدار EIQ و اجزای آن برای هر آفت‌کش توسط اشنایور و همکاران (Eshenaur et al., 1992-2015) ارائه شده است. با توجه به این نکته که ممکن است درصد ماده مؤثره یک آفت‌کش، دوز مصرف آن و تعداد دفعات سمپاشی برای هر فرمولاسیون متفاوت باشد، به همین دلیل پس از محاسبه مدل ضریب اثر محیط زیستی، از رابطه زیر برای محاسبه EIQ هر آفت‌کش در سطح مزرعه استفاده می‌شود (Levitani, 2000):

معادله (۱۰)

$$FEIQ \text{ for } i\text{th crop} = \sum_{j=1}^j EIQ \text{ of pesticide}_j \times \% \text{ active ingredient of pesticide}_j \times \text{dosage rate per ha of pesticide}_j$$

محاسبه شاخص‌های مربوط به مصرف زمین، آب و کودهای شیمیایی

شاخص‌های استفاده از زمین:

کارایی استفاده از زمین^۱: برای محاسبه کارایی استفاده از زمین، طول دوره رشد گیاه (بر حسب روز) بر ۳۶۵ روز تقسیم گردید (Singh et al., 2010).

کارایی تولید زمین^۲: برای محاسبه کارایی تولید زمین بر حسب کیلوگرم در هکتار در روز، میزان محصول تولیدی بر طول دوره رشد گیاه تقسیم گردید (Singh et al., 2010).

کارایی اقتصادی تولید زمین^۳: کارایی اقتصادی تولید زمین

4- Irrigation water productivity
5- Economic irrigation water productivity

1- Land use efficiency
2- Land production efficiency
3- Economic land production efficiency

جدول ۳- مقادیر و انرژی ورودی و خروجی در بوم‌نظام‌های زراعی یونجه و ذرت علوفه‌ای

Table 3- Inputs and outputs expressed as quantity and its energy equivalents per unit area for alfalfa and corn silage production systems

الف) ورودی a) Inputs	واحد Unit	مقدار در واحد سطح (واحد در هکتار) Quantity per unit area (per ha)		معادل انرژی در واحد سطح (مگاژول در هکتار) Total energy equivalents (MJ.ha ⁻¹)	
		ذرت علوفه‌ای Corn silage	یونجه Alfalfa	ذرت علوفه‌ای Corn silage	یونجه Alfalfa
نیروی انسانی Human labour	hr	248	814	486.1 (1.4%)	1596.2 (3.3%)
ماشین‌آلات Machinery	hr	15.7	20	984.4 (2.8%)	1254 (2.6%)
گازوئیل Diesel	l	369.7	448	17672.4 (49.7%)	21422.3 (44.5%)
نیتروژن Nitrogen	kg	92.8	81.8	6137.8 (17.3%)	5410 (11.2%)
فسفر (P ₂ O ₅) Phosphate	kg	15.2	23	189.1 (0.5%)	286 (0.6%)
پتاسیم (K ₂ O) Potassium	kg	0.8	0	8.9 (0.03%)	0
گوگرد Sulphur	kg	0	0.3	0	0.33 (0.0007%)
کلسیم Calcium	kg	0	3.6	0	31.7 (0.06%)
کود دامی Farmyard manure		0	10000	0	3000 (6.2%)
علفکش‌ها Herbicides	l	1.1	2.85	96.1 (0.3%)	242.2 (0.5%)
حشره‌کش‌ها Insecticides	l	1.3	2.83	297.7 (0.8%)	648 (1.3%)
قارچ‌کش‌ها Fungicides	l	1.3	0.435	154.1 (0.4%)	50 (0.1%)
الکتریسیته Electricity	KWh	120.0	580.6	1440.0 (4%)	6967.2 (14.5%)
آب آبیاری Irrigation water	m ³	6555	6674	6686.4 (18.8%)	6807.7 (14.1%)
بذر Seed	kg	50.0	15.5	1405.0 (4%)	435.5 (0.9%)
ب) خروجی b) Outputs					
عملکرد Yield	kg	52500	27400	217350 (100%)	432920 (100%)

مختلفی نظیر ضریب مکانیزاسیون، نوع عملیات زراعی، اندازه مزارع و غیره قرار بگیرد.

ساعت کارکرد ماشین‌آلات برای بوم‌نظام‌های یونجه و ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۲۰ ساعت در هکتار (۱۲۵۴ مگاژول در هکتار با سهم ۲/۶ درصدی از کل انرژی ورودی) و ۱۵/۷ ساعت در هکتار (۹۸۴/۴ مگاژول در هکتار با سهم ۲/۸ درصدی از کل انرژی ورودی)

سفیدپری و همکاران (Sefeedpari et al., 2012) مصرف انرژی در تولید ذرت علوفه‌ای را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها انرژی معادل نیروی انسانی مورد نیاز برای تولید یک هکتار ذرت علوفه‌ای را پایین تر از پژوهش حاضر و حدود ۴۴ مگاژول (۰/۱ درصد از کل انرژی ورودی) در هکتار گزارش کردند. تفاوت در نیروی انسانی به کار رفته برای تولید محصولات زراعی مختلف می‌تواند تحت تأثیر عوامل

و گوگرد است (Ghasemi Mobtaker et al., 2010b; Zangeneh et al., 2010; Mousavi-Avval et al., 2011). از آنجایی که محصول یونجه قابلیت تثبیت زیستی نیتروژن را دارد، لذا مصرف کودهای نیتروژنی در کشت یونجه نسبت به محصولات زراعی غیرلگوم نسبتاً پایین‌تر می‌باشد.

در بین ورودی‌های بوم‌نظام‌های مورد مطالعه، آفت‌کش‌ها کمترین سهم از کل انرژی ورودی را دارا بوده و سهم حشره‌کش‌ها بیشتر از قارچ‌کش‌ها و علف‌کش‌ها محاسبه گردید. گزارش بهشتی‌تبار و همکاران (Beheshti Tabar et al., 2010) نیز مؤید این مطلب است که سهم آفت‌کش‌ها از کل انرژی ورودی در تولید محصولات زراعی کمتر از سایر ورودی‌ها می‌باشد.

میزان انرژی ورودی از الکتریسیته مصرفی در بوم‌نظام‌های یونجه و ذرت علوفه‌ای به ترتیب $6967/2$ مگاژول در هکتار ($14/5$ درصد) و 1440 مگاژول در هکتار (4 درصد) به دست آمد. در مطالعات مشابه انجام گرفته، سهم انرژی الکتریسیته مصرفی از کل انرژی ورودی در تولید محصول یونجه بین $24/3$ الی $77/3$ درصد گزارش شده است (Ghasemi Mobtaker et al., 2010a; Yousefi & Mohammadi, 2011; Asgharipour et al., 2016). تفاوت در مقادیر گزارش شده را می‌توان به سهم متفاوت هر یک از منابع تأمین کننده انرژی برای پمپاژ آب شامل سوخت‌های فسیلی (عمدتاً گازوئیل) و نیروی الکتریسیته در مناطق مختلف تولید نسبت داد.

در مطالعه حاضر، انرژی معادل آب آبیاری به ترتیب برای یونجه و ذرت علوفه‌ای حدود $6807/7$ مگاژول در هکتار ($14/1$ درصد) و $6686/4$ مگاژول در هکتار ($18/8$ درصد) محاسبه گردید. در سایر مطالعات انجام گرفته، این میزان ذرت علوفه‌ای حدود 6372 مگاژول در هکتار با $9/2$ درصد از کل انرژی ورودی (Pishgar Komleh et al., 2011) و برای یونجه حدود 4135 مگاژول در هکتار با سهم $8/3$ درصدی از کل انرژی ورودی (Yousefi & Mohammadi, 2011) گزارش شده است. میزان انرژی مربوط به آب آبیاری در تولید محصولات زراعی می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی نظیر اقلیم، نیاز آبی محصول زراعی، نوع روش آبیاری، مدیریت‌های زراعی و غیره قرار بگیرد.

مقدار بذر مصرفی یونجه در منطقه مورد مطالعه 62 کیلوگرم در هکتار (معادل 1742 مگاژول در هکتار) می‌باشد که با میانگین سالانه $15/5$ کیلوگرم در هکتار (میانگین سالانه چهار سال چرخه تولید

به دست آمد. یوسفی و محمدی (Yousefi & Mohammadi, 2011) انرژی ورودی مربوط به ماشین آلات در تولید یونجه را $40/9$ ساعت در هکتار معادل 2564 مگاژول در هکتار با سهم $5/5$ درصد از کل انرژی ورودی گزارش کردند. سفیدپری و همکاران (Sefeedpari et al., 2012) این میزان را برای ذرت علوفه‌ای حدود 2148 مگاژول در هکتار با $5/8$ درصدی از کل انرژی ورودی گزارش کردند. دلیل پایین بودن انرژی مربوط به ماشین‌آلات در مطالعه حاضر نسبت به گزارشات دیگر را می‌توان به این موضوع نسبت داد که در منطقه مورد مطالعه، بخشی از عملیات برداشت محصول به ویژه در مورد یونجه نظیر ردیف کردن یا بسته‌بندی به صورت دستی انجام می‌گیرد که این موضوع سبب افزایش سهم نیروی انسانی و کاهش سهم ماشین‌آلات از کل انرژی ورودی برای تولید محصول می‌گردد.

گازوئیل مصرفی در هر دو بوم‌نظام یونجه و ذرت علوفه‌ای بیشترین سهم را در کل انرژی ورودی داشت. این میزان در یونجه معادل $21422/3$ مگاژول در هکتار با سهم $44/5$ درصد از کل انرژی ورودی و در ذرت علوفه‌ای معادل $17672/4$ مگاژول در هکتار با سهم $49/7$ درصد از کل انرژی ورودی بود. یوسفی و محمدی (Yousefi & Mohammadi, 2011) گزارش کردند که گازوئیل مصرفی با انرژی معادل حدود 21418 مگاژول در هکتار سهم $43/1$ درصدی از کل انرژی ورودی تولید یونجه را به خود اختصاص می‌دهد. سفیدپری و همکاران (Sefeedpari et al., 2012) نیز میزان انرژی مربوط به مصرف گازوئیل را در تولید ذرت علوفه‌ای معادل 9685 مگاژول در هکتار با سهم $26/5$ درصدی گزارش کردند. بخش عمده‌ای از گازوئیل مصرفی در منطقه مورد مطالعه برای ماشین‌آلات کشاورزی و موتور پمپ‌های دیزلی برای پمپاژ آب به کار می‌رود.

در مورد یونجه، مصرف کودهای شیمیایی پرمصرف (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) از نظر انرژی معادل بعد از گازوئیل، الکتریسیته و آب آبیاری قرار می‌گیرد، در حالی که در مورد ذرت علوفه‌ای، انرژی معادل کودهای شیمیایی پس از گازوئیل و آب آبیاری در جایگاه بعدی قرار می‌گیرد. در بین کودهای مصرف شده، سهم کود نیتروژن از کل انرژی ورودی قابل توجه و برای یونجه و ذرت علوفه‌ای به ترتیب 5410 مگاژول در هکتار ($11/2$ درصد از کل انرژی ورودی) و 6138 مگاژول در هکتار ($17/3$ درصد از کل انرژی ورودی) محاسبه گردید. محققین مختلفی گزارش کردند که در تولید محصولات زراعی، سهم کودهای نیتروژنی از کل انرژی ورودی بیش از کودهای فسفر، پتاسیم

ورودی سیستم گزارش کردند.

کل انرژی ورودی برای بوم‌نظام‌های یونجه و ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۴۸۱۵۱ مگاژول در هکتار و ۳۵۵۵۷ مگاژول در هکتار محاسبه گردید (جدول ۴). همچنین، میزان انرژی خروجی برای یونجه و ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۴۳۲۹۲۰ مگاژول در هکتار و ۲۱۷۳۵۰ مگاژول در هکتار به دست آمد. بدین ترتیب، انرژی خالص برای بوم‌نظام‌های یونجه و ذرت علوفه‌ای به میزان ۳۸۴۷۶۸ مگاژول در هکتار برای یونجه و ۱۸۱۷۹۲ مگاژول در هکتار برای ذرت علوفه‌ای محاسبه شد (جدول ۴).

یونجه) با انرژی معادل ۴۳۵/۵ مگاژول در هکتار، سهم ۰/۹ درصدی از کل انرژی ورودی را به خود اختصاص می‌دهد. این میزان در مورد ذرت علوفه‌ای ۵۰ کیلوگرم در هکتار معادل ۱۴۰۵ مگاژول در هکتار می‌باشد که سهم ۴ درصدی از کل انرژی ورودی را به خود اختصاص می‌دهد. در سایر تحقیقات، سهم بذریونجه از کل انرژی ورودی بین ۰/۴ الی ۲/۶۹ مگاژول در هکتار گزارش شده است (Yousefi & Mohammadi, 2011; Ghasemi Mobtaker et al., 2012; Sefeedpari et al., 2016). سفیدپری و همکاران (Asgharipour et al., 2012) (et al., 2012) انرژی معادل بذری مصرفی در تولید ذرت علوفه‌ای را حدود ۳۰۰۰ مگاژول در هکتار با سهم ۸/۲ درصدی از کل انرژی

جدول ۴- مقادیر و انرژی ورودی و خروجی در بوم‌نظام‌های زراعی یونجه و ذرت علوفه‌ای

Table 4- Indicators and different forms of energy use in alfalfa and corn silage production systems

شاخص Indicator	واحد Unit	ذرت علوفه‌ای Corn silage	یونجه Alfalfa
انرژی ورودی Inputs energy	MJ.ha ⁻¹	35557	48151
انرژی خروجی Output energy	MJ.ha ⁻¹	217350	432920
انرژی خالص Net energy	MJ.ha ⁻¹	181792	384768
کارایی مصرف انرژی Energy use efficiency	-	6.1	9
انرژی مخصوص Specific energy	MJ.kg ⁻¹	4.1	15.8
بهره‌وری انرژی Energy productivity	Kg.MJ ⁻¹	1.50	0.57
شکل‌های انرژی Forms of energy			
انرژی مستقیم Direct energy	MJ.ha ⁻¹	26285 (73.9%)	36793 (74.4%)
انرژی غیر مستقیم Indirect energy	MJ.ha ⁻¹	9273 (26.1%)	12643 (25.6%)
انرژی تجدیدپذیر Renewable energy	MJ.ha ⁻¹	8577 (24.1%)	10125 (20.5%)
انرژی تجدیدناپذیر Non-renewable energy	MJ.ha ⁻¹	26980 (75.9%)	39312 (79.5%)

(2012) به ترتیب حدود ۳۶۵۱۳، ۱۲۷۰۷۷ و ۹۰۵۶۳ مگاژول در هکتار و توسط پیشگار کومله و همکاران (Pishgar Komleh et al., 2011) به ترتیب ۶۸۹۲۸، ۱۴۸۳۸۰ و ۷۹۴۵۲ مگاژول در هکتار گزارش شده است. با توجه به نتایج مطالعه حاضر و تحقیقات قبلی می‌توان بیان کرد که تولید یونجه در مقایسه با ذرت علوفه‌ای به انرژی ورودی بیشتری نیاز دارد، اما با توجه به عملکرد تولیدی این محصول

در سایر مطالعات، میانگین سالانه انرژی ورودی و انرژی خروجی برای یونجه به ترتیب بین ۴۹۶۸۹ تا ۱۱۵۷۹۵ و ۲۱۷۸۸۷ تا ۲۴۰۰۷۲ مگاژول در هکتار گزارش شده است (Yousefi & Mohammadi, 2011; Ghasemi Mobtaker et al., 2012). در مطالعات مشابه صورت گرفته، انرژی ورودی، انرژی خروجی و انرژی خالص برای ذرت علوفه‌ای توسط سفیدپری و همکاران (Sefeedpari et al.,

شاخص‌های اقتصادی

بررسی شاخص‌های اقتصادی نشان داد (جدول ۵) که میزان ارزش ناخالص تولیدی در یونجه (۶۴۴۷ دلار در هکتار) بیشتر از ذرت علوفه‌ای (۳۱۵۰ دلار در هکتار) است. همچنین، علی‌رغم بالا بودن کل هزینه تولید در کشت یونجه (۲۲۵۴ دلار در هکتار) نسبت به ذرت علوفه‌ای (۱۰۸۹ دلار در هکتار)، سود خالص در تولید یونجه (۴۱۹۳ دلار در هکتار) نزدیک دو برابر بیشتر از ذرت علوفه‌ای (۲۰۶۱ دلار در هکتار) محاسبه گردید. شاخص نسبت سود به هزینه در یونجه با مقدار ۲/۸ اندکی پایین‌تر از ذرت علوفه‌ای با مقدار ۲/۹ به دست آمد. همچنین، میزان بهره‌وری اقتصادی در یونجه با مقدار ۱۲/۲ کیلوگرم بر دلار کمتر از ذرت علوفه‌ای با ۴۲/۲ کیلوگرم بر دلار محاسبه گردید. پیشگام کومله و همکاران (Pishgar Komleh et al., 2011) با تجزیه و تحلیل اقتصادی تولید ذرت علوفه‌ای در استان تهران، ارزش ناخالص تولید، کل هزینه‌های تولید و سود خالص را به ترتیب ۳۰۹۱، ۱۹۷۳ و ۱۱۱۸ دلار در هکتار گزارش کردند. آن‌ها همچنین مقدار شاخص سود به هزینه و بهره‌وری را به ترتیب ۱/۵۷ و ۳۱ کیلوگرم بر دلار گزارش کردند. در مطالعه دیگری که در شهرستان بوکان توسط قادرپور و همکاران (Ghaderpour et al., 2016) انجام گرفت، شاخص‌های هزینه تولید، درآمد خالص، نسبت سود به هزینه و بهره‌وری اقتصادی تولید یونجه به ترتیب حدود ۱۴۴۶ دلار در هکتار، ۱۵۲۷ دلار در هکتار، ۲ و ۱۰/۱ کیلوگرم بر دلار به دست آمد. با توجه به نتایج این محققین و نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر می‌توان بیان کرد که تولید یونجه در مقایسه با ذرت علوفه‌ای سود خالص بیشتری را نصیب تولید کنندگان می‌کند.

پتانسیل گرمایش جهانی

مقایسه بوم‌نظام‌های یونجه و ذرت علوفه‌ای نشان داد که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از آن در کشت یونجه معادل ۳۶۸۳ کیلوگرم CO₂ در هکتار و در کشت ذرت علوفه‌ای معادل ۲۱۰۳ کیلوگرم CO₂ در هکتار بود. با این حال، میزان کارایی اکولوژیک از بُعد پتانسیل گرمایش جهانی که بیانگر ارزش محصول به دست آمده به ازای اثر محیط زیستی است، در یونجه ۱/۷۵ دلار به معادل کیلوگرم CO₂ در هکتار و در ذرت علوفه‌ای ۱/۵ دلار به معادل کیلوگرم CO₂ در هکتار محاسبه گردید.

که انرژی خروجی بیشتری را در مقایسه با ذرت علوفه‌ای تولید می‌کند، از نظر بیان انرژی (انرژی خالص تولیدی) می‌تواند نسبت به ذرت علوفه‌ای برتری داشته باشد.

مقایسه بوم‌نظام‌های یونجه و ذرت علوفه‌ای از نظر شاخص‌های انرژی نشان داد که مقادیر کارایی مصرف انرژی و انرژی مخصوص در یونجه (به ترتیب ۹ و ۱۵/۸ مگاژول در هکتار) بیشتر از ذرت علوفه‌ای (به ترتیب ۶/۱ و ۴/۱ مگاژول در هکتار) بود اما مقدار بهره‌وری انرژی در ذرت علوفه‌ای (۱/۵ کیلوگرم بر مگاژول) بالاتر از یونجه (۰/۵۷ کیلوگرم بر مگاژول) به دست آمد (جدول ۳). در مطالعات قبلی انجام شده، مقدار کارایی مصرف انرژی برای ذرت علوفه‌ای بین ۲/۲۷ الی ۱۱/۹۱ (Pishgar Komleh et al., 2011; Sefeedpari et al., 2012; Houshyar et al., 2015) و برای یونجه بین ۱/۸ الی ۴/۸۳ (Ghasemi Mobtaker et al., 2010a; Yousefi & Mohammadi, 2011; Asgharipour et al., 2016) گزارش شده است. از آنجایی که در هر دو بوم‌نظام مورد مطالعه، سهم عمده انرژی ورودی به مصرف گازوئیل، کودهای شیمیایی و الکتریسیته مربوط می‌شود، لذا با مدیریت مناسب عملیات زراعی تا حد زیادی می‌توان میزان انرژی مصرفی را کاهش و عملکرد محصول را افزایش داد و بدین ترتیب کارایی مصرف و بهره‌وری انرژی را افزایش داد.

بررسی اشکال انرژی ورودی نشان داد که در هر دو بوم‌نظام یونجه و ذرت علوفه‌ای، سهم انرژی مستقیم بیش از انرژی غیرمستقیم و سهم انرژی تجدیدناپذیر بیش از انرژی تجدیدپذیر بود. این نتیجه با یافته‌های محققین دیگر نیز مطابقت دارد (Ghasemi Mobtaker et al., 2010b; Zangeneh et al., 2010; Azizi & Heidari, 2013; Khoshnevisan et al., 2013). محدود بودن انرژی‌های تجدیدناپذیر از یکسو و مشکلات محیط زیستی ناشی از مصرف این شکل از انرژی، ضرورت کاهش استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر و جایگزینی آن‌ها با منابع انرژی تجدیدپذیر را چندین برابر می‌کند. جایگزینی کودهای شیمیایی با کودهای دامی، کود سبز، کودهای زیستی؛ استفاده از سیستم‌های بدون خاک‌ورزی یا کم‌خاک‌ورزی؛ مدیریت مصرف آب که با مصرف الکتریسیته یا سوخت‌های فسیلی برای پمپاژ آب آبیاری در ارتباط می‌باشد از جمله مواردی است که می‌تواند در فرایند تولید محصولات زراعی به کاهش سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر از کل انرژی ورودی کمک کند.

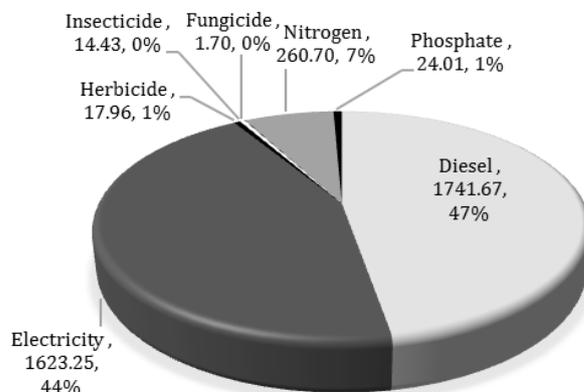
جدول ۵- تجزیه و تحلیل اقتصادی بوم‌نظام‌های زراعی یونجه و ذرت علوفه‌ای
Table 5- Economic analysis of alfalfa and corn silage production systems

شاخص‌ها Indicators	واحد Unit	ذرت علوفه‌ای Corn silage	یونجه Alfalfa
ارزش ناخالص تولیدی Gross production value	\$ ha ⁻¹	3150	6447
کل هزینه تولید Total cost of production	\$ ha ⁻¹	1089	2254
سود خالص Net return	\$ ha ⁻¹	2061	4193
نسبت سود به هزینه Benefit to cost ratio	-	2.9	2.8
بهره‌وری اقتصادی Economic productivity	kg \$ ⁻¹	48.2	12.2

۶۰۹۴ کیلوگرم CO₂ در هکتار گزارش کردند.

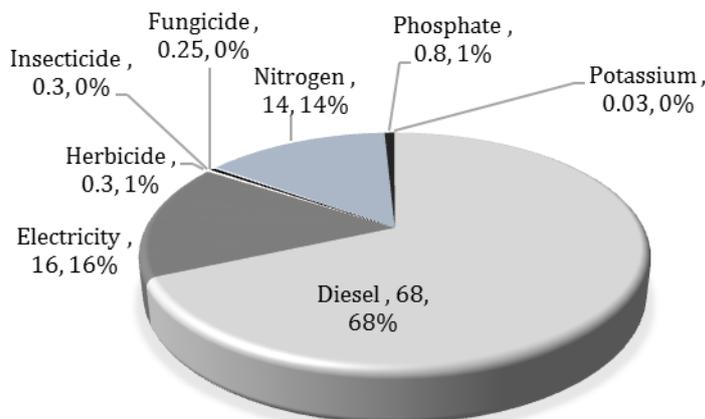
نتایج نشان داد که در هر دو بوم‌نظام مورد مطالعه، گازوئیل، الکتریسیته و کود نیتروژن بیشترین سهم را در پتانسیل گرمایش جهانی داشتند (شکل‌های ۳ و ۴). گازوئیل سوخت مورد نیاز بیشتر ماشین‌آلات کاشت، داشت و برداشت محصولات علوفه‌ای بوده و در بعضی از موتور پمپ‌های آب نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین، بسیاری از ایستگاه‌های پمپاژ آب نیروی مورد نیاز را از طریق نیروی الکتریسیته تأمین می‌کنند. تحقیقات انجام گرفته بر روی سایر محصولات زراعی نیز بیانگر این مطلب است که نهاده‌های گازوئیل، الکتریسیته و کود نیتروژن بیشترین سهم را در پتانسیل گرمایش جهانی دارند (Yousefi et al., 2016; Bakhtiari et al., 2013; Khoshnevisan et al., 2015).

این بدین مفهوم است که اگرچه پتانسیل گرمایش جهانی در تولید یونجه در واحد سطح از ذرت علوفه‌ای بیشتر است، اما به ازای ارزش محصول تولید شده کمتر از آن می‌باشد. دفعات بیشتر عملیات برداشت یونجه در منطقه مورد مطالعه که بین ۴ الی ۵ برداشت می‌باشد نسبت به ذرت علوفه‌ای که تنها در یک مرحله برداشت می‌شود مصرف بیشتر سوخت فسیلی را توسط ماشین‌آلات برداشت به دنبال دارد که این موضوع را می‌توان از عوامل اصلی بالا بودن انتشار گازهای گلخانه‌ای در این محصول دانست. هوشیار و همکاران (Houshyar et al., 2015) میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را در تولید یونجه معادل ۵۰۰۰ کیلوگرم CO₂ در هکتار گزارش کردند. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2014) پتانسیل گرمایش جهانی را برای گندم حدود ۱۱۷۱، برای جو ۱۱۰۵، برای کلزا ۱۰۶۳، برای ذرت علوفه‌ای ۲۸۸۲، برای سویا ۱۷۹۱ و برای برنج



شکل ۳- سهم ورودی‌های مختلف بوم‌نظام‌های زراعی یونجه در گرمایش جهانی

Fig. 3- The proportion of different input of alfalfa production systems in global warming potential



شکل ۴- سهم ورودی‌های مختلف بوم‌نظام‌های زراعی ذرت علوفه‌ای در گرمایش جهانی

Fig. 4- The proportion of different input of corn silage production systems in global warming potential

کش‌ها را در تولید صیفی‌جات در بریتانیا مورد مطالعه قرار دادند و گزارش کردند که ضریب اثر محیط زیستی ناشی از مصرف حشره‌کش‌ها بیشتر از قارچ‌کش‌ها و علف‌کش‌ها می‌باشد. آن‌ها گزارش کردند که ضریب اثر محیط زیستی ناشی از مصرف آفت‌کش‌ها در پیاز (*Allium ampeloprasum* L.) و تره‌فرنگی (*Allium cepa* L.) بیشتر از محصولات نخود (*Pisum Sativum* L.)، لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، کاهو (*Lactuca sativa* L.) و کلمیان است. دیهیم فرد و همکاران (Deihimfard et al., 2007) با ارزیابی ریسک علف‌کش‌های مصرفی در ایران طی برنامه خودکفایی گندم گزارش نمودند که در بین علف‌کش‌ها، 2,4-D/MCPA بیشترین مقدار مصرف و اثرات محیط زیستی مزرعه‌ای را داشته است. شارما و همکاران (Sharma et al., 2015) نیز مقدار اثر محیط زیستی ناشی از مصرف آفت‌کش‌ها را در هند برای محصولات گل‌کلم (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L. var. *capitata* L. Moench)، بامیه (*Abelmoschus esculentus* L.) و بادمجان (*Solanum melongena* L.) به ترتیب ۳۷/۸، ۴۷/۸، ۱۲۹/۵ و ۲۳۱/۷ در هکتار گزارش کردند.

شاخص کارایی اکولوژیک از نظر اثر محیط‌زیستی آفت‌کش‌ها در مزارع یونجه ۳۵/۳ دلار به ضریب اثر محیط‌زیستی و در مزارع ذرت علوفه‌ای ۲۶ دلار به ضریب اثر محیط زیستی بود. بنابراین، با وجود اینکه تولید یونجه اثر محیط‌زیستی بیشتری را ناشی از مصرف آفت‌کش‌ها بر جای می‌گذارد، به دلیل ارزش ناخالص تولیدی بالا نسبت به ذرت علوفه‌ای، اثر کمتری را به ازای ارزش محصول تولیدی بر جای می‌گذارد.

اثر محیط زیستی آفت‌کش‌ها

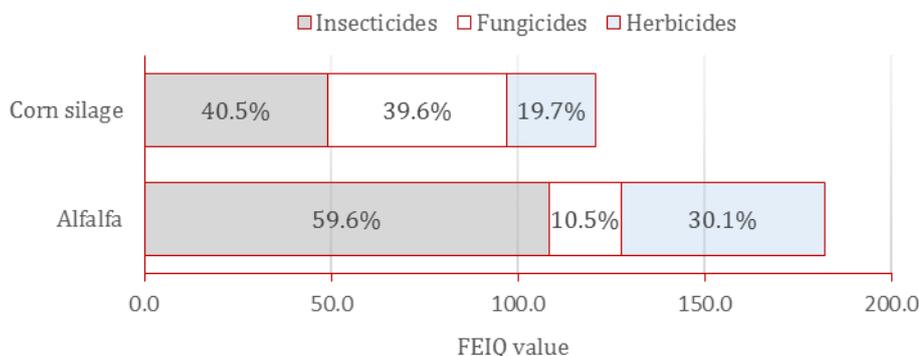
نتایج نشان داد که ضریب اثر محیط زیستی ناشی از مصرف آفت‌کش‌ها در مزارع یونجه ۱۸۲/۳ واحد در هکتار و در مزارع ذرت علوفه‌ای ۱۲۰/۵ در هکتار بود (جدول ۶). در مورد علف‌کش‌ها، پاراکوات^۱ و کلرتال‌دی‌متیل^۲ (داکتال) بیشترین اثر محیط زیستی را در تولید یونجه و آمترین^۳ و توفوردی^۴ بیشترین اثر محیط زیستی را در تولید ذرت علوفه‌ای بر جای می‌گذارند که در مقایسه با سایر علف‌کش‌ها به میزان بیشتری مورد استفاده قرار می‌گیرند. از گروه حشره‌کش‌ها، فن‌والریت^۵ و دیازینون^۶ در تولید یونجه و فنیتروتیون^۷ و دیازینون در تولید ذرت بیشترین اثر محیط زیستی را ایجاد می‌کنند. قارچ‌کش کاربندازیم^۸ نیز در بین قارچ‌کش‌های مورد استفاده در هر دو بوم‌نظام مورد مطالعه بیشترین اثر محیط زیستی را ایجاد می‌کند. همانطور که در شکل ۵ نیز نشان داده شده است، در هر دو بوم‌نظام مورد بررسی حشره‌کش‌ها در مقایسه با قارچ‌کش‌ها و علف‌کش‌ها اثر محیط زیستی بیشتری را بر جای می‌گذارند. تنوع و مقدار مصرف بیشتر حشره‌کش‌ها نسبت به قارچ‌کش‌ها و علف‌کش‌ها را می‌توان دلیل این موضوع بیان کرد. کراس و ادوارد جونز (Cross & Edwards-Jones, 2006) اثرات محیط زیستی ناشی از مصرف آفت

- 1- Paraquat
- 2- Chlorthal Dimethyl
- 3- Ametryn
- 4- 2,4-D
- 5- Fenvalerate
- 6- Diazinon
- 7- Fenitrothion
- 8- Carbendazim

جدول ۶- نوع، مقدار و اثر محیط زیستی آفت‌کش‌های مورد استفاده در بوم‌نظام‌های زراعی یونجه و ذرت علوفه‌ای
Table 6- Pesticides name, amount used and EIQ in alfalfa and corn silage production systems

نوع آفت‌کش Type of pesticide	نام آفت‌کش Pesticide Name	مقدار ماده مؤثره مصرفی (کیلوگرم یا لیتر در هکتار) Active ingredient used (kg.l ⁻¹ per ha)		ضریب اثر محیط زیستی آفت‌کش EIQ	ضریب اثر محیط زیستی مزرعه‌ای Field EIQ	
		ذرت علوفه‌ای Corn silage	یونجه Alfalfa		ذرت علوفه‌ای Corn silage	یونجه Alfalfa
علف‌کش Herbicide	پاراکوات Paraquat	0	1	24.7	0	25.7
	ایمازاتاپیر Imazethapyr	0	0.06	19.5	0	1.2
	تریفلورالین Trifluralin	0	0.21	18.8	0	4
	گلیفوسیت Glyphosate	0	0.04	15.3	0	0.6
	کلرتال دی‌متیل Chlorthal Dimethyl	0	1.5	15.4	0	23.1
	توفوردی 2,4-D	0.45	0	16.6	7.5	0
	نیکوسولفورون Nicosulfuron	0.013	0	19.5	0.26	0
	آمتترین Ametryn	0.66	0	24.1	16.1	0
	دلتامترین Deltamethrin	0.005	0.03	28.3	0.14	0.8
	استامی پراید Acetamiprid	0	0.02	28.7	0	0.6
حشره‌کش Insecticide	کلرپیریفوس Chlorpyrifos	0.20	0.40	26.8	5.4	10.9
	دیازینون Diazinon	0.3	0.45	44	13.2	19.8
	ایمیداکلوپراید Imidacloprid	0.04	0.31	36.7	1.5	11.5
	اندوسولفان Endosulfan	0	0.15	38.5	0	6
	فوزالون Phosalone	0	0.14	34.4	0	4.8
	فنیتروثیون Fenitrothion	0.41	0.25	52	21.6	13
	آبامکتین Abamectin	0	0.002	34.7	0	0.7
	فن والریت Fenvalerate	0	0.84	39.5	0	33.2
	پرمترین Permethrin	0	0.04	29.3	0	1
	سایپرمتترین Cypermethrin	0	0.16	36.3	0	5.8
قارچ‌کش Fungicide	هگزری تیاوکس Hexythiazox	0.008	0	33	0.27	0
	اتیون Ethion	0.15	0	43.2	6.7	0
	کاربندازیم Carbendazim	0.7	0.3	50.5	35.3	15.1
	کربوکسین Carboxin	0.62	0	18.7	11.7	0
	کروزاکسیم میتیل kresoxim-methyl	0	0.025	15	0	0.4
	پنکونازول Penconazole	0.016	0.01	54.6	0.9	0.5
بنومیل Benomyl	0	0.1	30.2	0	3	

سایر Others	فنپروپاترین Fenpropathrin	0	0.025	25.3	0	0.6
مجموع آفت‌کش‌ها Sum of Pesticides		-	-	-	120.5	182.3



شکل ۵- سهم درصدی حشره‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و علف‌کش‌ها از کل شاخص FEIQ در بوم‌نظام‌های زراعی ذرت علوفه‌ای و یونجه
 Fig. 5- Percent contribution of insecticides, fungicides and herbicides in FEIQ of silage corn and alfalfa production systems

(Heydari, 2011). در مطالعه دیگر، غلامی و همکاران (Gholami et al., 2016) بهره‌وری آب آبیاری با سیستم‌های آبیاری بارانی را برای جو ۰/۷۵ تا ۲/۵، یونجه ۰/۱۲ تا ۱/۷۶، ذرت ۰/۳ تا ۲/۷۸ و گندم ۰/۶۱ تا ۲/۲ کیلوگرم بر متر مکعب و در سیستم آبیاری سطحی برای جو ۰/۴۳ تا ۱/۴۲، یونجه ۰/۱۲ تا ۱/۶۴، ذرت ۰/۲۲ تا ۱/۵۸ و گندم ۰/۴۳ تا ۱/۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب برآورد کردند. تفاوت در بهره‌وری آب آبیاری بین محصولات و مناطق مختلف می‌تواند تحت تأثیر عوامل و پارامترهای زیادی از جمله شرایط اقلیمی، کیفیت آب و خاک، نوع منبع آب و سیستم آبیاری، مسائل مدیریت به‌زراعی و به نژادی، ارقام گیاهی، مالکیت و مساحت اراضی و میزان و نوع عملیات و نهاده‌های کشاورزی بستگی داشته باشد. از دید اقتصادی، بهره‌وری آب آبیاری در یونجه (۰/۶۳ دلار بر متر مکعب) نسبت به ذرت علوفه ای (۰/۳۱ دلار بر متر مکعب) برتری نشان داد. غلامی و همکاران (Gholami et al., 2016) بهره‌وری آب آبیاری را در دو سیستم سطحی و بارانی برای محصولات گندم، ذرت، یونجه و جو در دشت قزوین بررسی کردند و گزارش کردند که در هر دو سیستم آبیاری، میزان بهره‌وری اقتصادی آب برای گندم و ذرت بیشتر از یونجه و جو به دست آمد. مولدن و همکاران (Molden et al., 2007) دامنه بهره‌وری اقتصادی آب مصرفی برای گندم، برنج و ذرت را در چین به ترتیب ۰/۳۰ تا ۰/۰۴، ۰/۱۸ تا ۰/۰۵ و ۰/۲۲ تا ۰/۰۳ دلار بر متر مکعب گزارش کردند.

استفاده از منابع زمین، آب و کودها

شاخص کارایی استفاده از زمین که به نوعی بیانگر درصد اشغال زمین توسط محصول طی یک سال را نشان می‌دهد، برای یونجه (۵۳/۴) بیشتر از ذرت علوفه‌ای (۲۴/۶) به دست آمد (جدول ۷). اما، شاخص بهره‌وری زمین برای یونجه (۱۴۰ کیلوگرم در هکتار در روز) مقدار کمتری از ذرت علوفه‌ای (۵۸۳ کیلوگرم در هکتار در روز) به خود اختصاص داد (جدول ۷). این شاخص نشان می‌دهد که گیاه ذرت علوفه‌ای به ازای دوره رشد خود محصول بیشتری را نسبت به یونجه تولید کرده است. به همین ترتیب، بهره‌وری اقتصادی زمین برای ذرت علوفه‌ای (۲۲/۹ دلار در هکتار در روز) اندکی بیشتر از یونجه (۲۱/۵ دلار در هکتار در روز) به دست آمد (جدول ۷) که این موضوع به سود خالص بالاتر و دوره رشد کوتاه ذرت علوفه‌ای نسبت به یونجه بر می‌گردد.

بررسی مصرف آب آبیاری در بوم‌نظام‌های یونجه و ذرت علوفه‌ای نشان داد که از نظر شاخص بهره‌وری آب آبیاری، یونجه و ذرت علوفه ای به ازای هر مترمکعب آب مصرفی به ترتیب حدود ۴/۱ و ۸ کیلوگرم محصول اقتصادی تولید کرده‌اند (جدول ۷). در تحقیقات انجام گرفته در استان کرمان، میزان بهره‌وری آب آبیاری برای یونجه و ذرت علوفه‌ای به ترتیب در دامنه ۱/۶ الی ۱/۴ کیلوگرم بر متر مکعب و ۹/۱ الی ۴/۳ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش شده است

جدول ۷- کارایی استفاده از زمین، آب و کودها در بوم‌نظام‌های زراعی یونجه و ذرت علوفه‌ای

Table 7- Land, water and fertilizer use efficiency in alfalfa and corn silage production systems

شاخص‌ها Indicators	واحد Unit	ذرت علوفه‌ای Corn silage	یونجه Alfalfa
کارایی استفاده از زمین Land use efficiency	%	24.6	53.4
بهره‌وری زمین Land productivity	kg.ha ⁻¹ .day ⁻¹	583	140
بهره‌وری اقتصادی زمین Economic land productivity	\$.ha ⁻¹ .day ⁻¹	22.9	21.5
بهره‌وری آب آبیاری Irrigation water productivity	Kg.m ⁻³	8	4.1
بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری Economic irrigation water productivity	\$.m ⁻³	0.31	0.63
کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency	kg.kg ⁻¹	565	335
کارایی مصرف فسفر Phosphorous use efficiency	kg.kg ⁻¹	3553	1191
کارایی مصرف پتاسیم Potassium use efficiency	kg.kg ⁻¹	65525	1826

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که کل انرژی ورودی، انرژی خروجی و انرژی خالص در بوم‌نظام‌های یونجه بیشتر از ذرت علوفه‌ای بود. همچنین، شاخص‌های کارایی مصرف انرژی و انرژی مخصوص در یونجه مقادیر بالاتری از ذرت علوفه‌ای نشان داد. در هر دو بوم‌نظام مورد مطالعه، سهم انرژی مستقیم از کل انرژی ورودی بیشتر از انرژی غیرمستقیم و سهم انرژی تجدیدنپذیر از کل انرژی ورودی بیش از انرژی تجدیدپذیر بود. از نظر شاخص‌های اقتصادی، علی‌رغم پایین بودن هزینه کل تولید در ذرت علوفه‌ای، بیشترین ارزش ناخالص تولیدی و سود خالص برای یونجه محاسبه گردید. مقایسه بوم‌نظام‌های مورد مطالعه از نظر پتانسیل گرمایش جهانی و اثر محیط زیستی ناشی از مصرف آفت‌کش‌ها نشان داد که تولید یونجه در مقایسه با ذرت علوفه‌ای اثر بیشتری بر گرمایش جهانی داشته و نیز اثرات محیط زیستی بیشتری را ناشی از مصرف آفت‌کش‌ها بر جای می‌گذارد. اما، از نظر شاخص کارایی اکولوژیک که بیانگر ارزش ناخالص محصول تولیدی به ازای اثر محیط زیستی ایجاد شده است، پتانسیل گرمایش جهانی و اثر محیط زیستی ناشی از مصرف

در بوم‌نظام‌های مورد مطالعه، کارایی مصرف کود در یونجه (به ترتیب ۳۳۵، ۱۱۹۱ و ۱۸۲۶ کیلوگرم بر کیلوگرم برای نیتروژن، فسفر و پتاسیم) کمتر از ذرت علوفه‌ای (به ترتیب ۵۶۵، ۳۵۵۳ و ۶۵۵۲۵ کیلوگرم بر کیلوگرم برای نیتروژن، فسفر و پتاسیم) بود (جدول ۷). میانگین جهانی کارایی مصرف نیتروژن برای گندم، برنج و ذرت به ترتیب ۴۴/۵، ۶۲/۴ و ۷۰ کیلوگرم بر کیلوگرم گزارش شده است (Prasad, 2009). ژو و همکاران (Zhu et al., 2012) نیز کارایی مصرف فسفر را برای گندم حدود ۶۷/۰۴ کیلوگرم بر کیلوگرم گزارش کردند. به طور کلی، اگرچه با افزایش مقدار کود مصرفی عملکرد محصول افزایش پیدا می‌کند، اما کارایی مصرف کود عموماً با افزایش مقدار مصرف کود کاهش پیدا می‌کند (Vaezi et al., 2002). به نظر می‌رسد در پژوهش حاضر مصرف کمتر کود در ذرت علوفه‌ای نسبت به یونجه دلیل بالاتر بودن کارایی مصرف کود در این محصول باشد. مصرف نسبتاً پایین کود در ذرت علوفه‌ای در منطقه مورد مطالعه معمولاً به این دلیل است که این محصول به عنوان کشت دوم پس از محصولاتی نظیر سیب‌زمینی و هویج که کود زیادی در کشت آن‌ها استفاده می‌شود کشت شده و همین مساله باعث می‌شود زمین زیر کشت از نظر عناصر غذایی حاصلخیز بوده و نیاز به مصرف کود در تولید ذرت علوفه‌ای چندان بالا نباشد.

شاخص‌های ذکر شده بر اساس شرایط خاص هر منطقه متفاوت بوده و در فرایند طراحی الگوی کشت مناسب و پایدار یک منطقه یک شاخص ممکن است بیشتر از سایر گزینه‌ها مورد توجه قرار بگیرد. بنابراین، برتری یک محصول به محصول دیگر بر اساس شاخص‌های مورد مطالعه بیشتر بستگی به شرایط موجود منطقه و اهداف کلان سیاست‌گذاران دارد.

آفت‌کش‌ها در یونجه کمتر از ذرت علوفه‌ای به دست آمد. نتایج به دست آمده نشان داد که شاخص‌های بهره‌وری زمین، بهره‌وری اقتصادی زمین، بهره‌وری آب آبیاری و کارایی استفاده از کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم در ذرت علوفه‌ای بیشتر از یونجه بود اما بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری در یونجه بیشتر از ذرت علوفه‌ای محاسبه گردید.

به طور کلی، باید به این نکته توجه کرد که ارزش هر یک از

منابع

- Acaroglu, M. 1998. Energy from Biomass, and Applications. University of Selcuk, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Turkey.
- Asgharipour, M.R., Mousavinik, S.M., and Enayat, F.F. 2016. Evaluation of energy input and greenhouse gases emissions from alfalfa production in the Sistan region, Iran. *Energy Reports* 2: 135-140.
- Azizi, K., and Heidari, S. 2013. A comparative study on energy balance and economical indices in irrigated and dry land barley production systems. *International Journal of Environmental Science and Technology* 10: 1019-1028.
- Bakhtiari, A.A., Hematian, A., and Sharifi, A. 2015. Energy analyses and greenhouse gas emissions assessment for saffron production cycle. *Environmental Science and Pollution Research* 22: 16184-16201.
- Beheshti Tabar, I., Keyhani, A., and Rafiee, S. 2010. Energy balance in Iran's agronomy (1990–2006). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14: 849-855.
- Camargo, G.G., Ryan, M.R., and Richard, T.L. 2013. Energy use and greenhouse gas emissions from crop production using the farm energy analysis tool. *BioScience* 63: 263-273.
- 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: 6–666-55.
- Chien, S., Prochnow, L., and Cantarella, H. 2009. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. *Advances in Agronomy* 102: 267-322.
- Cross, P., and Edwards-Jones, G. 2006. Variation in pesticide hazard from vegetable production in Great Britain from 1991 to 2003. *Pest Management Science* 62: 1058-1064.
- De, D., Singh, R., and Chandra, H. 2001. Technological impact on energy consumption in rainfed soybean cultivation in Madhya Pradesh. *Applied Energy* 70: 193-213.
- De Jonge, A.M. 2004. Eco-efficiency improvement of a crop protection product: the perspective of the crop protection industry. *Crop Protection* 23: 1177-1186.
- Deihimfard, R., Soufizadeh, S., Moinoddini, S., Kambouzia, J., Zand, E., Damghani, A.M., Mosleh, L., and Saberpour, L. 2014. Evaluating risk from insecticide use at the field and regional scales in Iran. *Crop Protection* 65: 29-36.
- Deihimfard, R., Zand, E., Damghani, A.M., and Soufizadeh, S. 2007. Herbicide risk assessment during the Wheat Self-sufficiency Project in Iran. *Pest Management Science* 63: 1036-1045.
- Eshenaur, B., Grant, J., Kovach, J., Petzoldt, C., Degni, J., and Tette, J. 1992-2015. Environmental impact quotient: “a method to measure the environmental impact of pesticides. New York State Integrated Pest Management Program, Cornell Cooperative Extension, Cornell University.
- Fijani, E., Nadiri, A.A., Moghaddam, A.A., Tsai, F.T.C., and Dixon, B. 2013. Optimization of DRASTIC method by supervised committee machine artificial intelligence to assess groundwater vulnerability for Maragheh–Bonab plain aquifer, Iran. *Journal of Hydrology* 503: 89-100.
- Ghaderpour, O., Rafiee, S., and Sharifi, M. 2016. Analysis and modeling of energy and the production cost of alfalfa using multi-layer adaptive neuro-fuzzy inference system in Bukan city. The 2nd National Conference on Agricultural Mechanization and New Technologies, Ahvaz, Iran. (In Persian)

- Ghasemi Mobtaker, H., Akram, A., and Keyhani, A. 2010a. Investigation of energy consumption of perennial Alfalfa production -Case study: Hamedan province. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 8: 379-381.
- Ghasemi Mobtaker, H., Akram, A., and Keyhani, A. 2012. Energy use and sensitivity analysis of energy inputs for alfalfa production in Iran. *Energy for Sustainable Development* 16: 84-89.
- Ghasemi Mobtaker, H., Keyhani, A., Mohammadi, A., Rafiee, S., and Akram, A. 2010b. Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 137: 367-372.
- Gholami, Z., Ebrahimian, H., and Noory, H. 2016. Investigation of Irrigation Water Productivity in Sprinkler and Surface Irrigation Systems (Case study: Qazvin Plain). *Journal of Irrigation Science and Engineering* 39: 135-146.
- Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, S., Feizi, H., Khorramdel, S., Teimouri, M., Sanjani, S., Anvarkhah, S., and Aghel, H. 2011. A case study of energy use and economical analysis of irrigated and dryland wheat production systems. *Applied Energy* 88: 283-288.
- Gill, H.K., and Garg, H. 2014. Pesticides: environmental impacts and management strategies. *Pesticides - Toxic Aspects*. Dr. Sonia Soloneski (Ed.), ISBN: 978-953-51-1217-4, InTech, 187-230.
- Hatirli, S.A., Ozkan, B., and Fert, C. 2006. Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. *Renewable Energy* 31: 427-438.
- Herrhz, J.L., Girth, V.S., and Cerisola, C. 1995. Long-term energy use and economic evaluation of three tillage systems for cereal and legume production in central Spain. *Soil and Tillage Research* 35: 183-198.
- Heydari, N. 2011. Determination and evaluation of water use efficiency of some major crops under farmers management in Iran. *Journal of Water and Irrigation Management* 1: 43-57.
- Houshyar, E., Zareifard, H.R., Grundmann, P., and Smith, P. 2015. Determining efficiency of energy input for silage corn production: An econometric approach. *Energy* 93: 2166-2174.
- IPCC, 1995. Climate change, the science of climate change. In: Houghton, J.T., Meira Filho L.G., Callander B.A., Harris N., Kattenberg A., Maskell K. (Eds) Intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Katerji, N., Mastrorilli, M., and Rana, G. 2008. Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: review and analysis. *European Journal of Agronomy* 28: 493-507.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M., and Movahedi, M. 2013. Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. *Energy* 52: 333-338.
- Kitani, O. 1999. *CIGR Handbook of Agricultural Engineering*. American Society of Agricultural Engineers, United States of America.
- Koga, N., and Tajima, R. 2011. Assessing energy efficiencies and greenhouse gas emissions under bioethanol-oriented paddy rice production in northern Japan. *Journal of Environmental Management* 92: 967-973.
- Kramer, K.J., Moll, H.C., Nonhebel, S., 1999. Total greenhouse gas emissions related to the Dutch crop production system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 72: 9-16.
- Lal, R. 2004. Carbon emission from farm operations. *Environment International* 30: 981-990.
- Levitan, L. 2000. "How to" and "why": assessing the enviro-social impacts of pesticides. *Crop Protection* 19: 629-636.
- Mahdavi Damghani, A., Koocheki, A., Moghaddam, P.R., and Mahallati, M.N. 2006. Studying the sustainability of a wheat-cotton agroecosystem in Iran. *Asian Journal of Plant Sciences*.
- Mandal, K., Saha, K., Ghosh, P., Hati, K., and Bandyopadhyay, K. 2002. Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. *Biomass and Bioenergy* 23: 337-345.
- Mohammadi, A., Rafiee, S., Jafari, A., Keyhani, A., Mousavi-Avval, S.H., and Nonhebel, S. 2014. Energy use efficiency and greenhouse gas emissions of farming systems in north Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30: 724-733.
- Molden, D., Bin, D., Loeve, R., Barker, R., and Tuong, T. 2007. Agricultural water productivity and savings: policy lessons from two diverse sites in China. *Water Policy* 9: 29-44.

- Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M.A., and Kijne, J. 2010. Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. *Agricultural Water Management* 97: 528-535.
- Mondani, F., Khoramivafa, M., Alegha, S., and Ghobadi, R. 2015. Assessment of energy flow in irrigated and dry-land wheat farms under different climatic conditions in Kermanshah province. *Journal of Agroecology* 5: 75-88 (In Persian with English Summary)
- Mosier, A.R., Syers, J.K., and Freney, J.R. 2004. *Agriculture and the nitrogen cycle: assessing the impacts of fertilizer use on food production and the environment*. Island Press, London.
- Mousavi-Avval, S.H., Rafiee, S., Jafari, A., and Mohammadi, A. 2011. Energy flow modeling and sensitivity analysis of inputs for canola production in Iran. *Journal of Cleaner Production* 19: 1464-1470.
- Nagy, C.N. 1999. Energy coefficients for agriculture inputs in western Canada. Canadian Agricultural Energy End-Use Data Analysis Centre (CAEEDAC). University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.
- Pimentel, D. 1980. *Handbook of Energy Utilization in Agriculture*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Pimentel, D., Hepperly, P., Hanson, J., Douds, D., and Seidel, R. 2005. Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *BioScience* 55: 573-582.
- Pishgar Komleh, S., Keyhani, A., Rafiee, S., and Sefeedpari, P. 2011. Energy use and economic analysis of corn silage production under three cultivated area levels in Tehran province of Iran. *Energy* 36: 333-3341-5.
- Prasad, R. 2009. Efficient fertilizer use: The key to food security and better environment. *Journal Tropical Agriculture* 47: 1-17.
- Rodrigues, G.C., and Pereira, L.S. 2009. Assessing economic impacts of deficit irrigation as related to water productivity and water costs. *Biosystems Engineering* 103: 536-551.
- Sahabi, H., Feizi, H., and Amirmoradi, S. 2013. Which crop production system is more efficient in energy use: wheat or barley? *Environment, Development and Sustainability* 15: 711-721.
- Sahabi, H., Feizi, H., and Karbasi, A. 2016. Is saffron more energy and economic efficient than wheat in crop rotation systems in northeast Iran? *Sustainable Production and Consumption* 5: 29-35.
- Sefeedpari, P., Rafiee, S., Komleh, S.H.P., and Ghahderijani, M. 2012. A source-wise and operation-wise energy use analysis for corn silage production, a case study of Tehran province, Iran. *International Journal of Sustainable Built Environment* 1: 158-166.
- Sharma, R., Peshin, R., Shankar, U., Kaul, V., and Sharma, S. 2015. Impact evaluation indicators of an Integrated Pest Management program in vegetable crops in the subtropical region of Jammu and Kashmir, India. *Crop Protection* 67: 191-199.
- Singh, S., Sah, A., Singh, R., Singh, V., and Hasan, S. 2010. Diversification of rice (*Oryza sativa* L.)-based crop sequences for higher production potentials and economic returns in India's central Uttar Pradesh. *Journal of Sustainable Agriculture* 34: 141-152.
- Snyder, C., Bruulsema, T., Jensen, T., and Fixen, P. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133: 247-266.
- Tsatsarelis, C., and Koundouras, D. 1994. Energetics of baled alfalfa hay production in northern Greece. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 49: 123-130.
- Tzilivakis, J., Warner, D., May, M., Lewis, K., 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.
- Vaezi, A.R., Homae, M., and Malakoti, M. 2002. Effect of fertigation on fertilizer use efficiency and water use efficiency on forage corn. *Journal of Water and Soil Science* 16: 152-160.
- Yilmaz, I., Akcaoz, H., and Ozkan, B. 2005. An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. *Renewable Energy* 30: 145-155.
- Yousefi, M., Damghani, A.M., and Khoramivafa, M. 2016. Comparison greenhouse gas (GHG) emissions and global warming potential (GWP) effect of energy use in different wheat agroecosystems in Iran. *Environmental Science and Pollution Research* 23: 7390-7397.
- Yousefi, M., and Mohammadi, A. 2011. Economical analysis and energy use efficiency in alfalfa production systems in

Iran. Scientific Research and Essays 6: 2332-2336.

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.

Zhu, X.K., Li, C.Y., Jiang, Z.Q., Huang, L.L., Feng, C.n., Guo, W.S., and Peng, Y.X. 2012. Responses of phosphorus use efficiency, grain yield, and quality to phosphorus application amount of weak-gluten wheat. *Journal of Integrative Agriculture* 11: 1103-1110.



Ecological– Economic Efficiency for Alfalfa (*Medicago sativa* L.) and Corn Silage (*Zea mays* L.) Production Systems: Maragheh– Bonab Plain, East Azerbaijan Province

A. Mohammadzadeh¹, A. Mahdavi Damghani^{*2}, J. Vafabakhsh³ and R. Deihimfard⁴

Submitted: 23-02-2017

Accepted: 02-05-2017

Mohammadzadeh, A., Mahdavi Damghani, A., Vafabakhsh, J., and Deihimfard, R. 2018. Ecological– economic efficiency for alfalfa (*Medicago sativa* L.) and corn silage (*Zea mays* L.) production systems: Maragheh– Bonab plain, East Azerbaijan province. Journal of Agroecology. 10(3): 875-895.

Introduction

Agriculture development heavily relies on chemical inputs such as synthetic fertilizers, pesticides, fossil fuels and other energy-intensive inputs. This development is having a serious impact on public health and the environment. Therefore, efficient use of resources is a primary and most vital implications for sustainable agriculture development. Sustainability indices are quantitative values that can be used to evaluate the efficiency and quality of agroecosystems and are useful tools for making suitable decisions in its management. These including energy flow indices, global warming potential (GWP), economic indices, environmental impact quotient (EIQ) of pesticides, efficiency of land, water and fertilizers use and etc. Alfalfa and corn silage as the main source of feed for livestock, have a notable area in the cropping pattern of Maragheh-Bonab plain. Therefore, evaluation of sustainability for these crops will help the sustainable management of agroecosystems in the study area. The present study was conducted to: (a) determine energy efficiency and global warming potential; (b) determine the environmental impacts of pesticides; (c) assess input use efficiency and; (d) economic analysis of alfalfa and corn silage production systems in East Azerbaijan province of Iran.

Materials and Methods

In the present study, the sustainability of alfalfa and corn silage production systems lies in the Maragheh-Bonab plain in southern East Azerbaijan province in northwestern Iran were evaluated using quantitative indices such as energy efficiency and productivity, greenhouse gas (GHG) emission; economic indicators; pesticide risk (field environmental impact—FEIQ); tillage impact (TI); fertilizer, labour, land and water use efficiency, and the eco-efficiency index. For this purpose, data was collected from 110 farmers by survey to determine crop production in the region. Secondary data including climate characteristics and products sale price was obtained from previous studies and organizations such as the Agricultural Ministry of Iran.

Results and Discussion

The results showed that the values of input energy, output energy and net energy in alfalfa production system (48151, 432920 and 384768 Mj.ha⁻¹, respectively) were higher than corn silage production system (35557, 217350 and 181792 Mj.ha⁻¹, respectively). Also, it was observed that the values of energy use efficiency and specific energy of alfalfa (9 and 15.8 MJ.kg⁻¹, respectively) were higher than that of corn silage (6.1 and 4.1 MJ.kg⁻¹, respectively). In terms of economic indices, despite of lower total cost of production in corn silage (1089 \$.ha⁻¹), the highest values of gross production value (6447 \$.ha⁻¹) and net return (4193 \$.ha⁻¹) were related to alfalfa production system. In terms of GWP and EIQ, alfalfa production had the higher values with compared to corn silage production. However, eco-efficiency (ratio of economic value to the environmental impact) values

1, 2 and 4- Graduated PhD. Student, Assistant Professor and Associate Professor of Department of Agroecology, Environmental Science Research Institute, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran, respectively.

3- 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: mmd323@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.62701

based on of GWP and EIQ was significantly higher for alfalfa ($1.75 \text{ \$} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ CO}_2\text{eq}^{-1}$ and $35.3 \text{ \$} \cdot \text{EIQ}^{-1}$) than corn silage ($1.5 \text{ \$} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ CO}_2\text{eq}^{-1}$ and $26 \text{ \$} \cdot \text{EIQ}^{-1}$). Land production efficiency, economic land production efficiency, irrigation water productivity, economic irrigation water productivity, nitrogen use efficiency, phosphorous use efficiency and potassium use efficiency were $140 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$, $21.5 \text{ \$} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$, $4.1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $0.63 \text{ \$} \cdot \text{m}^{-3}$, $335 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $1191 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $1826 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ in alfalfa production system and $583 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$, $22.9 \text{ \$} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$, $8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $0.31 \text{ \$} \cdot \text{m}^{-3}$, $656 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $3553 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $65525 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ in corn silage production system, respectively.

Conclusion

It can be concluded that environmental impacts of pesticides and global warming effect per area in alfalfa production system were higher than corn silage production system. However, in terms of economic indices and energy use efficiency, alfalfa production system was superior to corn silage production system.

Keywords: Energy efficiency, Fertilizer use efficiency, Global warming, Pesticides, Water productivity

کیفیت بذرهاى حاصل از گیاهان کتان (*Linum usitatissimum* L.) تلقیح شده با میکروارگانیسم‌های خاکزی در شرایط کم آبی

سعیده رحیم‌زاده^۱ و علیرضا پیرزاد^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۱۰

رحیم زاده، س.، و پیرزاد، ع. ۱۳۹۷. کیفیت بذرهاى حاصل از گیاهان کتان (*Linum usitatissimum* L.) تلقیح شده با میکروارگانیسم‌های خاکزی در شرایط کم آبی. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳): ۸۹۷-۹۱۱.

چکیده

رابطه بین قارچ میکورایزا و باکتری‌های مرتبط با آنها، بدلیل جایگزینی با کودهای شیمیایی اهمیت زیادی در کشاورزی پایدار دارد. به‌منظور بررسی اثرات احتمالی قارچ‌های میکورایزا در ارتباط با باکتری حل‌کننده فسفر روی کیفیت بذر حاصل از گیاهان کتان (*Linum usitatissimum* L.)، آزمایشی بصورت فاکتوریل بر پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه بصورت دو ساله انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل گونه‌های قارچ میکورایزا (*Funneliformis mosseae*، *Rhizophagus intraradices*) و عدم تلقیح، باکتری حل‌کننده فسفر (تلقیح بذر با *Pseudomonas putida* P₁₃ و عدم تلقیح) و سه رژیم آبیاری (آبیاری پس از ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) بودند. نتایج نشان داد با افزایش فاصله آبیاری از ۶۰ تا ۱۲۰ میلی‌متر، در گیاهان شاهد (بدون تلقیح)، درصد فسفر، پتاسیم، موسیلاژ، و فاکتور تورم و تورم برای هر گرم موسیلاژ بذر، همچنین پتاسیم تراوشی بذر (شاخص صدمه به غشای سلولی) افزایش و با بیشتر شدن تنش در ۱۸۰ میلی‌متر کاهش یافتند. در کلیه سطوح آبیاری، هم‌افزایی ناشی از تلقیح توأم قارچ و باکتری باعث بیشترین درصد فسفر، پتاسیم، موسیلاژ و تورم موسیلاژی بذر شد. درصد و سرعت جوانه‌زنی در بذور حاصل از تلقیح، با توجه به افزایش حجم موسیلاژ بذر، روند نزولی داشت. البته در تنش شدید بیشترین سرعت و درصد جوانه‌زنی از تلقیح توأم بدست آمد. بنابراین از نظر موسیلاژ و جوانه‌زنی، می‌توان بسته به هدف تولید، دو نوع کیفیت برای بذر کتان تعریف کرد. به‌طور کلی بیشترین افزایش در بهبود کیفیت بذر از نظر عناصر غذایی، پروتئین بذر و تولید موسیلاژ، در تلقیح توأم گیاهان با قارچ و باکتری مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، جوانه‌زنی بذر، سودوموناس، قارچ میکورایزا، موسیلاژ

مقدمه

گیاهی است که میزان امگا ۳ در آن از امگا ۶ بیشتر است (Bayrak et al., 2010). همچنین بذر کتان روغنی حاوی مواد موسیلاژی، ویتامین E و ویتامین‌های گروه B است (Omidbaygi, 1997). موسیلاژها ترکیبات پلی‌ساکاریدی هستند که ۶ تا ۸ درصد بذر را تشکیل می‌دهند و نقش مهمی در کاهش کلسترول، و افزایش اثرات ضدسرطانی دارند (Cui & Mazza, 1996). کشت کتان روغنی با عملکرد قابل قبول، بسته به شرایط اقلیمی مناسب و بدون تنش می‌باشد. حال آنکه در ایران تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدود کننده

یکی از نیازهای اساسی جمعیت رو به رشد در زمینه محصولات کشاورزی، تأمین روغن‌های گیاهی از دانه‌های روغنی است که تولیدات آن‌ها به مصارف مختلف صنعتی، خوراکی، دارویی و لوازم بهداشتی و آرایشی می‌رسند. بذر کتان روغنی (*Linum*

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

* نویسنده مسئول:

(Email: a.pirzad@urmia.ac.ir

DOI: 10.22067/jag.v10i3.63102

رسیدگی دانه، کیفیت بذرهای حاصل از این گیاهان و قدرت جوانه‌زنی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Bai et al., 2003). قارچ‌های میکورایزا از جمله عوامل مؤثر بر ترکیب عناصر غذایی بذر در گیاهان همزیست هستند. تلقیح میکورایزایی در گیاه کتان به ویژه زمانی که در ترکیب با باکتری *Sodomonas* استفاده شد، به طور قابل توجهی افزایش در جذب عناصر غذایی، افزایش در رشد گیاه و تعداد اسپور قارچ در خاک را به دنبال داشت (Neetu et al., 2012). همچنین کاهش در جذب عناصر غذایی ناشی از تنش خشکی در گیاه کتان، به طور معنی‌داری با کاربرد گونه‌های میکورایزا جبران شد (Soltanian & Tadayyon, 2015).

اندازه‌گیری پتاسیم تراوشی و میزان هدایت الکتریکی مواد خارج شده از بذرهای می‌تواند به عنوان راهکاری جهت جداسازی توده‌های بذری قوی از توده‌های ضعیف باشد، زیرا در خیلی از موارد بذوری با درصد جوانه‌زنی یکسان در آزمایشگاه، ممکن است مقدار ظهور گیاهچه آنها در مزرعه متفاوت باشد (Marcos-Filho, 1998). از طرفی در شرایط خشکی، موسیلاژ بذر با استفاده از حفظ رطوبت و همچنین افزایش سطح تماس بذر با خاک، موجب افزایش رطوبت در دسترس و کاهش تلفات رطوبت شده و بذر را از خشک شدن در زمان جوانه‌زنی حفظ می‌کند. در حالی که در شرایط آب اضافی، کاهش موسیلاژ بذر با افزایش ظرفیت جوانه‌زنی همبستگی دارد (Witztum et al., 1969). ترکیبات موسیلاژی به عنوان یکی از متابولیت‌های ثانویه (مولکول‌های زنجیره‌ای و توسعه یافته قندی) می‌تواند بسته به تغییر در فراهمی آب و عناصر غذایی ناشی از تیمار با قارچ میکورایزا و باکتری (Auge, 2001; Yousefi et al., 2011) تحت تأثیر قرار گرفته و از کمیت و کیفیت متغیری برخوردار باشد.

با توجه به ریز بودن اندازه بذر کتان، داشتن ترکیبات موسیلاژی و ضعیف بودن قدرت رویش بذر آن، تعیین قدرت و کیفیت بذر (مرتبط با موسیلاژ، عناصر معدنی و پروتئین) قبل از کاشت اهمیت قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت. هدف از اجرای این تحقیق، بررسی تأثیر گونه‌های قارچ میکورایزا آریسکولار^۱ و باکتری *Pseudomonas putida* روی کیفیت و قدرت بذر حاصل از گیاهان مادری تحت شرایط تنش می‌باشد. با توجه به اینکه تولید موسیلاژ در گیاه کتان اهمیت خاصی دارد و از طرفی درصد موسیلاژ بذر با ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر همبستگی منفی نشان می‌دهد، بنابراین افزایش

تولیدات زراعی است، بنابراین باید به دنبال راهکاری برای کاهش خسارت و افزایش قدرت رویش بذر آن در شرایط تنش بود (Seyed Sharifi, 2014). قارچ میکورایزا (رابطه همزیستی بین قارچ و ریشه گیاه) در تعادل آب برای گیاهان میزبان، هم در شرایط وفور آب و هم خشکی (کمبود آب) مؤثر است. این قارچ ریشه‌ها را از طریق اضافه کردن شبکه گسترده‌ای از رشته‌های جذبی به منظور استخراج و کاوش عمقی خاک برای آب و مواد معدنی محلول گسترش می‌دهد (Auge, 2001). نتایج حاصل از تحقیق سیمور (Seymour, 2003) وابستگی بسیار بالای بذر کتان را به قارچ میکورایزا تأیید می‌کند. نتایج تلقیح با قارچ‌های میکورایزا در شرایط تنش خشکی، در گیاه کتان به طور قابل توجهی باعث بهبود رشد، سرعت بخشیدن به جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه‌ها در مقایسه با گیاهان بدون تلقیح شد (Thingstrup et al., 1998).

بررسی رژیم‌های مصرف آب، یکی از راه‌های به‌زراعی و مدیریت صحیح آبیاری در مزارع می‌باشد که اهمیت و ضرورت موضوع پژوهشی را آشکار می‌کند، ولی تلقیح با قارچ میکورایزا به تنهایی برای اطمینان از ایجاد پوشش گیاهی کافی نیست. بنابراین جهت موفقیت لازم است کیفیت خاک و توانایی گیاه بهبود یابد.

برخی از باکتری‌های خاکری به عنوان جزو سوم مجموعه قارچ-ریشه، شناخته شده‌اند که باعث بهبود عملکرد این رابطه همزیستی می‌شوند و به عنوان باکتری‌های کمکی قارچ-ریشه نامیده شده‌اند (Baradar et al., 2015). در بین باکتری‌های محرک رشد گیاه، باکتری‌های جنس *Sodomonas*^۱ بدلیل توزیع گسترده در خاک، توانایی کلونیزه کردن ریزوسفر بسیاری از گیاهان و تولید طیف متنوعی از متابولیت‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. از میان گونه‌های مختلف این جنس، گونه‌های *P. putida* و *P. fluorescent* نقش بسیار مهمی در افزایش رشد و جذب عناصر غذایی مثل فسفر دارند. اثرات مفید روابط میکورایزایی می‌تواند به علت فعل و انفعالات مثبت بین میکورایزا و این میکروارگانیسم‌ها در محیط باشد (Yousefi et al., 2011). با کاربرد این باکتری‌ها حفظ عملکرد و تحمل گیاه میزبان به خشکی، توسط سطح جذب بیشتر ریشه و افزایش رشد و تراکم آن یا اختلال هیدرولیکی بین سیستم‌های ریشه‌ای امکان پذیر است (Ansary et al., 2012). تحقیقات نشان می‌دهد که شرایط محیط رشد گیاه، از قبیل قابلیت دسترسی به مواد غذایی رشد گیاه و

تلقیح قارچی (مخلوطی از شن و ماسه استریل، هیف قارچی و اسپور (۲۰ اسپور در گرم مایه تلقیح و قطعات میکورایزایی ریشه)) مورد نظر از گروه گیاهپزشکی دانشگاه ارومیه (دکتر رضایی‌دانش)، تهیه شد. برای کلونیزاسیون ریشه گیاه در تیمارهای میکورایزایی، مایه تلقیح در شیارهای کاشت و در عمق کاشت بذر ریخته شد و بذور کتان بلافاصله در روی آن قرار داده شد. بذرها پس از کاشت با لایه‌ای از خاک پوشانده شد. بذور مربوط به تیمارهای باکتریایی قبل از کشت، با سوسپانسیون باکتری *Pseudomonas putida* سویه P13 (۱۰^۷) باکتری در هر میلی‌لیتر) تهیه شده از شرکت زیست فناور سبز (دکتر ملبوبی) آغشته گردید. برای برداشت دانه با قهوه‌ای شدن نیمی از کپسول‌ها آبیاری قطع شد. در انتهای فصل رشد و رسیدگی کامل (در ۱۵ مرداد، ۳۰ مرداد و ۶ شهریور به ترتیب برای آبیاری پس از ۱۸۰، ۱۲۰ و ۶۰ میلی‌متر تبخیر)، بوته‌ها برداشت شده و پس از خشک شدن بوجاری و بذور به طور دقیق تمیز شدند.

درصد نهایی و سرعت جوانه‌زنی

در آزمون جوانه‌زنی استاندارد تعداد چهار تکرار 100 تایی بذر از هر واحد آزمایشی (کرت) را در داخل ظروف پتری به قطر ۹ سانتی‌متر حاوی یک عدد کاغذ صافی واتمن شماره یک، در ۳ تکرار قرار داده شدند. میزان ۱۵ میلی‌لیتر آب مقطر به هر ظرف افزوده شد و در داخل ژرمیناتور در دمای ۲۵°C قرار داده شد. شمارش بذرهای جوانه‌زده به صورت روزانه و در ساعات معینی از روز، تا زمانی که در دو شمارش متوالی، افزایشی در تعداد بذر جوانه‌زده مشاهده نگردد، ادامه یافت. هنگام شمارش، بذرهایی که ریشه‌چه‌ای به اندازه دو میلی‌متر داشتند، به‌عنوان بذر جوانه زده یادداشت شدند. جهت اندازه‌گیری درصد نهایی جوانه‌زنی از معادله (۲) استفاده شد (Agrawal, 1999):

معادله (۲)

$$100 \times (\text{تعداد بذر} / \text{تعداد بذور جوانه زده تا روز } n) = \text{درصد نهایی}$$

جوانه‌زنی

که در این معادله، n: تعداد روزهای بعد از آزمایش (۷ روز) می‌باشد.

سرعت جوانه‌زنی از تقسیم تعداد بذور جوانه‌زده تا روز n بر n، شمار روزهای مورد نظر پس از شروع آزمایش بدست آمدند (Agrawal, 1999).

موسلاژ می‌تواند درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر کتان را کاهش دهد. در این مورد می‌توان جهت تولید بذر از نظر فواصل آبیاری و تلقیح میکورایزایی، بسته به نوع هدف از تولید بذر تیمارهای متفاوت را در نظر گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار و در دو سال زراعی (۱۳۹۳ و ۱۳۹۴) انجام شد. این منطقه با متوسط بارندگی سالانه ۳۵۰ میلی‌متر، از آب و هوای نیمه‌خشک برخوردار است. خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ ارائه شده است. تعداد اسپور میکورایزایا و جمعیت باکتریایی (*Pseudomonas putida* گونه P13) در هر ۱ گرم از خاک اولیه مزرعه (قبل از کاشت) به ترتیب ۳ اسپور و ۲×۱۰^۲ باکتری بود. بذور (تهیه شده از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی) به صورت خطی و در عمق ۲ سانتی‌متری در ردیف‌هایی به فاصله ۲۰ سانتی‌متر در هر کرت (واحد آزمایشی) با ابعاد ۲ در ۱/۵ متر کاشته شد. به منظور جلوگیری از هر گونه خطا بین کرت‌های آزمایشی ۲ متر فاصله در نظر گرفته شد. تیمارهای مورد بررسی شامل رژیم‌های آبیاری (آبیاری پس از ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A، به ترتیب نشان‌دهنده آبیاری مطلوب (I₁)، تنش ملایم (I₂) و تنش شدید (I₃)، گونه‌های میکورایزایی (تلقیح با گونه‌های *Rhizophagus intraradices* و *Funneliformis mosseae* و شرایط بدون قارچ) و گونه باکتری (تلقیح بذر با باکتری *Pseudomonas putida* P13 و عدم تلقیح با باکتری) بودند. پس از آبیاری یکسان، در مرحله چهار برگه شدن گیاه، تیمارهای آبیاری گیاهان پس از رسیدن تبخیر جمعی به مقادیر مورد نظر، اعمال شدند. مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری هر کرت با توجه به رطوبت خاک در زمان آبیاری و رساندن آن به ظرفیت زراعی بر اساس معادله ۱ محاسبه و به وسیله کنتور اعمال شد (Benami & Ofen, 1984).

$$V = (FC - \theta) * (pb * A * h) \quad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله، V: میزان آب مورد نیاز، FC: ظرفیت زراعی خاک محل آزمایش، θ : رطوبت خاک در زمان آبیاری، pb: وزن مخصوص ظاهری خاک، A: مساحت کرت و n: عمق نفوذ ریشه می‌باشد. مایه

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل مورد بررسی

Table 1- Physico-chemical properties of soil

بافت Texture	پتاسیم قابل جذب (میلی گرم در کیلوگرم م) K Assimilable form (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب (میلی گرم در کیلوگرم) P Assimilable form (mg.kg ⁻¹)	نیترژن کل (درصد) Total N (%)	مواد خنثی شونده (درصد) Total neutralizing value (%)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical conductivity (dS.m ⁻¹)	ظرفیت زراعی (درصد) Field capacity (%)	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Bulk density (g.cm ⁻³)	نقطه پژمردگی (درصد) Wilting point (%)
لومی Loam	166	25	0.09	10.3	0.78	8.1	0.9	24	1.2	15

درصد روغن

اضافه گردید. بعد از ۲۴ ساعت، افزایش حجم بذرهای متورم که همان عدد فاکتور تورم می‌باشد، بر حسب میلی‌لیتر قرائت و یادداشت شد. مقدار تورم برای هر گرم موسیلاژ به عنوان فاکتور کیفیت بذر نیز از معادله (۳) بدست آمد (Kalyansundaram et al., 1980):

معادله (۳)

میزان موسیلاژ/فاکتور تورم (۱۰۰×) = میزان تورم برای هر گرم

موسیلاژ

برای بدست آوردن روغن بذر، به روش استخراج با حلال، بذر کتان خرد شده با اتر نفت (۴۰-۶۰°C) در دستگاه سوکسله استخراج و باقیمانده حلال توسط دستگاه تقطیر در خلا (روتاری) حذف شد. پس از استخراج، نمونه‌ها فیلتر شدند (Popa et al., 2012).

استخراج موسیلاژ

با توجه به اهمیت موسیلاژ بذر کتان، سه شاخص کیفی مقدار موسیلاژ، فاکتور تورم و میزان تورم در هر گرم موسیلاژ مورد بررسی قرار گرفتند. جداسازی موسیلاژ بر اساس روش استخراج با آب جوش انجام شد. بذور به مدت ۴ ساعت در آب جوش ۱۰۰°C روی همزن مغناطیسی قرار گرفتند. ماده استخراجی بعد از خنک شدن با استفاده از پشم شیشه فیلتر شد و تصفیه بیشتر در دستگاه روتاری انجام شد. سپس به محلول صاف شده حاوی موسیلاژ، اتانول ۸۰٪ افزوده و خوب تکان داده شد و برای مدت ۱ ساعت در یخچال در دمای ۵°C قرار گرفت. نهایتاً رسوب حاصله توسط سانتریفوژ (۱۰۰۰۰ دور به مدت ۲۰ دقیقه) جدا گردید. مقدار موسیلاژ بر حسب گرم در هر گرم بذر تعیین و به صورت درصد وزنی ثبت گردید و درصد موسیلاژ بدست آمد (Bhatty, 1993).

برای تعیین فاکتور تورم مقدار یک گرم بذر خشک در استوانه مدرج ۲۵ میلی‌لیتری ریخته شد و سپس به آن ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر

آزمون‌های هدایت الکتریکی و تراوش پتاسیم

به منظور تعیین قدرت رویش بذر و گیاهچه با استفاده از آزمون هدایت الکتریکی و تراوش پتاسیم به روش توده‌ای تعداد ۵۰ عدد بذر از هر واحد آزمایشی تهیه، و وزن آنها با دقت یک صدم گرم اندازه‌گیری شد. مقدار ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر درون بشرهای با حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر ریخته شد. بعد از آن بذرها در آب مقطر درون بشرهای مجزا قرار گرفتند و روی هر یک از بشرها توسط فویل‌های پلاستیکی پوشانده شد. بشرهای حاوی بذرها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد درون ژرمیناتور قرار گرفتند. سپس محلول‌های تهیه شده برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (با استفاده از دستگاه هدایت سنج الکتریکی) و پتاسیم تراوشی (با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر) (Hampton & Tekrony, 1995; Marcos-Filho, 1998) مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ۲- نتایج تجزیه مرکب (دوساله) پاسخ کیفی بذر کتان به رژیم‌های آبیاری تحت تأثیر تلقیح با باکتری حل‌کننده فسفر و قارچ مایکورایزا
 Table 2- Combined (2-yr data) analysis of variance for flax seed quality responses to irrigation under phosphate solubilizer and mycorrhizal infection

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی (df)	میانگین مربعیات Mean Squares																	
		سال Year (Y)	تکرار در سال Replicate/Y	آبیاری (A) Irrigation	Y×A	باکتری (B) Bacteria	Y×B	مایکورایزا Mycorrhiza (C)	Y×C	A×B	Y×A×B	A×C	Y×A×C	B×C	Y×B×C	A×B×C	Y×A×B×C	خطای آزمایشی Error	CV ضریب تغییرات (%)
	1	0.03 ^{ns}	0.0006 ^{ns}	0.021 ^{ns}	0.081 ^{**}	7.96 [*]	34.13 ^{**}	190932.2 ^{**}	24540.6 ^{**}	1333.0 ^{**}	124.33 ^{ns}	6.502							
	4	5.62	0.1153	0.016	0.012	2.77	0.20	443.4	1362.8	7.9	23.81	2.060							
	2	177.44 ^{**}	3.6035 ^{**}	64.136 ^{**}	0.498 ^{**}	3.64 ^{ns}	42.83 ^{**}	415126.2 ^{**}	384138.7 ^{**}	1673.0 ^{**}	1628.5 ^{**}	44.005 ^{**}							
	2	17.14 ^{ns}	0.3525 ^{ns}	0.009 ^{ns}	0.105 ^{**}	12.70 ^{**}	1.23 ^{**}	104754.0 ^{**}	6318.2 ^{**}	48.2 ^{**}	386.26 ^{**}	0.239 ^{ns}							
	1	92.59 ^{**}	1.8960 ^{**}	15.398 ^{**}	0.066 [*]	^{ns} 0.54	26.76 ^{**}	80305.8 ^{**}	87951.1 ^{**}	1045.3 ^{**}	31.709 ^{ns}	0.004 ^{ns}							
	1	0.33 ^{ns}	0.0067 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.59 [*]	3411.6 ^{**}	924.6 [*]	23.2 [*]	39.240 ^{ns}	0.068 ^{ns}							
	2	114.08 ^{**}	2.3292 ^{**}	8.792 ^{**}	0.007 ^{ns}	8.01 ^{**}	1.87 ^{**}	12941.9 ^{**}	29937.5 ^{**}	73.2 ^{**}	1578.93 ^{**}	30.136 ^{**}							
	2	4.73 ^{ns}	0.0960 ^{ns}	0.013 ^{ns}	0.013 ^{ns}	1.61 ^{ns}	0.20 ^{ns}	6626.7 ^{**}	426.0 ^{ns}	8.0 ^{ns}	^{ns} 66.54	1.631 [*]							
	2	53.48 [*]	1.0892 [*]	1.027 ^{**}	0.203 ^{**}	54.19 ^{**}	1.89 ^{**}	639.1 ^{ns}	1163.3 ^{**}	74.2 ^{**}	^{ns} 64.58	5.753 ^{**}							
	2	0.11 ^{ns}	0.0022 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.010 ^{ns}	1.13 ^{ns}	0.12 ^{ns}	7871.2 ^{**}	105.9 ^{ns}	4.7 ^{ns}	^{ns} 102.30	0.855 ^{ns}							
	4	110.44 ^{**}	2.2474 ^{**}	0.266 ^{**}	0.393 ^{**}	55.36 ^{**}	1.70 ^{**}	499.7 ^{ns}	1274.8 ^{**}	66.4 ^{**}	763.84 ^{**}	8.606 ^{**}							
	4	0.42 ^{ns}	0.0083 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.022 ^{ns}	5.24 [*]	0.10 ^{ns}	880.0 ^{ns}	1412.9 ^{**}	4.2 ^{ns}	98.42 [*]	0.737 ^{ns}							
	2	375.67 ^{**}	7.6651 ^{**}	0.141 ^{**}	0.030 [*]	7.16 [*]	0.57 [*]	^{ns} 898.8	244.0 ^{ns}	22.3 [*]	1.77 ^{ns}	0.736 ^{ns}							
	2	5.25 ^{ns}	0.1077 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.016 ^{ns}	2.13 ^{ns}	0.03 ^{ns}	945.0 ^{ns}	305.3 ^{ns}	1.2 ^{ns}	^{ns} 14.22	1.429 [*]							
	4	71.98 ^{**}	1.4633 ^{**}	0.239 ^{**}	0.027 ^{**}	9.41 ^{**}	1.47 ^{**}	983.1 [*]	883.8 ^{**}	57.6 ^{**}	^{ns} 17.88	7.263 ^{**}							
	4	1.77 ^{ns}	0.0359 ^{ns}	0.006 ^{ns}	^{ns} 0.015	2.39 ^{ns}	0.16 ^{ns}	2806.4 [*]	324.5 ^{ns}	6.2 ^{ns}	^{ns} 3.95	0.449 ^{ns}							
	68	12.86	0.2627	0.012	0.009	1.58	0.120	394.7	202.47	4.7	35.45	0.373							
		4.02	4.03	1.37	11.48	11.56	6.8	5.6	6.05	6.8	2.67	3.09							

***: به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار
 **, * and ns: Significant at 1 and 5% of probability and non-significant, respectively

معادله (۴)

قابلیت هدایت الکتریکی برای هر بشر/وزن نمونه بذر (برحسب گرم) = میکروزیمنس بر سانتی‌متر بر گرم) هدایت الکتریکی
میزان تراوش پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) برای هر بشر / وزن نمونه

معادله (۵)

بذر (برحسب گرم) = تراوش پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم بر گرم بذر)

نتایج و بحث

بر اساس تجزیه واریانس مرکب (داده‌های دوساله)، اثر متقابل آبیاری × میکورایزا × باکتری بر روی صفات درصد نهایی جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، درصد موسیلاژ بذر، میزان تورم برای هر گرم موسیلاژ، درصد نیتروژن، درصد پتاسیم، درصد پروتئین و پتاسیم تراوشی بذر در سطح احتمال ۱ درصد و بر روی فاکتور تورم بذر در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد. همچنین در هدایت الکتریکی بذر اثر متقابل سال × آبیاری × میکورایزا در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

درصد پروتئین

پروتئین بذر یک روند کاهشی به دنبال افزایش فواصل آبیاری از I₁ (آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر) تا I₃ (آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر) نشان داد، طوری که کمترین پروتئین بذر (۱۷/۷ درصد) از گیاهان شاهد (عدم تلقیح) و در رژیم آبیاری I₃ بدست آمد. در تیمارهای آبیاری I₁ و I₂، تلقیح با باکتری *P. putida* به تنهایی تأثیر بیشتری در افزایش پروتئین بذر نسبت به تلقیح با هر دو گونه میکورایزا نشان داد، ولی تلقیح توأم باکتری و قارچ بیشترین افزایش را در میزان پروتئین بذر داشت. بنابراین، بیشترین درصد پروتئین، مربوط به تلقیح توأم باکتری و قارچ در I₁ بود. در شرایط تیمار آبیاری I₃، تلقیح با باکتری *P. putida* سودمندتر از تلقیح با گونه‌های میکورایزا (به صورت جداگانه و یا توأم) بوده است (جدول ۳). کاهش معنی‌دار درصد پروتئین بذر همزمان با افزایش شدت تنش، به ویژه در تنش شدید، قبلا در بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) (Pirzad et al., 2012) و در گیاه بالنگو (*Lallemantia iberica* L.) (Abdolahi & Farahani, 2015) گزارش شده است. یکی از عوامل کاهش میزان پروتئین در گیاه تحت تنش خشکی را می‌توان به آفت شدید فتوسنتز و کاهش پیش ماده‌های تولید کننده پروتئین (محدودیت منبع) نسبت داد (Mohammadkhani & Heidari, 2008). به نظر می‌رسد که کاهش محتوای پروتئین بذر تحت تنش خشکی با کاهش فتوسنتز و افزایش فعالیت‌های آنزیم‌های تجزیه‌

درصد عناصر غذایی

جهت تعیین غلظت عناصر غذایی موجود در بذر کتان، نمونه‌ها بعد از شستشو و خشک کردن در آون (دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت)، به وسیله آسیاب پودر شدند. عصاره تهیه شده به روش هضم توسط اسیدسولفوریک، اسیدسالیسیلیک، آب اکسیژنه و سلنیم، برای اندازه‌گیری نیتروژن استفاده شد. میزان نیتروژن به روش تیتراسیون بعد از تقطیر توسط دستگاه کجتلکاتو آنالایزر (مدل ۷۴۰، ساخت ایران) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فسفر و پتاسیم عصاره نمونه‌ها توسط هضم به روش سوزاندن خشک و ترکیب با اسیدکلریدریک تهیه گردید. فسفر به روش رنگ‌سنجی با وانادات مولیبدات و توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر و میزان پتاسیم با استفاده از روش نشر شعله‌ای و به کمک دستگاه فلیم‌فوتومتر اندازه‌گیری شدند (Chapman & Pratt, 1961).

درصد پروتئین

درصد پروتئین پس از اندازه‌گیری میزان نیتروژن با دستگاه کجلدال با استفاده از ضریب تبدیل نیتروژن به پروتئین (۵/۷) محاسبه شد (Owusu-Apenten, 2002).

معادله (۶) $۵/۷ \times \text{درصد نیتروژن} = \text{درصد پروتئین}$

تجزیه و تحلیل آماری

برای تعیین اثرات ساده و متقابل داده‌های حاصل از دو سال، تجزیه واریانس داده‌ها بصورت مرکب با استفاده از نرم‌افزار کامپیوتری SAS 9.1 و مدل خطی GLM انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون آماری SNK در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. قبل از تجزیه و تحلیل داده‌ها، تست نرمالیته انجام و بعد از

(2015).

درصد پتاسیم

در گیاهان شاهد (بدون تلقیح)، بیشترین میزان پتاسیم بذر (۰/۲۵ درصد) از گیاهان تحت تنش ملایم بدست آمد که با شدیدتر شدن تنش در I₃ به ۰/۰۹ درصد کاهش یافت. در هر سه رژیم آبیاری، بیشترین میزان پتاسیم بذر در تلقیح توأم گیاه با باکتری و قارچ بدست آمد که نشان‌دهنده اثرات هم‌افزایی بین قارچ و باکتری بود (جدول ۳). سطوح پایین رطوبت خاک در تنش شدید، سرعت انتقال پتاسیم از خاک به سطح ریشه و سرعت جریان آن را در واحد طول ریشه کاهش داد (Kuchenbuch et al., 1986). با این حال، در تنش متوسط (I₂)، میزان تجمع پتاسیم در گیاه، حتی در مقایسه با تیمار I₁ افزایش می‌یابد (جدول ۳) که این افزایش را می‌توان به تجمع انتخابی پتاسیم در گیاهان نسبت داد (Hopkins & Huner, 2009). در مواردی مشاهده شده که کاهش درصد پتاسیم گیاهان تحت تنش، به دلیل محدودیت دسترسی به پتاسیم بوده است که در این تحقیق در شرایط تنش شدید (I₃) مشاهده شد. بر اثر وجود آب بیشتر، یون‌های یک ظرفیتی مانند پتاسیم در محلول خاک به طور نسبی بیشتر از یون‌های دو ظرفیتی مانند کلسیم و منیزیم افزایش می‌یابد، اما به تدریج که خاک خشک می‌شود، کلوئیدهای رس با قدرت بیشتری پتاسیم را جذب کرده و مانع از جدا شدن این یون‌ها می‌شوند. بر اثر تنش، رشد کلی گیاه از جمله فعالیت جذبی ریشه‌ها کاهش می‌یابد، در نتیجه توانایی جذب پتاسیم از سطح کلوئیدهای رس را نخواهند داشت و میزان جذب این عناصر کاهش می‌یابد (Kafi et al., 2007). مطالعات قبلی نشان داده است که هیف‌های خارجی قارچ‌های میکوریز قادر به تأمین بیش از ۱۰ درصد از نیاز گیاه همزیست خود به پتاسیم هستند. این مقادیر در گیاهان و گونه‌های قارچی متفاوت است (Samaei et al., 2015; Rejali et al., 2010).

هدایت الکتریکی (EC) و پتاسیم تراوشی بذر

افزایش میزان هدایت الکتریکی بذر در سطوح بالاتر تنش (آبیاری پس از ۶۰ تا ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر)، نشان‌دهنده صدمات خشکی می‌باشد. در رژیم‌های آبیاری I₁ و I₂ کاربرد و عدم کاربرد گونه‌های میکوریزا تأثیری بر تغییر میزان EC بذر نداشت، ولی در شرایط تنش شدید (I₃) هدایت الکتریکی بذر در گیاهان میکوریزایی به طور معنی داری کاهش یافت.

کننده پروتئین مرتبط باشد (Feller, 2004). از طرفی، افزایش درصد پروتئین بذر گیاهان مایکوریزایی کتان روغنی در مقایسه با شاهد (جدول ۳) را می‌توان به انتشار میسیلیوم‌های خارجی قارچ همزیست در منافذ ریز خاک که امکان ورود ریشه‌های موئین وجود ندارد، برای جذب آب و عناصر غذایی و انتقال به گیاه میزبان نسبت داد (Habibzadeh et al., 2013). به نظر می‌رسد اثر هم‌افزایی قارچ همزیست و باکتری حل‌کننده فسفات (Minaxi et al., 2013) منجر به تولید بیشترین درصد پروتئین (۴۰/۴ درصد) از تلقیح توأم گونه‌های میکوریزی و باکتری در شرایط آبیاری مطلوب شده است (جدول ۳).

درصد فسفر

با اعمال تنش ملایم (آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) فسفر بذر افزایش معنی‌داری نسبت به گیاهان تحت تیمار I₁ نشان داد، ولی با تشدید کمبود آب در تیمار I₃ فسفر بذر کاهش پیدا کرد طوری که حداقل فسفر بذر (۰/۱۸ درصد) در گیاهان تحت تنش شدید (I₃) بدست آمد. در هر سه رژیم آبیاری، تجمع یون فسفر در گیاهان همزیست با هر دو گونه قارچی، و همچنین گیاهان تلقیح شده با باکتری بیشتر از انباشت آن در بذر گیاهان شاهد (عدم تلقیح) بود. اثر هم‌افزایی میکروارگانیزم‌ها (قارچ و باکتری) در جذب و تجمع فسفر بذر منجر به بالاترین میزان فسفر در تلقیح توأم برای کلیه رژیم‌های آبیاری شد (جدول ۳). پاسخ‌های تجمع عناصر غذایی به تنش خشکی متفاوت است و با رژیم‌های آبیاری تغییر می‌یابد. با افزایش بیشتر فاصله آبیاری (I₃)، جذب و تجمع فسفر بدلیل انحلال کمتر و غیرمتحرک شدن این عنصر (Devau et al., 2009) کاهش یافته است. عدم تحرک فسفر در pH بالا و تثبیت آن، به ویژه در تنش‌های کمبود آب دلیل اصلی کاهش تجمع آن در بافت‌های گیاهی، حتی در سطوح بالاتر فسفر خاک تا ۲۱ میلی‌گرم فسفر قابل جذب در هر کیلوگرم خاک (بیش از نیاز گیاه) می‌باشد (Devau et al., 2009). توانایی گیاهان برای مقاومت به تنش ملایم آب در مقادیر بالای فسفر خاک افزایش می‌یابد (Kafi et al., 2010) جذب بیشتر فسفر در گیاهان با تلقیح دوگانه قارچ مایکوریزایی و باکتری حل‌کننده فسفر (Sabannavar & Lakshman, 2008)، نشان‌دهنده انتقال فسفر حل شده توسط باکتری، از طریق سیستم همزیستی قارچ-ریشه است (Minaxi et al., 2013). این افزایش انتقال، می‌تواند ناشی از افزایش حجم ریشه و دسترسی بیشتر به ریزوسفر به‌منظور تسهیل در فرآیند جذب و حلالیت فسفر نامحلول باشد (Hassani et al.,

جدول ۳- مقایسه میانگین های اثر متقابل رژیم های مختلف آبیاری، باکتری و قارچ مایکورایزا بر روی صفات کیفی بذر کان روغنی
Table 3- Two-year means comparison interaction effects of irrigation regimes × bacteria × mycorrhiza on flax seed quality

رژیم های آبیاری † Irrigation regimes	باکتری Bacteria	مایکورایزا Mycorrhiza	جوانه زنی (درصد) Germination (%)	زنی (درصد در روز) Germination rate (Percentage per day)	موسیلاز (درصد) Mucilage (%)	فاکتور تورم (میلی لیتر) Swelling factor (ml)	میزان تورم برای هر گرم موسیلاز (mucilage) Swelling/g (mucilage)	پروتئین (درصد) Protein (%)	نیترژن (درصد) N (%)	فسفر (درصد) P (%)	پتاسیم (درصد) K (%)	پتاسیم تراوشی (میلی گرم در کیلوگرم در گرم بذر) K leakage (mg. kg ⁻¹ . g seed)	
60	بدون باکتری No-bacterial	شاهد No-inoculated	96 ^{ab*}	13.73 ^a	7.04 ^b	0.70 ^{efg}	9.94 ^c	29.5 ^e	5.2 ^e	0.36 ^d	0.17 ^f	19.67 ^{def}	
		<i>F. mosseae</i>	78 ^f	11.23 ^f	7.97 ^e	0.97 ^{bc}	12.13 ^{bc}	30.7 ^{de}	5.4 ^{de}	0.40 ^{bc}	0.23 ^e	18.50 ^f	
		<i>R. intraradices</i>	85 ^{de}	12.24 ^{de}	7.96 ^e	0.95 ^{bcd}	11.92 ^{bcd}	34.8 ^{bc}	6.1 ^{bc}	0.39 ^{cd}	0.23 ^e	18.69 ^f	
	باکتری (Bacterial)	شاهد No-inoculated	b=87	12.50 ^{cd}	7.79 ^f	0.58 ^g	7.48 ^g	36.7 ^b	6.5 ^b	0.40 ^{bc}	0.24 ^e	0.24 ^e	18.81 ^{ef}
		<i>F. mosseae</i>	a=91	13.12 ^{cd}	8.50 ^d	0.93 ^{bcd}	10.97 ^{b-c}	40.4 ^a	7.1 ^a	0.43 ^b	0.26 ^d	0.26 ^d	18.89 ^{ef}
		<i>R. intraradices</i>	ab=92	13.21 ^{cd}	8.83 ^c	1.03 ^b	11.70 ^{bed}	40.2 ^a	7.1 ^a	0.46 ^a	0.29 ^c	0.29 ^c	19.02 ^{ef}
120	بدون باکتری No-bacterial	شاهد No-inoculated	ab=93	13.31 ^{abc}	8.09 ^e	a ¹ , 1.1 ^v	14.39 ^a	24.2 ^{hi}	4.3 ^{hi}	0.39 ^{cd}	0.25 ^d	22.02 ^a	
		<i>F. mosseae</i>	81 ^{ef}	11.57 ^{ef}	9.07 ^b	1.02 ^b	b=11.21	28.6 ^{ef}	5.0 ^{ef}	0.39 ^{cd}	0.33 ^b	19.98 ^{cde}	
		<i>R. intraradices</i>	88 ^{bed}	12.64 ^{bed}	9.18 ^b	0.85 ^{b-c}	ef=9.25	28.1 ^{efg}	4.9 ^{efg}	0.39 ^{cd}	0.32 ^b	19.93 ^{cde}	
	باکتری Bacterial	شاهد No-inoculated	85 ^{de}	12.21 ^{de}	9.17 ^b	1.16 ^a	12.67 ^b	25.9 ^{gh}	4.6 ^{gh}	0.43 ^b	0.33 ^b	22.25 ^a	
		<i>F. mosseae</i>	86 ^{cde}	12.35 ^{cde}	10.26 ^a	0.92 ^{bed}	8.93 ^{efg}	32.9 ^{gd}	5.8 ^{cd}	0.47 ^a	0.38 ^a	20.74 ^{bed}	
		<i>R. intraradices</i>	88 ^{bed}	12.57 ^{cd}	10.23 ^a	0.80 ^{c-f}	fg=7.82	29.9 ^{de}	5.3 ^{de}	0.46 ^a	0.40 ^a	20.64 ^{bed}	
180	بدون باکتری (No-bacterial)	شاهد No-inoculated	87 ^{b-c}	12.52 ^{cd}	6.28 ^g	0.58 ^g	ef=9.29	17.7 ^j	3.1 ^j	0.18 ^g	0.09 ^{gh}	21.50 ^{ab}	
		<i>F. mosseae</i>	89 ^{bed}	12.83 ^{cd}	6.32 ^g	0.68 ^{fg}	b=10.79	21.9 ^j	3.9 ^j	0.21 ^f	0.11 ^g	20.87 ^{bc}	
		<i>R. intraradices</i>	93 ^{abc}	13.28 ^{bc}	6.74 ⁱ	0.65 ^{fg}	def=9.66	19.2 ^j	3.4 ^j	0.22 ^f	0.12 ^g	18.78 ^{ef}	
	باکتری (Bacterial)	شاهد No-inoculated	89 ^{bed}	12.71 ^{bed}	6.28 ^g	0.92 ^{bed}	14.59 ^a	30.4 ^{de}	5.4 ^{de}	0.23 ^f	0.13 ^f	21.48 ^{ab}	
		<i>F. mosseae</i>	94 ^{ab}	13.52 ^{ab}	7.15 ^{gh}	de=0.77	b=10.72	23.5 ^{hi}	4.1 ^{hi}	0.27 ^e	0.18 ^f	18.93 ^{ef}	
		<i>R. intraradices</i>	94 ^{ab}	13.54 ^{ab}	7.22 ^g	0.90 ^{bed}	12.46 ^b	25.4 ^{gh}	4.5 ^{gh}	0.27 ^e	0.16 ^f	16.70 ^g	

*Means followed by the same letter in each column are not significantly different according to SNK test ($p \leq 0.05$).

†میلی متر تبخیر از تشنگ تبخیر

‡میلی متر تبخیر از تشنگ تبخیر

mm evaporation from pan class A

رژیم‌های مختلف آبیاری قرار گرفت؛ طوری که در گیاهان شاهد (عدم تلقیح) بیشترین درصد موسیلاژ (۸/۰۹ درصد) از گیاهان تحت شرایط تنش ملایم بدست آمد که با بیشتر شدن تنش در تیمار آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر به ۶/۲۸ درصد تقلیل یافت. از طرفی تلقیح گیاه با باکتری و قارچ، موجب افزایش موسیلاژ بذر شد که بیشترین درصد با تلقیح توأم باکتری و قارچ بدست آمد. این امر نشان‌دهنده اثرات هم‌افزایی بین قارچ و باکتری در سنتز موسیلاژ می‌باشد (جدول ۳). افزایش تولید موسیلاژ با اعمال تیمارهای تلقیح (قارچ و باکتری) در هر سه سطح آبیاری، نشان می‌دهد که دسترسی به مواد فتوسنتزی نسبت به گیاهان شاهد بیشتر بوده است. افزایش موسیلاژ بذر در گیاهان کتان مایکورایزایی و مخصوصاً گیاهان غیرمایکورایزایی با اعمال تنش ملایم (I_2) نشانه سازگاری مرتبط با حفظ پتانسیل آب درون سلولی (Gholinezhad et al., 2016; Moradi et al., 2010) است، ولی کاهش در موسیلاژ بذر در تنش شدیدتر (I_3) را می‌توان به محدودیت مواد فتوسنتزی در تولید متابولیت‌های ثانویه (Gholinezhad et al., 2016) نسبت داد. تلقیح با این میکروارگانیسم‌ها با افزایش قابلیت دسترسی آب و مواد غذایی برای گیاه احتمالاً نقش تنش خشکی در کاهش فتوسنتز گیاه را تعدیل (Habibzadeh et al., 2013) و موجب برتری معنی‌دار در تولید موسیلاژ شده است. قابلیت بالای نگهداری آب این مواد نقش عمده‌ای در سازگاری گیاه با شرایط خشک دارد. افزایش موسیلاژ در پوسته بذر به دنبال تنش کم‌آبی، ناشی از سازگاری اکولوژیکی جهت حفظ جنین بذر در برابر خشکی می‌باشد. از آنجا که یک شکل ویژه از ذخیره آب، پیوند یافتن با کربوهیدرات‌های آب‌دوست نظیر موسیلاژهای سطح بذر می‌باشد، این سازگاری منجر به توانایی در حفظ پتانسیل آب درون سلولی می‌شود (Moradi et al., 2010).

تورم موسیلاژی بذر

تورم بذر به طور مستقیم از موسیلاژ بذر تأثیر می‌پذیرد، که در اثر جذب آب، موسیلاژ موجود در بذر متورم می‌شود، و به دو صورت تورم مطلق و میزان نسبی تورم نسبت به مقدار موسیلاژ مطرح می‌شود. میزان تورم یک گرم موسیلاژ از شرایط غیرتنش (۹/۹۴) یک روند افزایشی تا تنش ملایم (۱۴/۳۹) داشت، ولی با بیشتر شدن تنش در I_3 تا ۹/۲۹ کاهش یافت. در شرایط بدون تنش، تلقیح گونه‌های

هر دو گونه قارچی به یک میزان در این کاهش تأثیرگذار بودند. از طرفی در سال اول در شرایط تنش شدید، کاربرد گونه‌های قارچی، EC بذر را بیشتر کاهش دادند (جدول ۴). میزان پتاسیم تراوشی بذر (به عنوان شاخص صدمه به غشای سلولی) با افزایش فاصله آبیاری از ۶۰ تا ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر بیشتر شد ولی مقدار آن در تنش شدیدتر (I_3) افزایش نیافت که با توجه به درصد پایین یون پتاسیم موجود در این بذور قابل توجه است. بدنبال کاربرد جداگانه قارچ و باکتری در آبیاری مطلوب، پتاسیم تراوشی بذر به یک میزان کاهش یافت. در شرایط تنش ملایم، کاربرد گونه‌های قارچی بر خلاف باکتری، به تنهایی و در تلقیح توأم با باکتری به یک نسبت میزان پتاسیم تراوشی را کاهش دادند. در شرایط تنش شدید، بیشترین میزان کاهش در کاربرد توأم باکتری با گونه *G. intraradices* مشاهده شد. بنابراین، می‌توان گفت که کاربرد این گونه قارچی بیشترین تأثیر را در کاهش خسارت ناشی از تنش در رژیم‌های آبیاری پس از ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشک داشته است (جدول ۳). توده‌های بذری با بنيه بالا بر اساس آزمون‌های تراوش پتاسیم و هدایت الکتریکی شناسایی می‌شوند. در آزمون هدایت الکتریکی (به عنوان شاخصی از تراوش مواد بذر) بذور حاصل از گیاهان تلقیح شده که مقدار کمتری مواد الکترولیتی از آنها خارج شود، به‌عنوان توده بذری دارای بنيه قوی شناسایی می‌شود (Hampton & Tekrony, 1995). پتاسیم، یون معدنی اصلی تراوش یافته توسط بذر طی جذب آب است. تنش بر روی ساختار غشای سلولی در بذر تولیدی اثر می‌گذارد و باعث افزایش هدایت الکتریکی می‌شود. اعمال تنش در مراحل رشدی گیاه باعث تولید بذوری با کیفیت پایین می‌گردد که به‌علت افزایش نشست مواد از پوسته آسیب‌دیده بذور و افزایش نفوذپذیری غشا سلولی است (Vieira et al., 1992). تیمارهای تلقیح با قارچ‌های همزیست و باکتری‌های حل‌کننده فسفر با افزایش ظرفیت جذب و انتقال آب (Neetu et al., 2012)، و همچنین افزایش دسترسی و تأمین عناصر غذایی (Habibzadeh et al., 2013) (نیتروژن، فسفر و پتاسیم در مطالعه حاضر) از میزان خسارت به غشای سلولی و تراوش پتاسیم به طور معنی‌داری کاسته است.

درصد موسیلاژ

درصد موسیلاژ بذر (میزان موسیلاژ در یک گرم بذر)، تحت تأثیر

گیاهان شاهد (بدون تلقیح) نشان دادند. با این حال، کاربرد توأم قارچ با باکتری بیشترین درصد (۹۴ درصد) و سرعت جوانه‌زنی (۱۳/۵۴ درصد در روز) را در شرایط تنش شدید بدنال داشت (جدول ۳). با در نظر گرفتن اینکه تمام بذور برای جوانه‌زنی در شرایط یکسان از نظر دما و تأمین آب قرار داشتند، درصد جوانه‌زنی بذور بدست آمده از گیاهان مادری در شرایط تنش، کمتر از شرایط مطلوب آبیاری است. کاهش جوانه‌زنی در بذره‌های تولید شده تحت تنش کمبود آب در مطالعات متعددی قبلاً گزارش شده است. در این راستا کاهش سرعت و درصد نهایی جوانه‌زنی در بذره‌های حاصل از گیاهان بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) (Pirzad et al., 2012) و ارقام کلزا (*Brassica napus* L.) (Atarodi et al., 2011) که تحت شرایط کمبود آب رشد کرده و تولید بذر نموده‌اند، گزارش شده است. روند مشابه و کاهشی تغییرات درصد و سرعت جوانه‌زنی با افزایش فاصله آبیاری (شدیدتر شدن تنش کمبود آب)، وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین آنها را نشان می‌دهد (Pirzad et al., 2012). از طرفی، مشاهده می‌شود که در بذور حاصل از گیاهان تلقیح شده با قارچ و باکتری، درصد جوانه‌زنی نسبت به شاهد کاهش پیدا کرده است که با توجه به همبستگی بین درصد موسیلاژ و درصد جوانه‌زنی بذر، درصد بالای موسیلاژ ناشی از تلقیح در این بذور منجر به کاهش درصد جوانه‌زنی شده است (Witzum et al., 1969).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق، نقش مفید قارچ‌های میکوریزا و باکتری *Pseudomonas putida* را در کاهش خسارت تنش خشکی نشان داد. به نظر می‌رسد حضور باکتری با تسهیل دسترسی به فسفر غیرقابل حل، به قارچ میکوریزا که سطح دسترسی ریشه را به آب و عناصر غذایی توسعه داده است، کمک می‌کند. در نتیجه ریشه گیاه گسترش بیشتری داشته و آب و مواد غذایی لازم را جذب می‌کند. به واسطه جذب و فتوسنتز بهتر، بخشی از کاهش ناشی از تنش خشکی در میزان کربوهیدرات‌ها و عناصر غذایی جبران شده، حجم موسیلاژ، درصد پروتئین و عناصر غذایی بذر (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) افزایش یافت. نتایج دو آزمون اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و آزمون تراوش پتاسیم نشان داد که بیشترین میزان آنها، از بذور حاصل از شرایط تنش خشکی بدست آمد که نشان‌دهنده بنیه و کیفیت پایین غشا بذر می‌باشد. ولی تیمارهای تلقیح با قارچ‌های همزیست و باکتری حل

قارچی به تنهایی و بصورت توأم با باکتری به یک میزان تورم را افزایش دادند. در شرایط تنش ملایم تلقیح تأثیری در افزایش میزان تورم نداشت. از طرفی، برخلاف I_1 و I_2 در شرایط تنش شدید تلقیح با باکتری بیشترین میزان تورم برای هر گرم موسیلاژ (۱۴/۵۹) را نشان داد (جدول ۳). با توجه به اینکه فاکتور تورم با یک نسبت مستقیم در محاسبه میزان تورم به ازای هر گرم موسیلاژ دخالت دارد، انتظار می‌رود دارای روند مشابه با آن باشد. با این حال، مقدار نسبی تورم از موسیلاژ حاصل از بذر نیز تأثیر می‌پذیرد. بنابراین به نظر می‌رسد فاکتور تورم تفاوت‌هایی با میزان تورم در هر گرم موسیلاژ داشته باشد. به طور مثال، با وجود افزایش هر چند اندک در میزان نسبی تورم موسیلاژ حاصل از گیاهان مایکورایزایی با تشدید تدریجی تنش، فاکتور تورم در شدیدترین سطح تنش با کاهش مواجه شده است (جدول ۳). با توجه به ارتباط مثبت و بالای درصد موسیلاژ و فاکتور تورم می‌توان گفت که فاکتور تورم که معرف کیفیت موسیلاژ نیز می‌باشد با افزایش درصد موسیلاژ بر اثر تنش خشکی، افزایش می‌یابد (Rahimi et al., 2014). روند تغییرات فاکتور تورم و میزان تورم به ازای هر گرم موسیلاژ با مقدار موسیلاژ بذر مشابه بود (جدول ۳). افزایش هر دو شاخص در گیاهان مایکورایزایی و تلقیح با باکتری حل‌کننده فسفر در پژوهش حاضر نشان می‌دهد که تأمین آب در روابط مایکورایزایی (Neetu et al., 2012; Rejali et al., 2011) و بهبود مقاومت به تنش در تلقیح با باکتری‌ها (Dimkpa, 2009) منجر به افزایش سطح موسیلاژ بذر شده است.

درصد نهایی و سرعت جوانه‌زنی

بیشترین درصد نهایی جوانه‌زنی (۹۶ درصد) و سرعت جوانه‌زنی (۱۳/۷۳ درصد در روز) مربوط به شرایط عدم تلقیح در رژیم آبیاری در ۶۰ میلی‌متر تبخیر بود (جدول ۳). به دنبال شرایط تنش در تیمارهای آبیاری I_2 و I_3 درصد نهایی جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی در بذور حاصل به ترتیب تا ۸۷ و ۱۲/۵۲ درصد کاهش نشان داد. در تیمارهای آبیاری پس از ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر، کاربرد گونه‌های قارچی و باکتری موجب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور تولیدی گردید ولی این درصد بدنال کاربرد توأم آنها (قارچ+ باکتری) به اندازه بذره‌های حاصل از تیمار شاهد (عدم تلقیح) افزایش یافت. در شرایط تنش شدید (I_3)، تلقیح کتان با گونه‌های قارچی و باکتری یک روند افزایشی هرچند اندک نسبت به درصد و سرعت جوانه‌زنی بذره‌های

کیفی جوانه‌زنی و تولید گیاهچه است که با این حال با توجه به نتایج حاصل از جوانه‌زنی شرایط بدون تنش قابل توصیه می‌باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان از جناب آقای دکتر ملبوبی و شرکت "زیست فناوری سبز" جهت در اختیار گذاشتن سویه P₁₃ باکتری *Pseudomonas putida* نهایت تشکر را دارند.

کننده فسفر از میزان خسارت به غشای سلولی در شرایط تنش خشکی کاسته و باعث تقویت بنیه بذر کتان شد. بذر حاصل از گیاهانی که در مزرعه با قارچ‌های مایکورایزا و باکتری حل‌کننده فسفر تیمار شدند، دارای ذخایر غذایی بیشتری بوده و احتمالاً به هنگام بروز تنش خشکی نسبت به سایر بذر موفق‌تر عمل خواهند کرد. اگر هدف از تولید بدست آوردن موسیلاژ بذر باشد، تیمار تلقیح دوگانه گونه‌های قارچ و باکتری *Sudomonus* در شرایط تنش ملایم (آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) توصیه می‌شود، ولی اگر هدف از تولید بذر کتان برای کاشت در سال بعد باشد، نیاز به آزمون‌های بیشتر

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل سال، آبیاری و قارچ مایکورایزا بر هدایت الکتریکی بذر کتان

Table 4- Two-year means comparison of seed Electrical conductivity affected by year×irrigation regime ×mycorrhiza

سال Year	آبیاری † Irrigation regimes	مایکورایزا Mycorrhiza	هدایت الکتریکی (میکروزیمنس در سانتی‌متر در گرم بذر) EC (seed μS.cm ⁻¹ .g ⁻¹)	
2014	60	شاهد	214 ^{de*}	
		No-inoculated	217 ^{de}	
		<i>F. mosseae</i> <i>R. intraradices</i>	214 ^{de}	
	120	شاهد	231 ^b	
		No-inoculated	221 ^{bcd}	
		<i>F. mosseae</i> <i>R. intraradices</i>	225 ^{bcd}	
	180	شاهد	246 ^a	
		No-inoculated	212 ^e	
		<i>F. mosseae</i> <i>R. intraradices</i>	211 ^e	
	2015	60	شاهد	215 ^{de}
			No-inoculated	216 ^{de}
			<i>F. mosseae</i> <i>R. intraradices</i>	213 ^e
120		شاهد	229 ^{bc}	
		No-inoculated	219 ^{cde}	
		<i>F. mosseae</i> <i>R. intraradices</i>	221 ^{bcd}	
180	شاهد	245 ^a		
	No-inoculated	228 ^{bc}		
	<i>F. mosseae</i> <i>R. intraradices</i>	225 ^{bcd}		

*حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بر مبنای آزمون SNK در سطح پنج درصد می‌باشد.

*Means followed by the same letter are not significantly different according to SNK test ($P \leq 0.05$).

† میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر (mm of evaporation from pan class A)

منابع

Abdolahi, M., and Maleki Farahani, S. 2015. Evaluation of seed yield, mucilage and protein of different species and ecotypes of balangu (*Lallemantia* spp.) under drought stress. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 31: 676-687. (In Persian with English Summary)

- Agrawal, R.L. 1999. Seed Technology. Oxford and IBH Publishing Co. LTD. New Delhi. P. 829.
- Ansary, M.H., Asadi Rahmani, H., Ardakani, M.R., Paknejad, F., Habibi, D., and Mafakheri, S. 2012. Effect of *Pseudomonas fluorescent* on proline and phytohormonal status of maize (*Zea mays* L.) under water deficit stress. *Annals of Biological Research* 3:1054-1062.
- Atarodi, H., Irannejad, H., Shiranirad, A.H., Amiri, R., and Akbari, G.A. 2011. Effects of drought stress and planting dates on seedling emergence, plant growth and seed vigour of produced seeds in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Field Crop Science* 42: 71-80. (In Persian with English Summary)
- Auge, R.M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11: 3-42.
- Bai, Y., Tischler, C.R., Booth, D.T., and Taylor, E.M. 2003. Variations in germination and grain quality within a rust resistant common wheat germplasm as affected by parental CO₂ conditions. *Environmental and Experimental Botany* 50: 159-168.
- Baradar, A., Saberi Riseh, R., Sedaghati, E., and Akhgar, A. 2015. Mycorrhiza helper bacteria. *Plant Pathology Science* 4: 46-53. (In Persian with English Summary)
- Bayrak, A., Kiralan, M., Ipek, A., Arslan, N., Cosge, B., and Khawar, K.M. 2010. Fatty acid compositions of linseed (*Linum usitatissimum* L.) genotypes of different origin cultivated in Turkey. *Biotechnology and Biotechnological Equipment* 24: 1836-1842.
- Benami, A., and Ofen, A. 1984. Irrigation Engineering-Sprinkler, Trickle and Surface Irrigation: Principles, Design and Agricultural Practices. Irrigation Engineering Scientific Publications. p. 257.
- Bhatty, R.S. 1993. Further compositional analyses of flax: mucilage, trypsin inhibitors and hydrocyanic acid. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 70: 899-904.
- Chapman, H.D., and Pratt, P.F. 1961. Methods of Analysis for Soils, Plant and Waters. University of California. P. 309.
- Cui, W., and Mazza, G. 1996. Physicochemical characteristics of flaxseed gum. *Food Research International* 29: 397-402.
- Devau, N., Le Cadre, E., Hinsinger, P., Jaillard, B., and Gérard, F. 2009. Soil pH controls the environmental availability of phosphorus: Experimental and mechanistic modeling approaches. *Applied Geochemistry* 24: 2163-2174.
- Dimkpa, C., Weinand, T., and Ash, F. 2009. Plant-rhizobacteria interactions alleviate abiotic stress conditions. *Plant, Cell and Environment* 32: 1682-1694.
- Feller, U. 2004. Proteolysis. In: *Plant Cell Death Processes*, Ed. Elsevier Inc. 107-123.
- Gholinezhad, R., Sirousmehr, A.R., and Fakheri, B. 2016. Evaluation of irrigation regimes and use of organic fertilizers on qualitative and quantitative yield of borage (*Borago officinalis* L.). *Journal of Crop Physiology* 10: 683-696. (In Persian with English Summary)
- Habibzadeh, Y., Pirzad, A., Zardoshti, M.R., Jalilian, J., and Eini, O. 2013. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on seed and protein yield under water-deficit stress in mung bean. *Agronomy Journal* 105: 79-84.
- Hampton, J.G., and Tekrony, D.M. 1995. Handbook of Vigour Test Methods. 3rd Edition. Published by: International Seed Testing Assemblage (ISTA). Zurich, Switzerland.
- Hassani, F., Asgharzade, A., Ardakani, M.R., Hamidi, A., and Paknejad, F. 2015. Effectiveness of phosphate solubilizing bacteria inoculation for improving phosphorus absorption and root growth indices. *Biological Forum - An International Journal* 7: 199-205.
- Hopkins, W.G., and Huner, N.P.A. 2008. Introduction to Plant Physiology, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA. P. 528.
- Kafi, M., Borzoee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., and Nabati, J. 2007. Physiology of Environmental Stresses in Plants. Mashhad Jahad-e Daneshgahi. Mashhad, Iran. p. 502. (In Persian)
- Kalyanasundaram, N.K., Amin, D.R., and Dalal, K.C. 1980. Quality Evaluation of Isabgol Seeds. In: Biannual report (from Oct. 1978 to Nov. 1980) of all India Coordinated Project on Medicinal and Aromatic Plants. Gujarat Agricultural University, Anand. p. 125-127.
- Kuchenbuch, R., Claassen, N., and Jungk, A. 1986. Potassium availability in relation to soil moisture. I. Effect of soil moisture on K diffusion, root growth and K uptake of onion plants. *Plant and Soil* 95: 221-231.
- Marcos-Filho, J. 1998. New approaches to seed vigor testing. *Scientia Agricola* 55: 27-33.
- Minaxi, Saxena, J., Chandra, S., and Nain, L. 2013. Synergistic effect of phosphate solubilizing rhizobacteria and arbuscular mycorrhiza on growth and yield of wheat plants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 13: 511-525.
- Mohammadkhani, N., and Heidari, R. 2008. Effects of drought stress on soluble proteins in two maize varieties. *Turkish*

- Journal of Biology 32: 23-30.
- Moradi, K., Hamdi Shangari, A., Shahrajabian, M.H., Gharineh, M.H., and Madandost, M. 2010. Isabgol (*Plantago ovata* Forsk.) response to irrigation intervals and different nitrogen levels. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 26: 196-204. (In Persian with English Summary)
- Neetu, N., Aggarwal, A., Tanwar, A., and Alpa, A. 2012. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and *Pseudomonas fluorescens* at different superphosphate levels on linseed (*Linum usitatissimum* L.) growth response. Chilean Journal of Agricultural Research 72: 237-243.
- Omidbaigi, R. 1997. Approaches of the Production and Processing of Medicinal Plants. Vol 2. Tarrahan Nashr Press, Tehran, Iran. p. 424. (In Persian)
- Owusu-Apenten, R.K. 2002. Food Protein Analysis: Quantitative Effects on Processing. Marcel Dekker Inc., The Pennsylvania State University, New York, USA. p. 463.
- Pirzad, A.R., Tajbakhsh, M., and Darvishzadeh, R. 2012. Effect of water deficit stress on seed composition, seed germination and seedling growth in german chamomile. Sustainable Agriculture and Production Science 21: 139-156. (In Persian with English Summary)
- Popa, V.M., Gruia, A., Raba, D.N., Dumbrava, D., Moldovan, C., Bordean, D., and Mateescu, C. 2012. Fatty acids composition and oil characteristics of linseed (*Linum usitatissimum* L.) from Romania. Journal of Agroalimentary Processes and Technologies 18: 136-140.
- Rahimi, A., Jahansoz, M.R., and Rahimian Mashhadi, H. 2014. Effect of drought stress and plant density on quantity and quality characteristics of Isabgol (*Plantago ovata* Forssk.) and French *Psyllium*. Journal of Crop Production and Processing 4: 143-156. (In Persian with English Summary)
- Rejali, F., Mardoukhi, B., and Malakouti, M.J. 2011. Effects of mycorrhizal symbiosis on water use efficiency, proline accumulation, and mineral uptake of wheat (*Triticum aestivum* L.) under saline condition. Journal of Water Research in Agriculture 24: 111-122. (In Persian with English Summary)
- Sabannavar, S.J., and Lakshman, H.C. 2008. Interactions between *Azotobacter*, *Pseudomonas* and arbuscular mycorrhizal fungi on two varieties of *Sesamum indicum* L. Journal of Agronomy and Crop Science 194: 470-478.
- Samaei, F., Asghari, S.H., Aliasgharzadeh, N., and Sarikhani, M.R. 2015. Effects of two arbuscular mycorrhizae fungi on some soil hydraulic properties and nutrient uptake by spring barley in an alkaline soil under greenhouse conditions. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture 6: 169-179. (In Persian with English Summary)
- Seymour, N.P. 2003. Responses of linseed to vesicular-arbuscular mycorrhizae, phosphorus and zinc in a vertisol. Ph.D Thesis, School of Land, Crop and Food Sciences, The University of Queensland, Australia. p. 263.
- Seyed Sharifi, R. 2014. Industrial Plants. University of Mohaghegh Ardabili Press. Ardabil, Iran. p. 432. (In Persian)
- Soltanian, M., and Tadayyon, A. 2015. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on some agronomic characteristics on linseed (*Linum usitatissimum* L.) under drought stress. Journal of Plant Production Research 22: 1-21. (In Persian with English Summary)
- Thingstrup, I., Rubaek, G., Sibbesen, E., and Jakobsen, I. 1998. Flax (*Linum usitatissimum* L.) depends on arbuscular mycorrhizal fungi for growth and P uptake at intermediate but not high soil P levels in the field. Plant and Soil 203: 37-46.
- Vieira, R.D., Tekrony, D.M., and Egli, D.B. 1992. Effect of drought and defoliation stress in the field of soybean seed germination and vigor. Crop Science 32: 471-475.
- Witztum, A., Gutterman, Y., and Evenari, M. 1969. Integumentary mucilage as an oxygen barrier during germination of *Blepharis persica* (Burm.) Kuntze. Botanical Gazette 130: 238-241.
- Yousefi, A.A., Khavazi, K., Moezi, A.A., Rejali, F., and Nadian, H.A. 2011. Phosphate solubilizing bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi impacts on inorganic phosphorus fractions and wheat growth. World Applied Sciences Journal 15: 1310-1318.



Quality of Flax Seeds Harvested from Plants Inoculated with Soil Microorganisms Underwater Deficit Conditions

S. Rahimzadeh¹ and A. Pirzad^{2*}

Submitted: 07-03-2017

Accepted: 01-07-2017

Rahimzadeh, S., and Pirzad, A. 2018. Quality of flax seeds harvested from plants inoculated with soil microorganisms underwater deficit conditions. *Journal of Agroecology*. 10(3): 897-911.

Introduction

The relationship between arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and their associated bacteria has great importance for sustainable agriculture especially in the case of highly mycorrhizal plants such as flax seed. Bio-fertilizers use in sustainable agricultural systems is important in production and enables plants to absorb more water from soil and improves plant nutrient uptake and photosynthesis. The alleviating effect of the AMF symbiosis in response to drought generally relies on the uptake and transport of water and on an improved uptake of nutrients. The cooperation of bacteria and mycorrhizal is probably due to specific attributes of microorganisms that make the mother plants more tolerant to drought stress. The interacting effects of mycorrhizal colonization and phosphate solubilizing bacterial (PSB) inoculation on plant vegetative growth and crop yield have been studied previously. But, the impact of these above micro-organisms on the plant reproduction and the actual (quality) crop yield has received much less attention. Thus the main aim of this study was to evaluate the effects of AMF species, PSB and their interactions on the quality of harvested flax seeds.

Materials and Methods

A 2-year field experiment was conducted at the Urmia University, Urmia city, located at North-West of Iran during the years 2014 and 2015. The experimental design was factorial (three factors) based on a randomized complete block with three replications. The treatments were included two AMF species (*Funneliformis mosseae*, *Rhizophagus intraradices* and non-mycorrhizal control), PSB (*Pseudomonas putida* P13 and non-inoculated control) and three irrigation regimes (irrigation after 60, 120 and 180 mm of evaporation from Class A pan). Seeds were sown into a loamy soil at a depth of 2 cm in plots. Mycorrhizal inoculum was placed in the planting rows below the seeds. For bacterial treatments, the seeds were inoculated with bacterial suspension of *Pseudomonas putida* strain P13 before being immediately planted. At the end of the growing season, when the plants had produced mature seeds, samples were taken. Seed factors included germination percentage, nutrient percentage (N, P and K), mucilage percent, swelling factor, electrical conductivity and potassium leakage (parameters as a result of damage to seed cell membranes) were measured. Finally, data was analyzed using SAS 9.1 and means were compared by Student Newman Keul's test at 5% level of probability.

Results and Discussion

Combined ANOVA of 2-yr data showed a significant interaction effect of irrigation regimes multiply by bacteria and mycorrhiza on the final germination percent, mucilage content, swelling factor, swelling rate per gram mucilage, seed nutrients (nitrogen, phosphorus and potassium), and potassium leakage, and significant interaction of year multiply by irrigation regimes and mycorrhiza on the electrical conductivity in flax seeds. Results indicated that with increasing irrigation interval from 60 to 120 mm of evaporation in control (non-inoculated) plants, phosphorus percent, potassium percent, mucilage percent, swelling factor and swelling rate per gram mucilage, and potassium leakage were in high level. These above traits decreased with increasing in severe stress up to 180 mm of evaporation. With increasing drought stress in flax plants (from irrigation after 60 to 180 mm evaporation), protein content and final germination percentage and rate of harvested seeds were decreased. Mycorrhizal and bacterial inoculation of flax plants, especially dual inoculation, compensated a part of drought-induced seed protein reduction. In all irrigation regimes, the highest percentage of phosphorus,

1 and 2- PhD. Student and Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: a.pirzad@urmia.ac.ir)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.63102

potassium, mucilage and swelling factor were observed in dual inoculated plants due to synergistic effect of mycorrhiza and PSB. This synergistic effect led to reducing cell membrane damages that indicated the vigorous seeds. But a downward trend of seeds germination percentage harvested from inoculated plants, related to higher mucilage volume and its negative correlation with seed germination.

Conclusion

A mixture of AMF and bacteria improved the results more than they were for the non-inoculated control plants. The development of multi-functional microbial inoculants seems to be a promising method to increase the positive effects of micro-organisms. In this study, the participation of micro-organisms contributed to a higher quality and vigor of flax seeds. Assessment the effects of plant-beneficial micro-organisms (*Pseudomonas putida* and two mycorrhizal species, alone or/and in combination) on the quality of flax seeds obtained from plants grown in the field, showed the beneficiary of dual colonization.

Keywords: Drought stress, Mucilage, Mycorrhizal fungi, *Pseudomonas*, Seed germination

مقایسه شاخص‌های مختلف طیفی پوشش گیاهی برای ارزیابی از دور شاخص سطح برگ گندم (*Triticum aestivum* L.) زمستانه در مشهد

سارا اسدی^۱، محمد بنایان اول^{۲*}، محسن جهان^۳ و علیرضا فرید حسینی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۰۸

اسدی، س.، بنایان اول، م.، جهان، م.، و فرید حسینی، ع. ر. ۱۳۹۷. مقایسه شاخص‌های مختلف طیفی پوشش گیاهی برای ارزیابی از دور شاخص سطح برگ گندم (*Triticum aestivum* L.) زمستانه در مشهد. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳): ۹۳۴-۹۱۳.

چکیده

توانایی دقیق و سریع به دست‌آوردن شاخص سطح برگ (LAI) یک جزء ضروری در تحقیقات بوم‌شناختی است که به درک پدیده تولید زیست توده گیاهی کمک می‌کند. یکی از رایج‌ترین روش‌های تعیین تغییرات مکانی و زمانی این شاخص در مقیاس منطقه‌ای، استفاده از شاخص تفاضل نرمال شده بازتابش سطحی (NDVI) است. با توجه به حساسیت کم این شاخص به مقدار متوسط تا زیاد شاخص سطح برگ، این تحقیق با هدف بررسی ارتباط سایر شاخص‌های پوشش گیاهی با شاخص سطح برگ گندم (*Triticum aestivum* L.) و دقت آن‌ها در برآورد شاخص سطح برگ انجام شد. بدین منظور اندازه‌گیری شاخص سطح برگ در پنج تاریخ از ۱۷ مزرعه واقع در مزارع آستان قدس رضوی مشهد در طول فصل رشد گندم در سال ۱۳۹۳-۱۳۹۴ صورت گرفت. با توجه به طول دوره رشد گندم از تصاویر سری زمانی سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ به‌منظور محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی (EVI_1 ، EVI_2 ، G_1 ، G_2 ، $IPVI$ ، $SAVI$ ، $TDVI$ و RVI) استفاده شد. برای انتخاب متغیر برآورد کننده مناسب و مدل‌سازی آماری از روش رگرسیون ساده (خطی، درجه دوم، نمایی) و رگرسیون خطی دوگانه و رگرسیون خطی چندگانه به روش پیش‌رونده و پس‌رونده استفاده شد. در نهایت برای اعتبارسنجی و درستی مدل‌های ارائه شده از سنجه‌های آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، دقت نقطه‌ای نسبت به مقدار واقعی (E) و ضریب همبستگی (r) استفاده شد. نتایج حاکی از افزایش دقت برآورد شاخص سطح برگ گندم با استفاده از شاخص NDVI و SAVI و توابع نمایی (به ترتیب به ۱/۱۸ و ۱) نسبت به مدل خطی (به ترتیب ۱/۴۶ و ۱/۲۶) است. این افزایش دقت به دلیل برآورد دقیق‌تر شاخص سطح برگ در بازه ۰ تا ۴ شاخص سطح برگ واقعی و مقدار ثابت شاخص سطح برگ شبیه‌سازی در بازه شاخص سطح برگ واقعی ۶ تا ۱۰ می‌باشد. لازم به ذکر است که، میزان دقت برآورد شاخص سطح برگ با استفاده از ترکیب این دو شاخص نسبت به مدل خطی هر کدام از این شاخص‌ها افزایش یافته است. همچنین، بالاترین دقت در برآورد شاخص سطح برگ از ترکیب شاخص G_2 با SAVI و EVI_1 (به ترتیب ۱/۰۳، ۱/۰۳) به دلیل حساسیت بیشتر شاخص G_2 به شاخص سطح برگ متوسط و بالا نسبت به NDVI مشاهده شد. علاوه بر این دقت مدل گزینش پیش‌رونده و پس‌رونده نسبت به سایر مدل‌ها در برآورد شاخص سطح برگ، به دلیل حساسیت بیشتر مدل به شاخص سطح برگ بالاتر از ۶، بهبود یافته است (به ترتیب ۰/۸۷ و ۰/۹۵). اگرچه دقت برآورد شاخص سطح برگ گندم در روش گزینش پیش‌رونده نسبت به تمامی مدل‌ها بیشتر است، اما محاسبه آن نیاز به استفاده از پارامترهای زیادی است.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون چند متغیره، شاخص‌های تعدیل شده پوشش گیاهی، شاخص تفاضل نرمال شده، شاخص رشد گیاهی

مقدمه

شاخص سطح برگ، نسبت سطح فعال فتوسنتزی برگ سبز در واحد سطح زمین، یکی از معمولی‌ترین ویژگی‌های بیوفیزیکی پوشش گیاهی است (Watson, 1947). سطح برگ شرکت‌کننده در فتوسنتز

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری بوم‌شناسی زراعی، استاد و دانشیار گروه

زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

*- نویسنده مسئول:

(Email: mobannayan@yahoo.com)

این دو روش کاملاً مکمل یکدیگر هستند (Pinty et al., 2009)، به‌دست آوردن پارامترهای مطلوب برای حل مدل‌های انتقال تابشی بسیار سخت است (Fang et al., 2003). از این‌رو، شاخص‌های پوشش گیاهی به دلیل سهولت محاسبات، کاربرد گسترده‌ای دارند. هدف اصلی شاخص‌های پوشش گیاهی طیفی، افزایش اطلاعات موجود در داده‌های انعکاس طیفی با استخراج تنوع به علت ویژگی‌های پوشش گیاهی و به حداقل رساندن اثرات هندسی خاک، اتمسفر و خورشید است (Moulin & Guerif, 1999). شاخص‌های گیاهی، به ویژه شاخص پوشش گیاهی استاندارد^۳ (NDVI) و شاخص نسبت گیاهی^۴ (RVI) بیشترین کاربرد را دارند.

شاخص NDVI به مقادیر کم و متوسط شاخص سطح برگ سبز حساس‌تر می‌باشد و حساسیت کمتری به شاخص سطح برگ متوسط به بالا دارد. اشباع NDVI به عدم حساسیت بازتابندگی در ناحیه قرمز در مقادیر متوسط یا بالا شاخص سطح برگ به دلیل ضریب بالای جذب فتوسنتز نسبت داده شده است. برای شاخص سطح برگ سبز کمتر از ۳، جذب کل کانوپی در محدوده قرمز به ۹۰ تا ۹۵ درصد می‌رسد و افزایش شاخص سطح برگ سبز (بیشتر از ۳)، منجر به تغییرات بیشتری در جذب و بازتاب در محدوده قرمز نمی‌شود (Hatfield et al., 2008, Gitelson, 2014a). یکی دیگر از دلایل کاهش حساسیت NDVI به مقادیر متوسط به بالا، فرمول ریاضی این شاخص است. در شاخص سطح برگ سبز متوسط به بالا، NDVI تحت تأثیر اشعه ماورا بنفش قرار دارد. از آنجایی که پراکندگی توسط ساختار سلولی یا برگ باعث می‌شود که بازتاب مادون قرمز نزدیک^۵ (NIR) بالا باشد و جذب آن توسط کلروفیل موجب کاهش بازتاب قرمز شود، بازتاب NIR به طور قابل توجهی بیشتر از بازتاب قرمز است. به طور مثال، در شاخص سطح برگ بیشتر از ۳، بازتاب NIR > 40% است در حالی که بازتاب Red < 5% است. به این ترتیب، NDVI به تغییرات بازتاب طول موج قرمز (Red) و NIR حساس است. در مقابل، شاخص‌های گیاهی مانند شاخص نسبت گیاهی (RVI)، شاخص رشد گیاهی و فرم جایگزینی آن (شاخص پوشش گیاهی ارتقاء یافته^۶ (EVI₂ و EVI)) و شاخص‌های کلروفیل، حساسیت بالا به شاخص سطح برگ متوسط و زیاد را نشان می‌دهد (Gitelson et al.,

1992) (Daughtry et al., 2009) یک متغیر ضروری در مدل‌های خاک-گیاه-آب می‌باشد. در سیستم‌های کشاورزی، سطح کل برگ هر محصولی، به واسطه مقدار شاخص سطح برگ از محدودیت‌های کلیدی در میزان جذب و انتقال کربن برخوردار است که در مجموع تعیین‌کننده میزان تولید محصول می‌باشد (Koetz et al., 2005; Gitelson et al., 2014). بنابراین، شاخص سطح برگ برای مطالعات اکولوژیکی از جمله: کنش میان پوشش گیاهی و اتمسفر و تخمین فتوسنتز، تبخیر و تعرق، عملکرد محصول و بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک دیگر در مطالعات کشاورزی ضروری می‌باشد (Cao et al., 2014; Bondeau et al., 1999).

اگرچه اندازه‌گیری شاخص سطح برگ به صورت تخریبی در نقطه مورد نظر از دقت بالاتری برخوردار است، اما با افزایش وسعت منطقه مورد مطالعه، ضمن افزایش میزان تخریب، حجم و هزینه کار در زمان محدود، دقت کار نیز کاهش می‌یابد (Guindin-Garcia et al., 2012). از سوی دیگر تحولات سریع تکنولوژیکی در سه دهه گذشته استفاده از سنسورهای ماهواره‌ای (مانند ماهواره مودیس^۱ و لندست^۲) قادر به اندازه‌گیری بازتاب‌های برگ در طول موج‌های مختلف از سطح منطقه‌ای به مقیاس جهانی است (Broge & Leblanc, 2001; Cleland et al., 2007). در حقیقت، مجموعه داده‌های سری زمانی شاخص‌های طیفی به‌دست آمده از سنسورهای دور حاکی از مفید بودن آن در تشخیص تغییرات فنولوژی در مقیاس منطقه‌ای (Karlsen et al., 2009) درک پاسخ فنولوژی رشد گیاه به شرایط اقلیمی (White et al., 1997) و طبقه‌بندی انواع پوشش گیاهی (Bradley & Mustard, 2008) است. بنابراین علاقه به توسعه مدل‌های برآورد شاخص سطح برگ سبز با تصاویر به‌دست آمده از سنسورهای ماهواره‌ای افزایش یافته است (Gao et al., Gray et al., 2012).

دو روش عمده برای تخمین شاخص سطح برگ از راه دور وجود دارد: (۱) مدل‌های معکوس انعکاس تابشی (Fang et al., 2003) و (۲) روابط تجربی بین شاخص سطح برگ و شاخص‌های پوشش گیاهی طیفی (Chen et al., 1996). با این که

3- Normalized difference vegetation index

4- Ratio vegetation index

5- Near infrared radiation

6- Enhanced vegetation index

1- MODIS

2- Landsat

ایران ۲۳۶ میلی‌متر و متوسط بارش جهان ۷۸۰ میلی‌متر برآورد شده است. مشهد با متوسط بارشی در حدود یک چهارم متوسط بارش جهانی، یکی از قطب‌های تولیدکننده محصولات کشاورزی در ایران می‌باشد. در این شرایط، تولید محصولات کشاورزی عمدتاً وابسته به آب زیرزمینی است.

بر اساس آمار مزرعه نمونه استان قدس ۹۴۶ هکتار از این ارضی در سال ۹۴-۹۳ تحت کشت گندم قرار گرفت. آب مورد نیاز این اراضی از ۳۳ حلقه چاه تأمین می‌شود که مزارع به اسم چاه‌ها نامگذاری شده است. ۱۷ مزرعه با مساحت ۵۴۹/۷ هکتار از بین مزارع نمونه آستان قدس در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱).

تصاویر مورد استفاده

در این پژوهش با توجه به طول دوره رشد گندم در مزرعه نمونه از تصاویر سری زمانی سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ از بازه زمانی ۲۲ نوامبر ۲۰۱۴ تا ۲۰ ژوئن ۲۰۱۵ (برابر با ۱ آذر ۱۳۹۳ تا ۳۰ خرداد ۱۳۹۴) استفاده شد. از آنجایی که منطقه مورد مطالعه تنها در یک شیت ماهواره لندست (شماره گذر و ردیف به ترتیب ۱۵۹ و ۳۵) قرار می‌گیرد، فاصله بین تصویربرداری‌ها در این پژوهش با توجه به تاریخ‌های تصویر برداری لندست ۸، ۱۶ روزه است و برخی از تصاویر به دلیل حضور ابر، از روند مطالعه خارج شد (جدول ۱). در این تحقیق، تصاویر ماهواره لندست ۸ به دلیل بالابودن قدرت تفکیک طیفی (۱۱ باند طیفی) و قدرت تفکیک رادیومتریکی ۱۲ بیتی (امکان توصیف بهتر پوشش زمین) و در دسترس بودن تصاویر این ماهواره انتخاب شد.

پیش‌پردازش‌های تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸

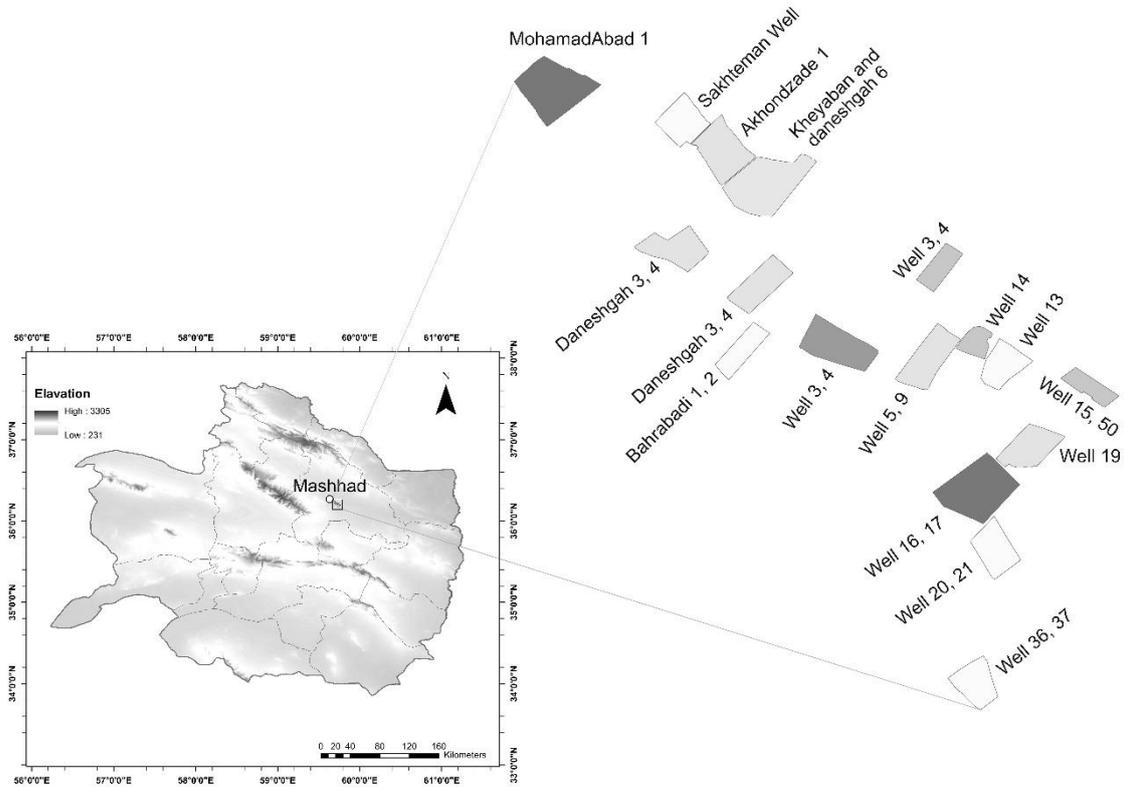
تصاویر در حالت خام دارای خطاهای هندسی یا رادیومتریکی می‌باشند که برخی از این خطاها در ایستگاه‌های گیرنده زمینی تصحیح می‌شوند. حجم عملیات پیش‌پردازش بسته به نوع سنجنده، کیفیت اطلاعات رقومی و نوع کاربرد متغیر خواهد بود. به طور کلی تصحیحات به دو دسته تصحیحات رادیومتریکی و تصحیحات هندسی تقسیم می‌شود. تصحیح هندسی به دلیل این که میزان خطای x و y تصاویر لندست ۸ از یک سوم اندازه پیکسل (۳۰ متر) کمتر بود، انجام نشد (جدول ۱).

از سوی دیگر، این شاخص تداخل بین خاک و گیاه در محدوده فرسرخ را برطرف نمی‌کند (Le Maire et al, 2011). برای رفع این مشکل از شاخص‌های دیگر مانند شاخص گیاهی تعدیل‌شده خاک^۱ (SAVI) برای بازیابی پوشش گیاهی و رفع معایب شاخص NDVI استفاده شد (Huete, 1988). با این حال، برخی محققین بیان کردند که این شاخص‌ها حساسیت کمتری به مقدار کم شاخص سطح برگ سبز دارند (Nguy-Robertson et Vina et al., 2011; al., 2012). با توجه به، حساسیت متفاوت شاخص‌های گیاهی به میزان شاخص سطح برگ گیاهان و ویژگی‌های پوشش گیاهی از جمله ساختار برگ، در این تحقیق با بررسی ارتباط شاخص سطح برگ گندم با شاخص‌های گیاهی متفاوت، سعی در تعیین یک الگوریتم قوی‌تر برای برآورد شاخص سطح برگ سبز گندم با استفاده از متغیرهای بیشتر (شاخص‌های گیاهی) می‌شود.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

اراضی مزرعه نمونه آستان قدس رضوی با ۱۴ هزار هکتار وسعت و ۹۱ حلقه چاه، واقع در جنوب شرقی مشهد در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ دقیقه و ۳ درجه تا ۶۰ درجه و ۳۵ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). مشهد به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص که در منطقه مرزی بین شمال و جنوب خراسان قرار دارد و همچنین تداخل جبهه‌های مختلف آب و هوایی، دارای آب و هوا و خصوصیات ویژه اقلیمی است و قسمت اعظم دشت مشهد- نیشابور، جزء اقلیم سرد و خشک و قسمتی از دشت مشهد- قوچان، نیم خشک و سرد و بخش کوچکی از بلندترین ارتفاعات رشته کوه‌های بینالود و هزار مسجد جزء اقلیم مرطوب سرد می‌باشد و در مجموع شهر مشهد دارای آب و هوای متغیر، اما معتدل و متمایل به سرد و خشک است و از تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و مرطوب برخوردار است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه استان دارای اقلیم خشک سرد و نیمه خشک سرد می‌باشد. میانگین دمای حداکثر و حداقل این منطقه در دوره بلند مدت ۶۰ ساله (از سال ۱۳۳۹ تا ۱۳۸۹) به ترتیب حدود ۲۱/۲ و ۷/۳ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارش سالانه این شهر حدود ۲۵۱ میلی‌متر می‌باشد. این در حالی است که متوسط بارندگی



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مزرعه نمونه آستان قدس رضوی در مشهد
 Fig. 1- Geographical location of the Astan Quds Razavi farm in Mashhad

جدول ۱- مشخصات تصاویر سنجنده OLI، ماهواره لندست ۸ در بازه مورد مطالعه

Table 1- Specifications of OLI, Landsat 8 satellite imagery within the range of the case study

ردیف	تاریخ تصویربرداری (میلادی)	تاریخ تصویربرداری (شمسی)	درصد پوشش ابر تصویر	خطای هندسی (متر)	خطای هندسی (Y) (متر)	خطای هندسی (X) (متر)
ID	Landsat imaging dates (Gregorian)	Landsat imaging dates (Solar)	Amount of cloud (%)	Geometric error (m)	Geometric error (y) (m)	Geometric error (x) (m)
1	21-Dec-14	۳۰ آذر ۱۳۹۳	91.7			
2	6-Jan-15	۱۶ دی ۱۳۹۳	1.51	9.127	6.618	6.284
3	22-Jan-15	۲ بهمن ۱۳۹۳	3.41	8.878	6.459	6.091
4	7-Feb-15	۱۸ بهمن ۱۳۹۳	10.95	9.106	6.471	6.278
5	23-Feb-15	۴ اسفند ۱۳۹۳	75.94	8.508	5.395	6.578
6	11-Mar-15	۲۰ اسفند ۱۳۹۳	48.56	8.613	5.846	6.326
7	27-Mar-15	۷ فروردین ۱۳۹۴	52.69			
8	12-Apr-15	۲۳ فروردین ۱۳۹۴	21.31	8.858	6.014	6.504
9	25-Apr-15	۵ اردیبهشت ۱۳۹۴	22.42	7.520	4.965	5.648
10	14-May-15	۲۴ اردیبهشت ۱۳۹۴	3.32	6.943	4.123	5.587
11	30-May-15	۹ خرداد ۱۳۹۴	4.5	4.952	4.219	5.526

تصحیحات رایومتریکی

تصحیحات رایومتریکی برای کاهش یا حذف خطاهای اتمسفری و خطاهای دستگاهی استفاده می‌شود. در طی فرآیند تهیه تصویر توسط سنجنده، اطلاعات رایومتریکی هر باند به صورت مقادیر عددی که به آن‌ها DN^1 گفته می‌شود، ثبت می‌شود. این مقادیر با مقادیر واقعی انرژی منعکس شده یا گسیل شده از منطقه زمینی متناظر با پیکسل‌های تصویر متفاوت است، چرا که عوامل دیگری همچون پخش اتمسفری، تأثیر پیکسل‌های همسایه و زاویه تابش خورشید باعث می‌شوند مقدار انرژی دریافتی توسط سنجنده (رادینانس) نسبت به آنچه که بر روی زمین می‌توانست دریافت شود تغییر کند. خطاهای دستگاهی نیز آن دسته از خطاهای هستند که به علت طراحی یا عملکرد سنجنده ایجاد می‌شوند.

تصحیح رایومتریکی طی دو مرحله تبدیل ارزش رقومی به تابش طیفی^۲ (معادله ۱) و تبدیل تابش طیفی به بازتاب طیفی^۳ انجام می‌گیرد.

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{max} - L_{min}}{Q_{calmax} + Q_{calmin}} \right) \times (DN + Q_{calmin}) + L_{min} \quad (1) \text{ معادله}$$

در این معادله، DN : ارزش رقومی هر پیکسل، L_{max} و L_{min} : به ترتیب حداقل تابندگی مورد نیاز برای تولید حداکثر ارزش داده و تابندگی مربوط به ارزش رقومی صفر بر حسب $(W/m^2/sr/\mu m)$ برای هر باند می‌باشد. Q_{calmin} و Q_{calmax} : بیشترین و کمترین ارزش پیکسل کالیبره شده کمی شده و تابش طیفی هر باند بر حسب $(W/m^2/sr/\mu m)$ می‌باشد. با توجه به هدف تحقیق که محاسبه شاخص‌های گیاهی با استفاده از میزان بازتاب است، برخلاف برخی مطالعات که لزومی به تصحیح رایومتریکی ندارند، تبدیل عدد رقومی ثبت شده توسط سنجنده به رادینانس الزامی است.

در این پژوهش، تبدیل ارزش رقومی به تابش طیفی با استفاده از دستور Radiometric Calibration و تبدیل تابش طیفی به بازتاب طیفی با استفاده از روش $FLAASH^f$ در نرم افزار ENVI انجام شد. فلش اولین ابزار تصحیح اتمسفری می‌باشد که طول موج قابل رویت

و طول موج‌های مادون قرمز و مادون قرمز نزدیک تا ۳ میکرومتر را تصحیح می‌کند. در روش فلش از فایل Meta Data برای تصحیح باندهای مورد نظر که شامل باندهای چند طیفی و باندهای حرارتی است، استفاده شده که برای باندهای چند طیفی عملیات رادینانس^۵ و ریفلکت^۶ ولی برای باندهای حرارتی فقط عملیات رادینانس انجام شد.

در انتها، نرمالیزه کردن باندهای مورد نظر بین ۰ تا ۱ با استفاده از معادله ۲ در دستور Band Math صورت گرفت.

$$\text{معادله (۲)} \quad \text{Float}((b1 \text{ Le } 0) * 0 + (b1 \text{ Ge } 10000) * 1 + (b1 \text{ Gt } 0 \text{ and } b1 \text{ Lt } 10000) * \text{float}(b1/10000.0))$$

محاسبه شاخص‌های گیاهی

شاخص‌های گیاهی مورد ارزیابی در این مطالعه شامل شاخص گیاهی تفاضل (DVI)، شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص نسبت گیاهی (RVI)، شاخص تفاضل گیاهی تبدیل شده (TDVI)، شاخص گیاهی تعدیل شده خاک (SAVI)، شاخص گیاهی درصد مادون قرمز نزدیک (IPVI)، شاخص سبزیگی (G_2 و G_1) و شاخص رشد گیاهی ارتقاء یافته (EVI_2 و EVI_1) می‌باشد.

محاسبه شاخص سطح برگ

محاسبه شاخص سطح برگ بر اساس دو فرمول رایج براساس شاخص‌های پوشش گیاهی EVI و $NDVI$ (EVI_2 و EVI_1) (معادله‌های ۳ و ۴) صورت گرفت. شاخص سطح برگ در معادله ۴، با استفاده از هر دو شاخص EVI_2 و EVI_1 محاسبه شد.

$$\text{معادله (۳)} \quad LAI = 0.57 * \exp(2.33 * NDVI) \quad (r^2 = 0.46) \quad (\text{Satio et al., 2001})$$

$$\text{معادله (۴)} \quad LAI = (3.618 * EVI - 0.118) > 0 \quad (r^2 = 0.77) \quad (\text{Boegh et al., 2002})$$

اندازه‌گیری‌های میدانی

جهت انجام این تحقیق محدوده مزارع مورد مطالعه به وسیله دستگاه جی‌پی‌اس^۷ مدل Magellan eXplorist 300 تعیین گردید.

5- Radiance
6- Reflectance
7- GPS

1- Digital number
2- Spectral radiance
3- Spectral reflectance
4- Fast line of sight atmospheric analysis of hypercubes

نمونه‌های شاخص سطح برگ به ۳ و ۴ عدد کاهش یافت. نمونه برداری‌ها در تاریخ ۱۸ بهمن و ۲۳ اسفند ۱۳۹۳ و ۲۷ فروردین، ۵ و ۲۴ اردیبهشت ۱۳۹۴ انجام شد.

اندازه‌گیری شاخص سطح برگ با استفاده از سه نمونه از هر ۱۷ مزرعه، در پنج تاریخ در طول دوره رشد گندم، همزمان با عبور ماهواره از سطح مزارع صورت گرفت. لازم به ذکر است در برخی از مزارع به دلیل همزمانی آبیاری با تاریخ برداشت شاخص سطح برگ، تعداد

جدول ۲- شاخص‌های گیاهی مورد استفاده در این تحقیق
Table 2- Vegetation indices used in this research

شاخص‌های گیاهی Vegetation Indices	فرمول Equation	منبع Reference
شاخص گیاهی تفاضل Difference vegetation index (DVI)	$band_{NIR} - band_{RED}$	تیوکر و همکاران Tucker et al., (1979)
شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی Normalized difference vegetation index (NDVI)	$\frac{(band_{NIR} - band_{RED})}{(band_{NIR} + band_{RED})}$	تیوکر و همکاران Tucker et al., (1979)
شاخص نسبت گیاهی Ratio vegetation index (RVI)	$\frac{band_{NIR}}{band_{RED}}$	بریث و مک وی (Birth & McVey, 1968)
شاخص گیاهی درصد مادون قرمز نزدیک Infrared percentage vegetation index (IPVI)	$\frac{band_{NIR}}{(band_{NIR} + band_{RED})}$	کریپن (Crippen, 1990)
شاخص گیاهی تعدیل شده خاک Soil adjusted vegetation index (SAVI)	$\frac{1.5 * (band_{NIR} - band_{RED})}{(band_{NIR} + band_{RED} + 0.5)}$	هیوت (Huete, 1988)
شاخص تفاضل گیاهی تبدیل شده Transformed difference vegetation index (TDVI)	$\sqrt{0.5 + \frac{(band_{NIR} - band_{RED})}{(band_{NIR} + band_{RED})}}$	بناری (Bannari, 2002)
شاخص پوشش گیاهی ارتقاء یافته Enhanced vegetation index (EVI)	$2.5 * \frac{(band_{NIR} - band_{RED})}{(band_{NIR} + 6 * band_{RED} - 7.5 * band_{BLUE} + 1)}$	هیوت و همکاران Huete et al., (1997)
شاخص پوشش گیاهی ارتقاء یافته Enhanced vegetation index (EVI ₂)	$2.5 * \frac{(band_{NIR} - band_{RED})}{(1 + band_{NIR} + 2.4 * band_{RED})}$	جیانگ و همکاران (Jiang et al., 2008)
شاخص سبزیگی Greenness index (G ₁)	$\sqrt{\frac{band_{NIR}}{band_{RED}}}$	
شاخص سبزیگی Greenness index (G ₂)	$\sqrt{\frac{(band_{NIR} - band_{RED})}{(band_{NIR} + band_{RED})}}$	

شاخص‌های ارزیابی

خطی چندگانه^۴ به روش گام به گام گزینش پیش‌رونده^۵، حذف پس‌رونده^۶ استفاده شد. در نهایت، از سنج‌های آماری جذر میانگین مربعات خطا^۷ (RMSE) میانگین قدر مطلق خطا^۱ (MAE)، ضریب

توزیع فراوانی شاخص سطح برگ با کمک آماره میانگین، حداقل، حداکثر، انحراف از معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی برای اطمینان از نرمال بودن داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (Proc Univariate) مورد بررسی قرار گرفت. برای انتخاب متغیر برآورد کننده مناسب و مدل‌سازی آماری از روش رگرسیون ساده با مدل‌های خطی^۱، درجه دوم^۲ و نمایی^۳ و رگرسیون خطی دوگانه و رگرسیون

- 2- Quadratic
- 3- Exponential
- 4- Multiple Regression
- 5- Forward stepwise regression
- 6- Backward stepwise regression
- 7- Root Mean Square Error (RMSE)

- 1- Linear

۰/۸۶) بود، اما میزان دقت آن با توجه به آماره‌های RMSE، MAE و خط ۱ به ۱ پایین و غیر قابل قبول است (شکل ۲). این امر کارایی ضعیف معادلات و ضرورت واسنجی آن‌ها را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده بر اساس معادلات ۳ و ۴ بسیار کمتر از مقادیر واقعی برآورد شده است و عدم انطباق شاخص سطح برگ خروجی از معادلات با واقعیت، تأکیدی بر کارایی ضعیف این معادلات می‌باشد. کارایی ضعیف این مدل‌ها را شاید بتوان به ویژگی‌های اقلیمی و محیطی منطقه مورد مطالعه نسبت داد (Faridhosseini et al., 2012).

بررسی کارایی معادلات رگرسیون خطی و توابع نمایی در برآورد شاخص سطح برگ گندم

به منظور دستیابی به بهترین معادله برای برآورد شاخص سطح برگ گندم مزارع آستان قدس رضوی، پراکنش مقادیر شاخص سطح برگ در مقابل سایر شاخص‌های رشد مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۳). نتایج حاکی از آن است که شاخص سطح برگ گندم با شاخص گیاهی NDVI رابطه خطی مثبت و معنی‌دار در سطح یک درصد ($r = 0.84^{**}$) دارد. این در حالی که همبستگی این دو شاخص با استفاده از توابع نمایی افزایش یافت ($r = 0.93^{**}$)، افزایش همبستگی با استفاده از توابع نمایی در شاخص‌های گیاهی SAVI و DVI نیز نسبت به همبستگی خطی ($r_{SAVI} = 0.92^{**}$ ، $r_{DVI} = 0.90^{**}$) افزایش یافت (شکل ۳d و ۳f). شاخص سطح برگ گندم با شاخص RVI، رابطه نمایی افزایشی تا ماکزیمم، مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد ($r = 0.91^{**}$) دارد (شکل ۳j). این در حالی است که شاخص G1 که جذر شاخص RVI است با شاخص سطح برگ رابطه پلی‌نومیال مثبت و معنی‌دار قابل قبولی ($r = 0.92^{**}$) دارد (شکل ۳g). بررسی مدل‌های رگرسیون خطی ساده و توابع نمایی نشان داد مدل‌های استفاده شده برای تمامی شاخص‌های گیاهی دارای ضریب همبستگی معنی‌دار در سطح یک درصد بودند. در نتیجه برای انتخاب مدلی با همبستگی و ضریب اطمینان بالاتر نیاز به بررسی پراکنش مقادیر شاخص سطح برگ مشاهده شده در مقابل شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده بر اساس شاخص‌های گیاهی است.

همبستگی r^2 و دقت نقطه‌ای نسبت به مقدار واقعی (E) برای اعتبارسنجی و درستی مدل‌های ارائه شده استفاده شد (معادلات ۵ - ۸).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - S_i)^2}{n}} \quad (5)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |M_i - S_i| \quad (6)$$

$$r = \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})(S_i - \bar{S}))^2}{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2 \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}} \quad (7)$$

$$E (\%) = \frac{S_i - M_i}{S_i} * 100 \quad (8)$$

که در این معادلات، M_i و \bar{M} : مقدار و میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده، S_i و \bar{S} : مقدار و میانگین مقادیر برآورد شده توسط مدل و n : تعداد کل مشاهدات می‌باشد. بهترین شاخص سطح برگ موقعی به دست می‌آید که r نزدیک به ۱ داشته باشیم. همچنین R^2 نشان‌دهنده قدرت مدل در برآورد شاخص سطح برگ است. از سوی دیگر، RMSE و MAE کمتر نشان‌دهنده آن است که مدل با خطای کمتری نسبت به پیش‌بینی مقادیر اقدام می‌نماید.

تمامی پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و محاسبه شاخص‌های گیاهی با استفاده از نرم افزار ENVI 5.3 و ARCGIS 10.3 انجام شد. رسم تصاویر و ضریب همبستگی نیز با استفاده از نرم‌افزار Sigmaplot 12.5 و SAS 9.4 صورت گرفت.

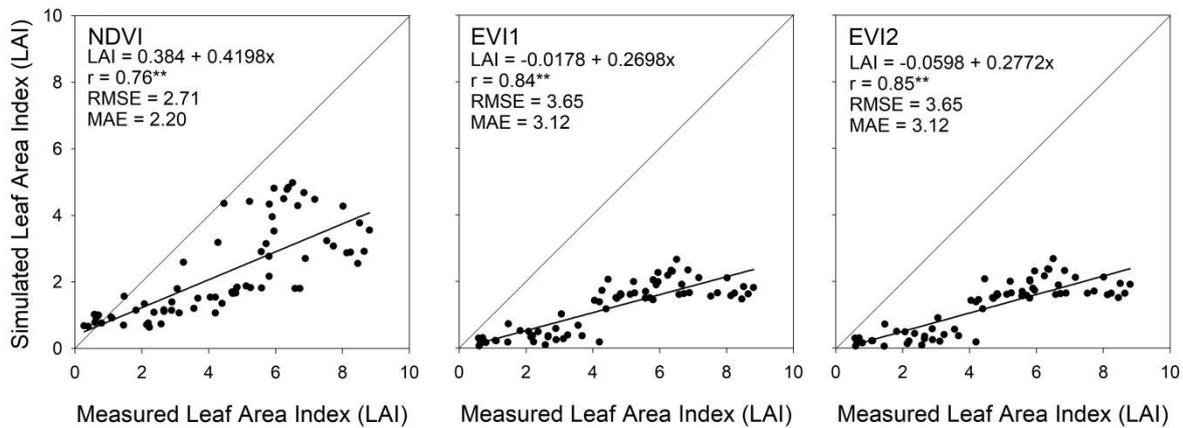
نتایج و بحث

ارزیابی معادلات رایج محاسبه شاخص سطح برگ

محاسبه شاخص سطح برگ بر اساس دو معادله رایج (معادلات ۳ و ۴) صورت گرفت. بررسی اولیه نمودارهای پراکنش مقادیر شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده در مقابل شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شده، وجود رابطه خطی بین این متغیرها را تأیید می‌کند. لازم به ذکر است که معادله ۳ با میزان همبستگی کمتر ($r = 0.76$ P < 0.01)، دقت بالاتری در برآورد شاخص سطح برگ گندم (RMSE = 2.71، MAE = 2.20) نسبت به معادله ۴ داشته است (شکل ۲). اگرچه همبستگی شاخص سطح برگ مشاهده شده با شبیه‌سازی شده بر اساس معادلات ۳ و ۴ در سطح یک درصد (به ترتیب ۰/۷۶، ۰/۸۴ و

1- Mean Absolute Error (MAE)

2- Coefficient correlation



شکل ۲- نمودارهای پراکندگی بین شاخص سطح برگ اندازه‌گیری و شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده بر اساس معادلات ۷ و ۸
 Fig. 2- Scatter plots between measured leaf area index and simulated leaf area index based on equation 7 and 8

اساس تمامی شاخص‌های پوشش گیاهی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (شکل ۴). دامنه آماره RMSE برای شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده بر اساس مدل‌های خطی و غیرخطی از ۱ تا ۱/۶۸ بود. میزان RMSE برای شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده با استفاده از شاخص NDVI و SAVI و مدل خطی به ترتیب ۱/۴۶ و ۱/۲۶ بود، که کارایی نسبتاً ضعیف این معادلات را نشان می‌دهد (شکل ۴a، ۴f). این در حالی است که با استفاده از توابع نمایی میزان این آماره به ترتیب به ۱/۱۸ و ۱ رسید. براساس شکل ۴ می‌توان اظهار داشت که مدل‌های خطی بر اساس شاخص‌های NDVI و SAVI در نقاط مرکزی (شاخص سطح برگ ۴ تا ۶) قادر به برآورد دقیق مقدار شاخص سطح برگ بود. در حالی که در شاخص سطح برگ کمتر از ۴ بیشتر از مقدار واقعی پیش‌بینی کردند. پیش‌بینی شاخص سطح برگ در بازه ۶ تا ۸ و ۸ تا ۱۰ به دلیل حساسیت پایین NDVI به ترتیب بیشتر و کمتر از مقدار واقعی بود. علاوه بر حساسیت بالاتر شاخص SAVI به مقدار بالای شاخص سطح برگ نسبت به NDVI، این حالت در شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده با استفاده از SAVI نیز مشاهده شد. افزایش دقت در برآورد شاخص سطح برگ به دلیل افزایش برآورد شاخص سطح برگ در بازه ۰ تا ۴ شاخص سطح برگ واقعی و مقدار ثابت شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده در بازه شاخص سطح برگ واقعی ۶ تا ۱۰ می‌باشد (شکل ۴a، ۴f). همین روند برای شاخص سطح برگ شبیه‌سازی بر اساس شاخص RVI نیز مشاهده شد (شکل ۴z). شبیه‌سازی شاخص سطح برگ با استفاده از

محدودیت استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI در برآورد LAI، در میزان شاخص سطح برگ بالا به دلیل اشباع NDVI در زمان بسته‌شدن کانوپی گیاهی است (Pontauiller et al., 2003). بنابراین، اغلب از منحنی رگرسیون نمایی برای بررسی رابطه بین این دو پارامتر استفاده می‌شود (Van Wijk & Lu et al., 2004; Williams 2005). همچنین مطالعات انجام شده توسط سایر محققین نیز نشان داد که روابط بین شاخص سطح برگ و سایر شاخص‌های پوشش گیاهی مانند NDVI و WDRVI را می‌توان با استفاده از روابط الگوریتمی و توابع نمایی و یا چند جمله‌ای بیان کرد (Richardson et al., 1992; Price & Myneni et al., 1997; Bausch, 1995; Gitelson et al., 2007). از سوی دیگر، مطالعه‌ای در نواحی نیمه خشک اراضی مرتعی چین در سال ۲۰۰۹، نشان داد که شاخص سطح برگ با NDVI در دو مرتع از سه مرتع مورد مطالعه، همبستگی خطی و معنی‌داری ($r_{UG79} = 0.77^{**}$, $r_{WG} = 0.99^{**}$) داشته است. همبستگی شاخص سطح برگ سه منطقه با شاخص پوشش گیاهی NDVI، برای روابط خطی ۰/۷۹ و توابع نمایی ۰/۷۷ به دست آمد (Fan & Gao, 2009). در این تحقیق به دلیل شاخص سطح برگ پایین گیاهان مرتعی شاخص NDVI محدودیتی ایجاد نکرده است. درویش‌زاده و همکاران نیز بین شاخص سطح برگ و شاخص NDVI و RVI رابطه خطی با همبستگی ۰/۷۴۹ و ۰/۷۴۸ به دست آوردند (Darvishzadeh et al., 2008). همبستگی شاخص سطح برگ مشاهده شده با شبیه‌سازی شده بر

تمام شاخص‌های پوشش گیاهی به جز G2 در شاخص سطح برگ بالاتر از ۶ روند مشابه دارد و دقت برآورد شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد. اگرچه، شاخص G2 (جزر NDVI) به طور کلی دقت پایین‌تری از NDVI (RMSE بیشتر) دارد، اما این شاخص برخلاف NDVI به میزان شاخص سطح برگ متوسط تا بالا حساسیت بیشتری داشته (MAE کمتر) و شبیه‌سازی بهتری را انجام داده است (شکل ۴a، ۴b). میزان دقت شاخص DVI در برآورد شاخص سطح برگ با استفاده از مدل خطی از تابع نمای بیشتر است ($RMSE_{DVI} = 1.08$). در صورتی که برآورد شاخص سطح برگ بر اساس تابع نمای در مقدار شاخص سطح برگ کمتر از ۶ دقت بالاتری داشت (شکل ۴d).

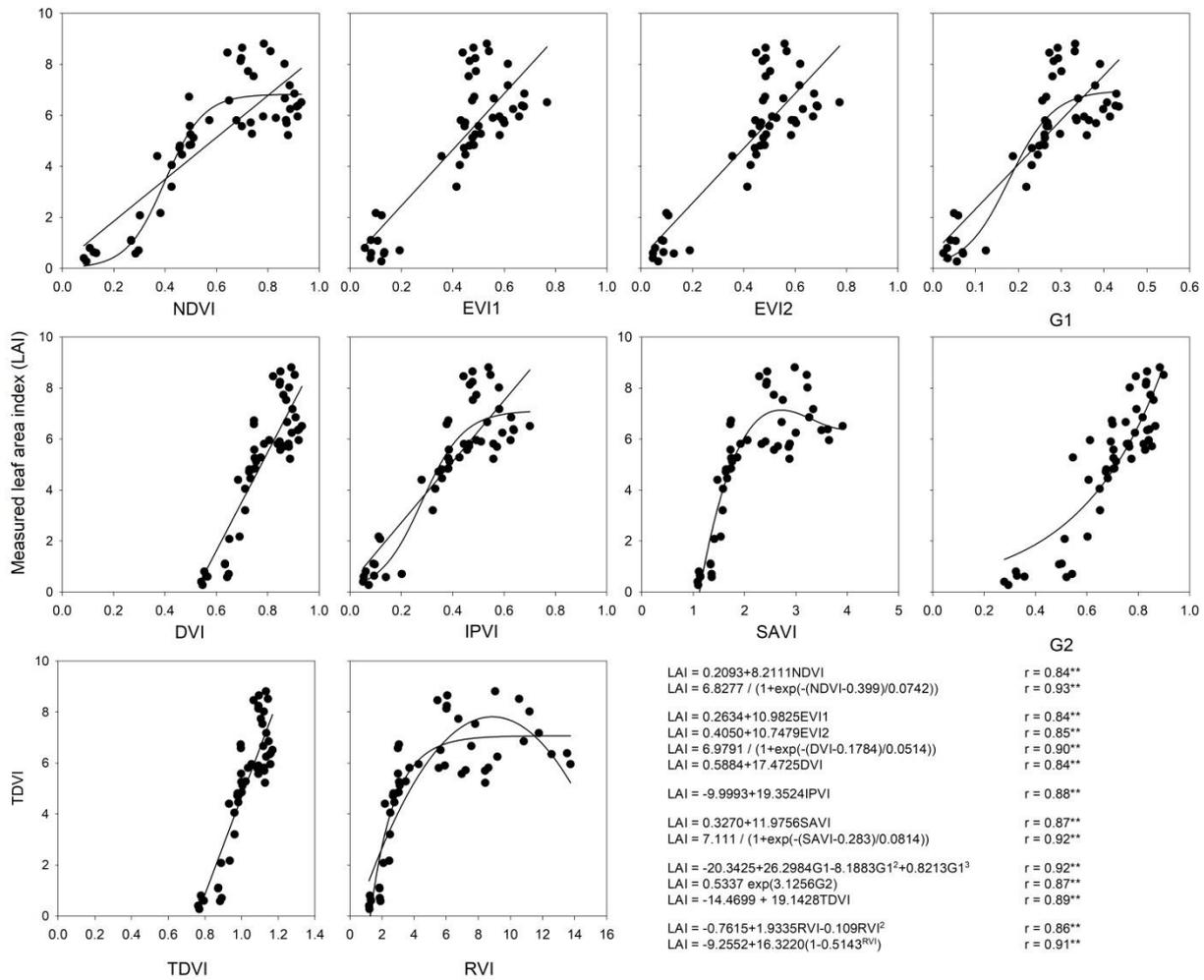
درویش زاده و همکاران رابطه خطی معنی داری بین شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده با استفاده از NDVI با شاخص سطح برگ مشاهده شده ($R^2 = 0.61$) مشاهده کردند (Darvishzadeh et al., 2008). ترنر و همکاران نیز رابطه نسبتاً قوی بین شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده با استفاده از NDVI و RVI با مشاهده شده ($R^2_{NDVI} = 0.59$, $R^2_{RVI} = 0.74$) گزارش کردند (Turner et al., 1999). همچنین سایر محققین اظهار داشتند که رابطه بین NDVI و پوشش گیاهی می‌تواند بر اساس پراکنش پوشش گیاهی که به صورت ضعیف و پراکنده یا به صورت متراکم بنا شود، به این معنی که در نواحی که پوشش گیاهی پراکنده است و شاخص سطح برگ کمتر از ۳ باشد، NDVI به شدت تحت تأثیر انعکاس خاک قرار می‌گیرد، بنابراین در نواحی که پوشش گیاهی پراکنده است شاخص تعدیل شده یا اصلاح شده پوشش گیاهی (SAVI) به جای NDVI پیشنهاد شده است و این شاخص به یک کالیبراسیون محلی نیازمند است، زیرا پیش‌بینی اثرات خاک درون نواحی با مقیاس‌های بزرگ که مجموعه‌ای از خاک‌ها و پوشش‌های گیاهی متفاوتی را دارد بسیار مشکل است (Gong et al., 2003; Pettorelli et al., Teillet et al., 1997). با بررسی شاخص SAVI با تصویر ماهواره‌ای و با ترکیب رنگی کاذب مشخص شد که کارایی این شاخص در تعیین مناطق دارای پوشش گیاهی نسبتاً خوب است و نتایج آماری موجود نیز این مسأله را تصدیق می‌کند. علت این مسأله مربوط به وجود باند مادون قرمز نزدیک به کارگرفته شده در این شاخص است. زیرا گیاهان سبز بیشترین میزان انعکاس را در این باند داشته و بنابراین در مطالعات پوشش گیاهی نقش مهمی دارند (Band et Asrar et al., 1984).

بررسی کارایی معادلات رگرسیون خطی چندمتغیره در برآورد شاخص سطح برگ گندم

با توجه به حساسیت متفاوت شاخص‌های پوشش گیاهی به مقدار شاخص سطح برگ (شکل ۳)، همبستگی خطی دوگانه تمامی شاخص‌ها با شاخص سطح برگ مشاهده شده گندم با استفاده از نرم افزار SAS مورد بررسی قرار گرفت. از میان ۴۵ ترکیب احتمالی، ۱۲ ترکیب که داری بالاترین اهمیت و بالاترین میزان همبستگی با LAI بودند، در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج معادلات رگرسیون چند متغیره نشان داد که همبستگی شاخص سطح برگ با شاخص‌های گیاهی EVI1، EVI2، DVI، SAVI و TDVI در ترکیب با شاخص G2 (جزر NDVI) نسبت به رگرسیون خطی تک متغیره افزایش یافته است (به ترتیب ۰/۹۱، ۰/۹۱، ۰/۹۱، ۰/۹۱ و ۰/۹۰) (شکل‌های ۵b، ۵c، ۵d، ۵g و ۵j). این افزایش احتمالاً به دلیل حساسیت بیشتر شاخص G2 به مقدار بالاتر شاخص سطح برگ نسبت NDVI باشد. این در حالی است که میزان همبستگی شاخص SAVI با شاخص سطح برگ در حضور NDVI نسبت به رگرسیون خطی تغییر نکرده است ($r = 0.87^{**}$) (شکل‌های ۵k و ۳f). علاوه بر این همبستگی شاخص سطح برگ با ترکیب TDVI با NDVI نیز نسبت به همبستگی هر کدام به تنهایی با شاخص سطح برگ افزایش یافت (شکل‌های ۵l، ۳a و ۳i). همچنین همبستگی شاخص سطح برگ با

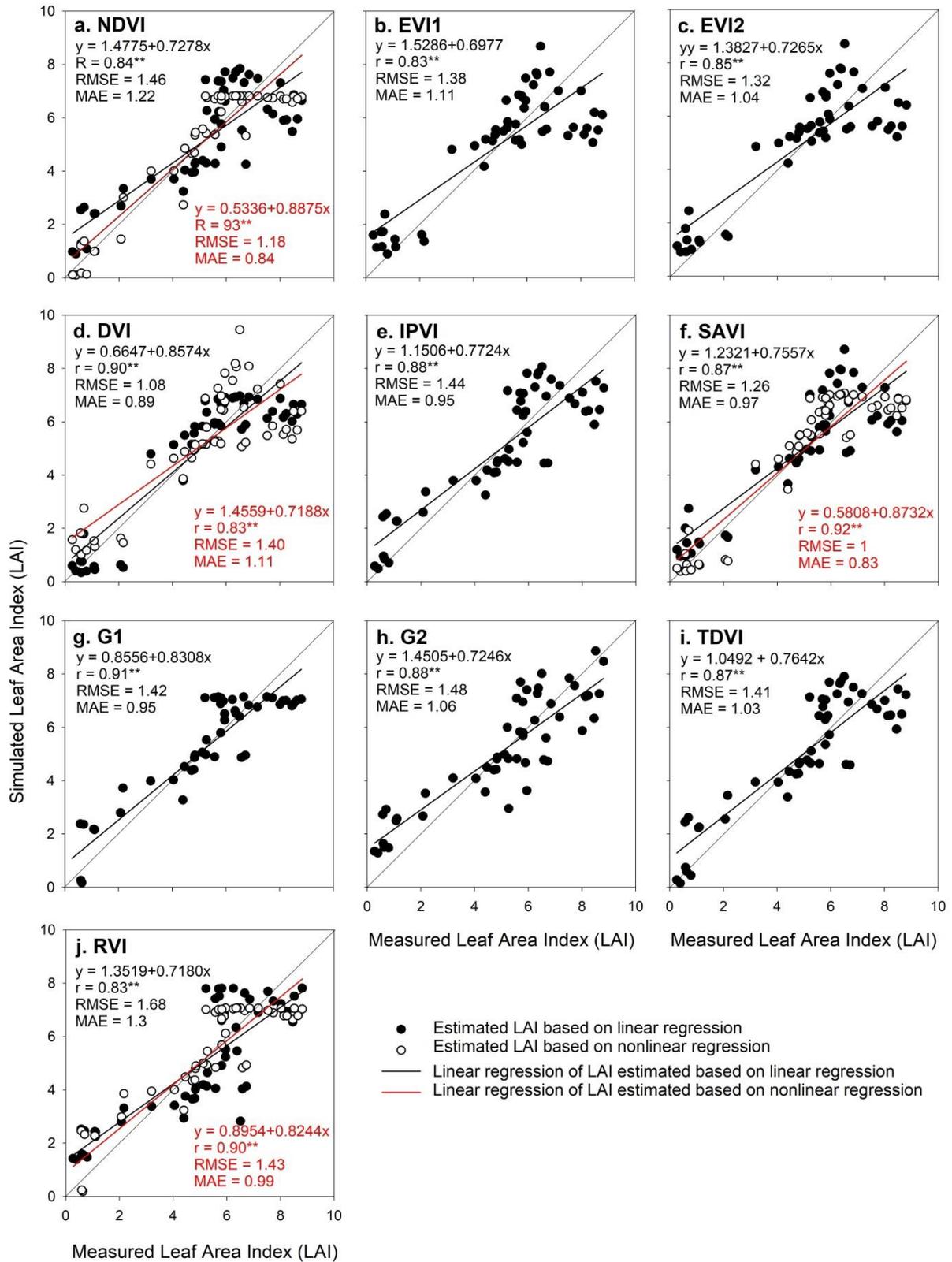
رگرسیون خطی تک متغیره و رگرسیون غیرخطی افزایش داد. اما همچنان همبستگی شاخص سطح برگ با رگرسیون غیرخطی برای شاخص‌های NDVI، SAVI و G1 (به ترتیب با ۰/۹۲، ۰/۹۳ و ۰/۹۲) بیشتر است (شکل‌های ۳ و ۵).

ترکیب TDVI با RVI و IPVI با RVI نسبت به همبستگی هر کدام به تنهایی با شاخص سطح برگ افزایش یافت (شکل‌های ۵h، ۵i، ۳e و ۳g). به طور کلی، رگرسیون خطی چندمتغیره همبستگی شاخص سطح برگ با شاخص‌های پوشش گیاهی را نسبت به



شکل ۳- توابع مناسب شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شده با شاخص‌های گیاهی (شاخص گیاهی تفاضل (DVI)، شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص نسبت گیاهی (RVI)، شاخص درصد مادون قرمز نزدیک (IPVI)، شاخص گیاهی تعدیل شده خاک (SAVI)، شاخص تفاضل گیاهی تبدیل شده (TDVI)، شاخص رشد گیاهی ارتقاء یافته (EVI2 و EVI1) و شاخص سبزی‌نگی (G1 و G2)) در مزارع گندم (استان قدس رضوی)

Fig. 3- Best-fit functions for measured Leaf area index relationships with Vegetation Indices [Difference Vegetation Index (DVI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Ratio Vegetation Index (RVI), Infrared Percentage Vegetation Index (IPVI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), Transformed Difference Vegetation Index (TDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), Enhanced Vegetation Index (EVI2), Greenness Index (G1), Greenness Index (G2)] at wheat fields (Astan Quds Razavi)



شکل ۴- پراکندگی بین شاخص سطح برگ اندازه‌گیری و شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده بر اساس معادلات شکل ۲
 Fig. 4- Scatter plots between measured leaf area index (LAI) and simulated leaf area index based on equation Figure 2

قرار گرفت. زمانی که تعداد عوامل ورودی مؤثر بر پدیده‌ای کم باشند، می‌توان با بررسی تمام ترکیبات ممکن و مقایسه‌ی خطا در مدل‌های مختلف رگرسیون، بهترین مدل رگرسیونی برای پیش‌بینی آن پدیده را به دست آورد. اما وقتی تعداد پارامترهای ورودی افزایش می‌یابد ارزیابی کلیه رگرسیون‌ها ممکن به حجم محاسبات زیادی نیاز دارد. بنابراین روش‌های مختلفی ایجاد شده است که صرفاً تعداد کمی از مدل‌های رگرسیون دارای زیر مجموعه‌ای از متغیرها را در یک زمان بررسی می‌کنند. روش‌های گام به گام را می‌توان به در سه دسته کلی گزینش پیش‌رونده^۱، حذف پس‌رونده^۲ و رگرسیون گام به گام که ترکیبی از این دو روش است تقسیم می‌نمایند (Chen et al., 1989; Noori et al., 2010). محققین بسیاری از این روش گزینش پیش‌رونده به عنوان یک ابزار برای پیش‌بینی و مدل‌سازی پدیده‌ها استفاده نمودند (Wang et al., 2006; Khan et al., 2007).

بر اساس نتایج آزمون پس‌رونده در مرحله اول شاخص TDVI و پس از آن به ترتیب NDVI، SAVI، DVI، EVI2 و IPVI از مدل حذف شد. در نهایت مدلی با چهار شاخص EVI1، G1، G2 و RVI با همبستگی ۰/۹۲ برای برآورد دقیق‌تر شاخص سطح برگ استخراج می‌شود (معادله ۹).

معادله (۹)

$$LAI = -7.4030 + 3.4209EVI1 + 5.6493G1 + 6.2734G2 - 1.0329RVI$$

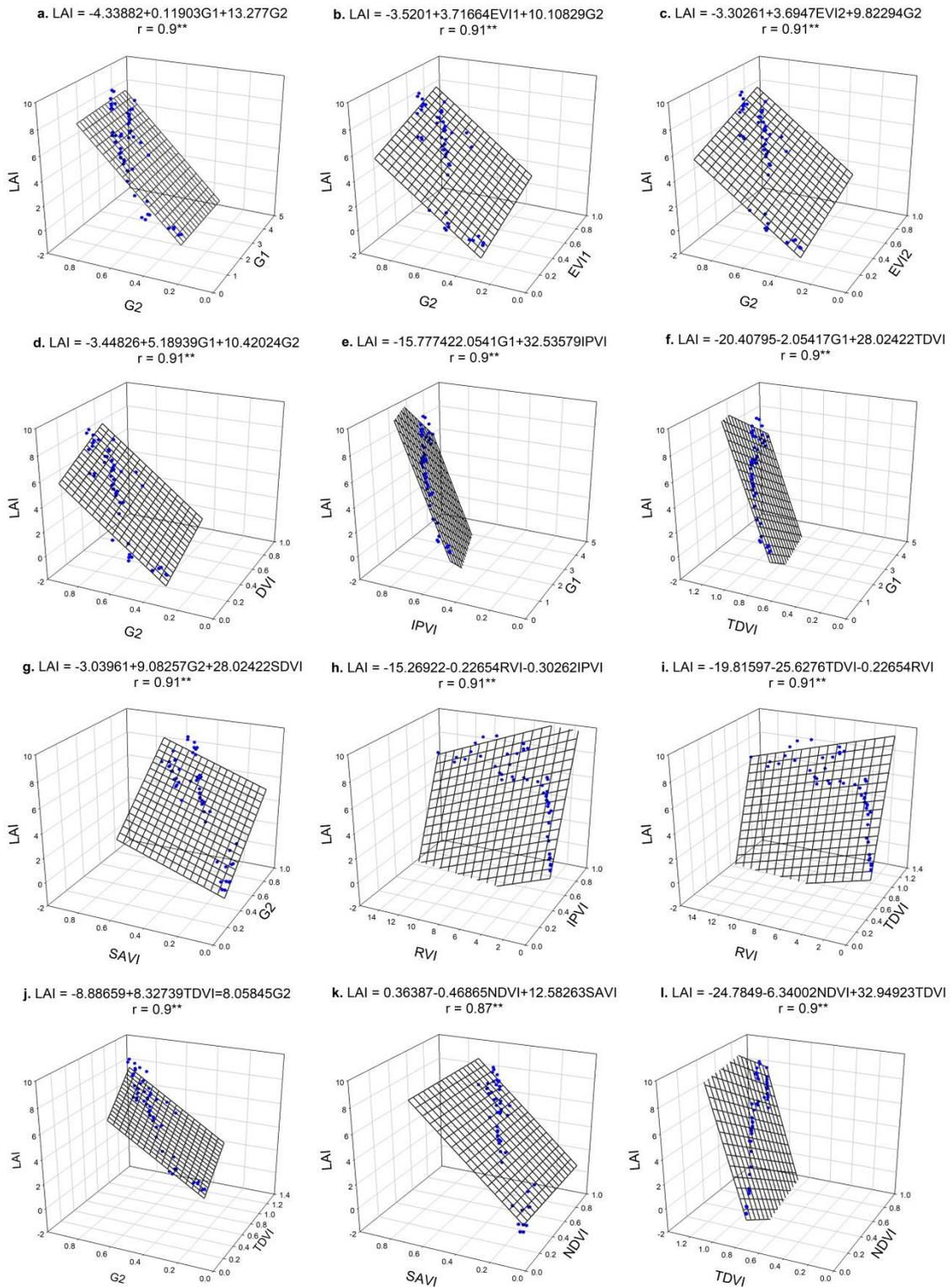
مهمترین پارامتری که در روش رگرسیون گام به گام پیش‌رونده برای ورود به مدل انتخاب می‌شود شاخص G2 است، زیرا ضریب همبستگی ساده این پارامتر با شاخص سطح برگ از سایر شاخص‌ها بیشتر است. بنابراین با ورود این شاخص ضریب همبستگی مدل به ۰/۹۰ می‌رسد. در گام بعد سایر پارامترها به ترتیب وارد مدل می‌شود. در انتها، مدلی با تمامی شاخص‌ها به جز شاخص NDVI با همبستگی ۰/۹۴ ارائه شد (معادله ۱۰).

معادله (۱۰)

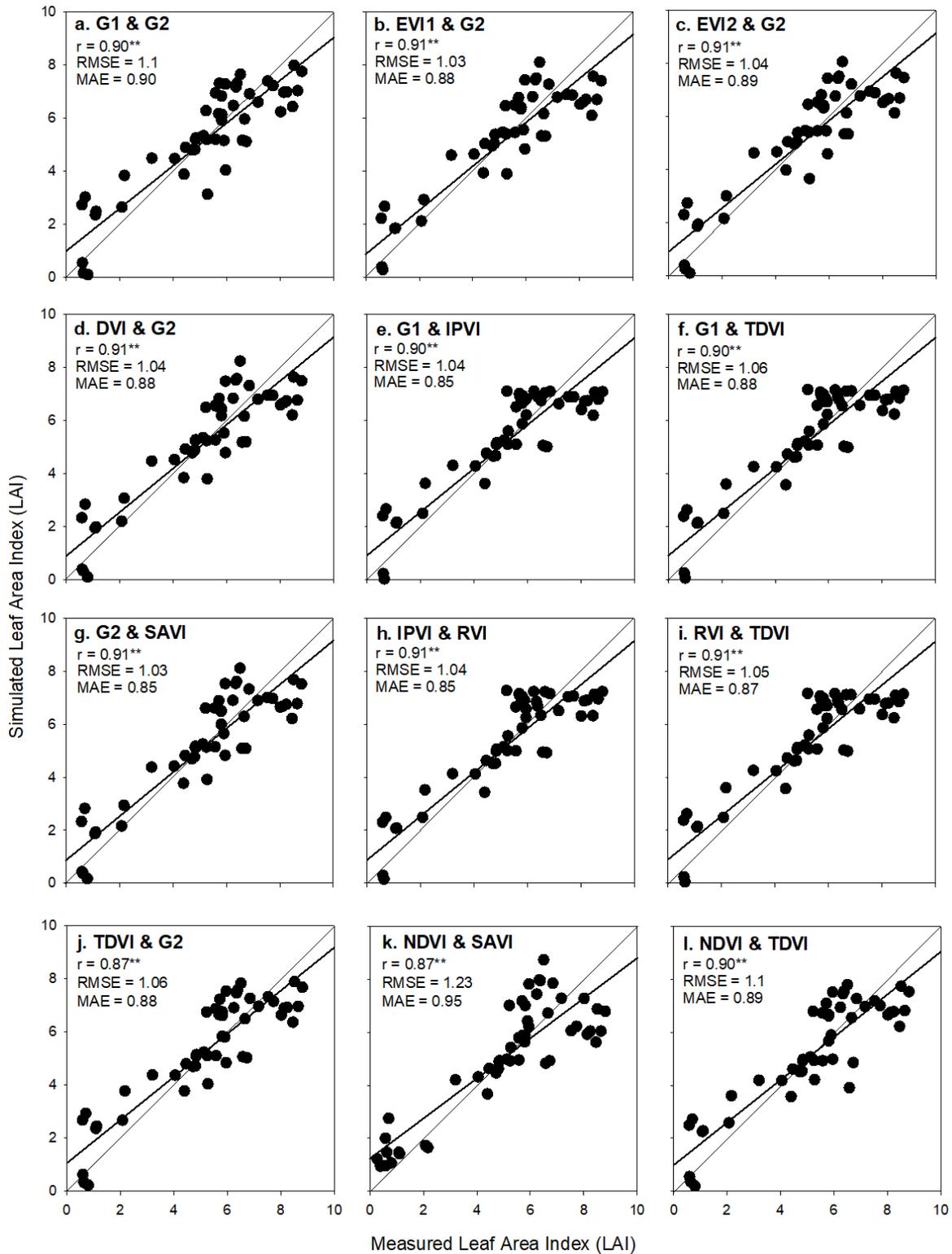
$$LAI = 9.0476 + 35.5529EVI1 - 25.4178EVI2 - 29.4766DVI + 15.1266G1 - 16.7631G2 + 44.8729IPVI - 2.1947RVI + 20.9606SAVI - 6.6246TDVI$$

با توجه به شکل ۶ همبستگی شاخص سطح برگ مشاهده شده با شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده بر اساس تمامی ۱۲ ترکیب پیشنهادی شاخص‌های پوشش گیاهی در سطح یک درصد معنی‌دار بود. دامنه آماره RMSE برای شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده بر اساس مدل‌ها رگرسیون خطی چند متغیره خطی از ۱/۱ تا ۱/۲۳ بود. که دامنه این آماره مانند آماره MAE نسبت به مدل رگرسیون خطی تک متغیره کاهش یافته است (شکل‌های ۶ و ۴). اگرچه همبستگی دقت شاخص G2 از شاخص EVI1 و EVI2، علی‌رغم همبستگی بالاتر ($r = 0.88^{**}$) در برآورد شاخص سطح برگ کمتر است (شکل‌های ۴b، ۴c، ۴h). اما در ترکیب G1 با EVI1 و EVI2 هم میزان همبستگی (به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۹۱) و هم دقت مدل (به ترتیب ۱/۰۴، ۱/۰۳) در برآورد شاخص سطح برگ افزایش یافته است. که این افزایش دقت را می‌توان به حساسیت بیشتر G2 به شاخص سطح برگ بالاتر از ۸ و EVI1 و EVI2 به شاخص سطح برگ کمتر از ۶ نسبت داد (شکل‌های ۴c و ۴e). میزان دقت برآورد شاخص سطح برگ با استفاده از ترکیب دو شاخص NDVI و SAVI نسبت به مدل خطی NDVI بیشتر از SAVI افزایش یافته است، که به طور کلی بیانگر کارایی بهتر مدل رگرسیون چند متغیره NDVI و SAVI و تک متغیره SAVI نسبت به NDVI در برآورد شاخص سطح برگ است (شکل‌های ۴a، ۴b، ۴f). از آنجایی که دو شاخص NDVI و SAVI از لحاظ حساسیت مکمل هم هستند و شاخص G2 جذر NDVI حساسیت بیشتری به شاخص سطح برگ نسبت به NDVI دارد، ترکیب این شاخص از دقت و همبستگی نسبتاً بالاتری در برآورد شاخص سطح برگ نسبت به سایر شاخص‌ها به جز شاخص EVI1 و G2 (کاملاً مشابه) دارد (شکل ۴g). به طور کلی می‌توان اظهار داشت که ترکیب اکثر شاخص‌های پوشش گیاهی با شاخص G2 دقت برآورد شاخص سطح برگ را در محدوده‌های بالاتر از ۶ افزایش می‌دهد (شکل‌های ۴ و ۶). علاوه بر این، شاخص‌های TDVI، SAVI و IPVI نیز به علت حساسیت بیشتر به شاخص سطح برگ ۴ تا ۶، دقت برآورد را با سایر شاخص‌ها در این بازه افزایش می‌دهد (شکل‌های ۴ و ۶).

در ادامه برای افزایش دقت برآورد شاخص سطح برگ به دلیل اهمیت بالای شاخص سطح برگ در اکوسیستم‌های زراعی، به جز رگرسیون خطی دو گانه، رگرسیون خطی چندگانه نیز مورد بررسی



شکل ۵- بررسی توابع رگرسیون خطی چندگانه شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شده با شاخص‌های گیاهی در مزارع گندم (استان قدس رضوی)
 Fig. 5- Multiple linear regression analysis for measured Leaf area index (LAI) relationships with Vegetation Indices at wheat fields (Astan Quds Razavi)

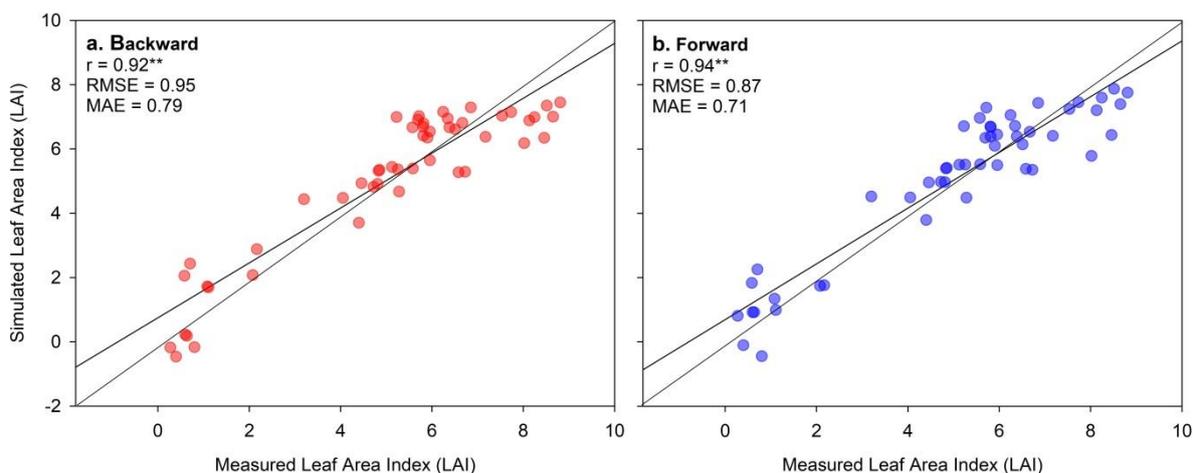


شکل ۶- پراکندگی بین شاخص سطح برگ اندازه‌گیری و شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده بر اساس معادلات شکل ۵

Fig. 6- Scatter plots between measured leaf area index (LAI) and simulated leaf area index based on equation in Figure 5

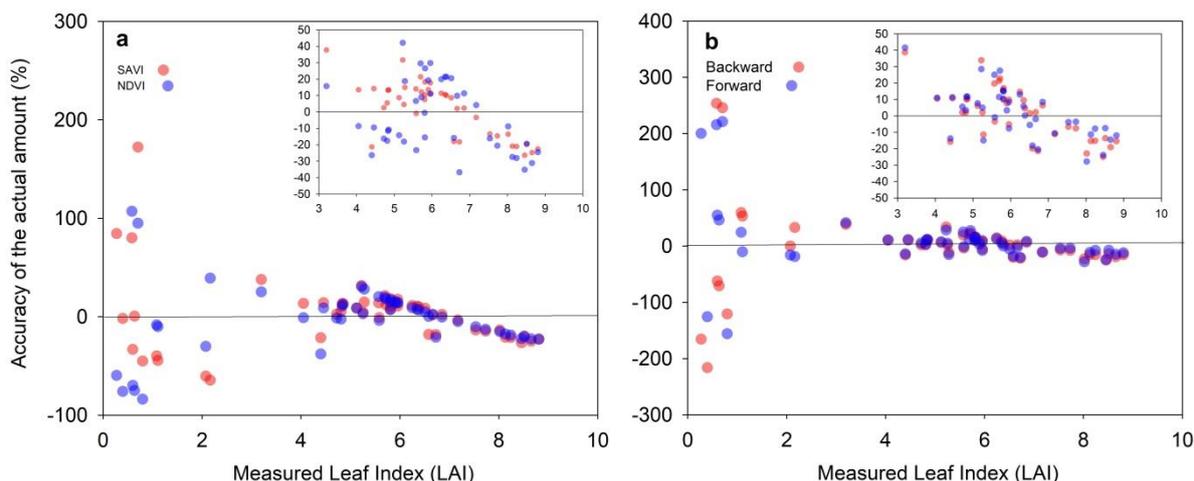
استفاده از پارامترهای زیادی دارد (شکل ۷b). لازم به ذکر است این افزایش دقت در برآورد با توجه به میزان دقت نقطه‌ای (معادله ۸، سنجه E) از مقدار واقعی شاخص سطح برگ به دلیل افزایش حساسیت مدل به مقدار شاخص سطح برگ متوسط تا بالا (بالا تر از ۳) است (شکل ۸b).

دقت مدل گزینش پیش‌رونده و پس‌رونده نسبت به سایر مدل‌ها در برآورد شاخص سطح برگ بهبود یافته است (به ترتیب ۰/۸۷ و ۰/۹۵) (شکل‌های ۷a، ۷b، شکل‌های ۸c و ۸d). اگرچه دقت برآورد شاخص سطح برگ گندم در روش گزینش پیش‌رونده نسبت به تمامی مدل‌های ذکر شده در این مقاله بیشتر است، اما محاسبه آن نیاز به



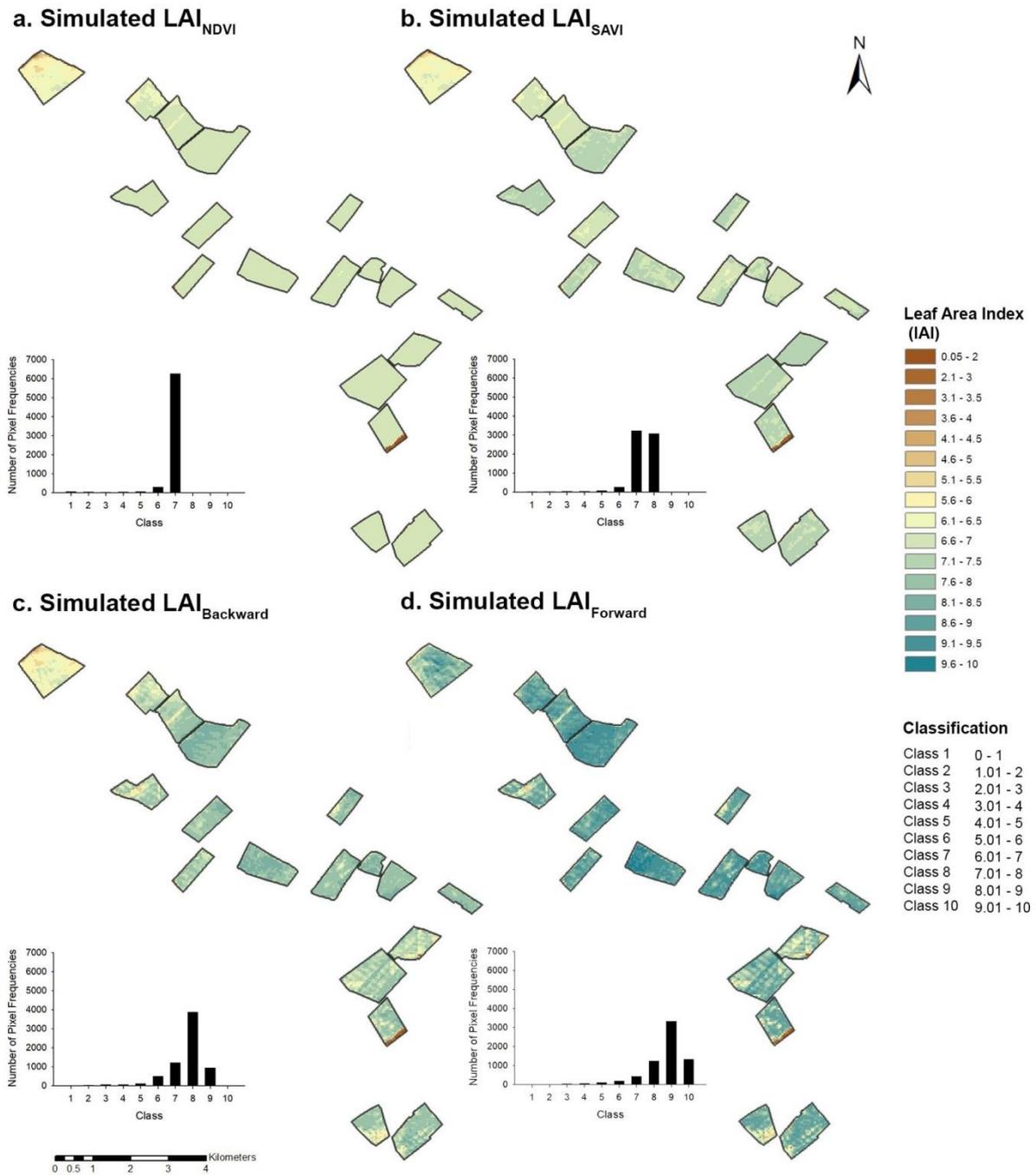
شکل ۷- پراکندگی بین شاخص سطح برگ اندازه‌گیری و شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده بر اساس معادلات رگرسیون چندگانه گام به گام حذف پس‌رونده (a) و گزینش پیش‌رونده (b)

Fig. 7- Scatter plots between measured leaf area index and simulated leaf area index based on the multiple regression equations of step-by-step backward (a) and forward (b)



شکل ۸- درصد دقت نقطه‌ای (E) شاخص سطح برگ اندازه‌گیری و شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده بر اساس NDVI، SAVI (a) و معادلات رگرسیون چندگانه گام به گام حذف پس‌رونده و گزینش پیش‌رونده (b)

Fig. 8- Point accuracy percentage (E) between measured leaf area index and simulated leaf area index based on NDVI, SAVI (a) and the multiple regression equations of stepwise backward and forward (b)



شکل ۹- نقشه حداکثر شاخص سطح برگ مزارع گندم آستان قدس رضوی مشهد با استفاده از رگرسیون خطی (a و b) و رگرسیون چندگانه گام به گام حذف پیش‌رونده (c) و گزینش پس‌رونده (d)

Fig. 9- Maximum leaf area index difference maps in wheat fields of Astan Quds Razavi Mashhad using linear regression (a. b.) and multiple regression of step-by-step backward (c) and forward (d)

NDVI (شکل ۸a) برای شاخص سطح برگ کمتر از ۱، کمتر است. افزایش در دقت برآورد حداکثر شاخص سطح برگ گندم، با استفاده از رگرسیون چندگانه نسبت به رگرسیون خطی ساده در شکل ۹ به

در حالی که میزان دقت مدل‌های برآوردکننده شاخص سطح برگ بر اساس روش گزینش پیش‌رونده و پس‌رونده (شکل ۸b) نسبت به مدل‌های غیرخطی برآورد شاخص سطح برگ بر اساس SAVI و

چندگانه برای برآورد شاخص سطح برگ دانستند (Miri et al., 2017). این اظهار نظر بیانگر قابلیت مدل یاد شده و اهمیت شاخص‌های NDVI، RVI و SAVI در زمینه مدل‌سازی شاخص سطح برگ است. کوواس و همکاران (۷) نیز در مطالعه‌ای در جنگل‌های تخریب شده مانگرو مکزیک اظهار داشتند که مدل‌های رگرسیونی به‌دست آمده از شاخص پوشش گیاهی NDVI و SR برآورد دقیق‌تری از شاخص سطح برگ نسبت به مدل‌های رگرسیون تک متغیره داشتند. این نتایج با مطالعات سایر محققین هم‌خوانی دارد (Zhang et al., 2011; Persson, 2014 Soudani et al., 2006).

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعات در این تحقیق نشان داد که شبیه‌سازی شاخص سطح برگ بر اساس معادلات موجود در مراجع با استفاده از شاخص NDVI، EVI2 و EVI1 استخراج شده از تصاویر ماهواره لندست ۸ برای منطقه مورد مطالعه با توجه به مقدار خطا (RMSE, MAE) دارای دقت پایینی است. این مطلب تأییدی بر ضرورت بررسی و واسنجی معادلات برای منطقه مورد مطالعه است. نتایج تحلیل رگرسیون ساده با مدل‌های خطی، درجه دوم و تابع نمایی بین شاخص سطح برگ گندم و شاخص‌های پوشش گیاهی نشان‌دهنده قدرت بالاتر توابع نمایی در برآورد شاخص سطح برگ با استفاده از شاخص‌های NDVI، SAVI بود. لازم به ذکر است، علی‌رغم دقت پایین تمامی شاخص‌ها به جز G2 در برآورد شاخص سطح برگ، دقت برآورد شاخص سطح برگ با استفاده از ترکیب دو شاخص G2 با EVI1 و G2 با SAVI بهبود یافت. در انتها، بهترین معادله برآورد کننده شاخص سطح برگ با استفاده از رگرسیون چندگانه گام به گام پیش‌رونده با خطا ۰/۸۷ و همبستگی ۰/۹۴ به دست آمد.

وضوح به تصویر کشیده شده است. همچنین، قدرت تفکیک حداکثر شاخص سطح برگ، در روش برآورد شاخص سطح برگ با استفاده از شاخص SAVI نسبت به NDVI به دلیل حساسیت بیشتر این شاخص به شاخص سطح برگ متوسط به بالا افزایش یافته است (شکل‌های ۸a و ۸b).

نقشه شکل ۹، نشان‌دهنده حداکثر شاخص سطح برگ برآورد شده بر اساس شاخص پوشش گیاهی NDVI و SAVI و معادلات ۹ و ۱۰ و همچنین فراوانی شاخص سطح برگ در دسته‌های متفاوت می‌باشد. حداکثر شاخص سطح برگ برآورد شده با استفاده از دو مدل رگرسیون ساده NDVI و SAVI به ترتیب تنها قادر به تشخیص شاخص سطح برگ ۶ تا ۷ (۹۱/۶ درصد پیکسل‌ها) و ۶ تا ۸ (۹۲/۴ درصد پیکسل‌ها) بوده است. این در حالی است که دقت برآورد شاخص سطح برگ با استفاده از روش گزینش پیش‌رونده و حذف پس‌رونده نسبت به دو مدل رگرسیون ساده NDVI و SAVI افزایش یافته است به گونه‌ای که این دو مدل حساسیت بیشتری به مقدار شاخص سطح برگ بالاتر را نشان دادند. در مدل رگرسیون پیش‌رونده، ۸۸ درصد پیکسل‌ها به شاخص سطح برگ ۷، ۸ و ۹ و در روش گزینش پیش‌رونده به ترتیب ۷، ۱۸، ۴۹ و ۲۰ درصد از پیکسل‌های به دسته ۷ تا ۱۰ اختصاص یافت. به عبارتی این دو مدل بر خلاف دو مدل رگرسیون ساده NDVI که حداکثر شاخص سطح برگ را برای ۹۱/۶ درصد مزرعه حدود ۷ برآورد کرده است، قدرت تفکیک بهتری در برآورد حداکثر شاخص سطح برگ دارد (شکل ۹). در ضمن کمترین میزان شاخص سطح برگ به حاشیه برخی مناطق مربوط بود که احتمالاً دخالت عوامل طبیعی منجر به از بین رفتن بخشی از پوشش گیاهی مزرعه شده است.

سایر محققین نیز از مدل رگرسیون خطی چندگانه برای برآورد دقیق‌تر شاخص سطح برگ استفاده کردند. از جمله، میری و همکاران در مطالعه بر شاخص سطح برگ جنگل‌های زاگرس، مجموع سه متغیر NDVI، RVI و SAVI با ضریب تبیین ۰/۷۵ را بهترین مدل

منابع

- Asrar, G., Fuchs, M., Kanemas, E.T., and Hatfield, J.L. 1984. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agronomy Journal* 76: 300-306.
- Band, L.E., Peterson, D.L., Running, S.W., Dungan, J., Lathrop, R., Coughlan, J., Lammers, L., and Pierce, L.L. 1991. Forest ecosystem processes at the watershed scale: Basis for Distributed Simulation. *Ecological Modeling* 56: 171-196.
- Bannari, A., Asalhi, H., and Teillet, P. 2002. Transformed Difference Vegetation Index (TDVI) for Vegetation Cover

- Mapping. In Proceedings of the Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 02, IEEE International 5: 3053-3055.
- Birth, G.S., and McVey, G.R. 1968. Measuring the Color of Growing Turf with a Reflectance Spectrophotometer. *Agronomy Journal* 60(6): 640-643.
- Boegh, E., Soegaard, H., Broge, N., Hasager, C., Jensen, N., Schelde, K., and Thomsen, A. 2002. Airborne Multi-Spectral Data for Quantifying Leaf Area Index, Nitrogen Concentration and Photosynthetic Efficiency in Agriculture. *Remote Sensing of Environment* 81(2-3): 179-193.
- Bondeau, A., Kicklighter, D., and Kaduk, J. 1999. Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): Importance of vegetation structure on seasonal NPP estimates. *Global Change Biology* 5: 35-45.
- Bradley, B.A., and Mustard, J.F. 2008. Comparison of phenology trends by land cover class: A case study in the Great Basin, USA. *Global Change Biology* 14: 334-346.
- Broge, N.H., and Leblanc, E. 2001. Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote Sensing of Environment* 76: 156-172.
- Cao, X., Zhou, Z., Chen, X., Shao, W., and Wang, Z. 2015. Improving leaf area index simulation of IBIS model and its effect on water carbon and energy-A case study in Changbai Mountain broadleaved forest of China. *Ecological Modelling* 303: 97-104.
- Chen, J.M., and Cihlar, J. 1996. Retrieving leaf area index of boreal conifer forests using Landsat TM images. *Remote Sensing of Environment* 55: 153-162.
- Chen, S., Billings, S.A., and Luo, W. 1989. Orthogonal least squares methods and their application to nonlinear system identification. *International Journal of Control* 50: 1873-1896.
- Cleland, E.E., Chuine, I., Menzel, A., Mooney, H.A., and Schwartz, M.D. 2007. Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology and Evolution* 22: 357-365.
- Crippen, R.E. 1990. Calculating the vegetation index faster. *Remote Sensing of Environment* 34: 71-73.
- Darvishzadeh, R., Skidmore, A., Schlerf, M., and Atzberger, C. 2008. Inversion of a Radiative Transfer Model for Estimating Vegetation LAI and Chlorophyll in a Heterogeneous Grassland. *Remote Sensing of Environment* 112 (5): 2592-2604.
- Daughtry, C.S.T., Gallo, K.P., Goward, S.N., Prince, S.D., and Kustas, W.P. 1992. Spectral estimates of absorbed radiation and phytomass production in corn and soybean canopies. *Remote Sens. Environ* 39: 141-152.
- Dijk, V.A., and Bruijnzeel, L.A. 2000. Modeling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model: Part 1: Model Description. *Journal of Hydrology* 247: 230-238.
- Fan, L., Gao, Y., Brocks, H., and Bernhofer, C. 2009. Investigating the relationship between NDVI and LAI in semiarid grassland in Inner Mongolia using in-situ measurements. *Theoretical Applied Climatology* 95: 151-156.
- Fang, H.L., Liang, S.L., and Kuusk, A. 2003. Retrieving leaf area index using a genetic algorithm with a canopy radiative transfer model. *Remote Sensing of Environment* 85: 257-270.
- Faridhosseini, A., Astaraei, A.R., Sanaeinejad, S.H., and Mirhoseini Moosavi, P. 2012. Estimation of leaf area index using IRS satellite images. *Iranian Journal of Field Crops Research* 10 (3): 577-582. (In Persian with English abstract)
- Fassnacht, K.S., Gower, S.T., Norman, J.M., and McMurtric, E.R. 1994. A comparison of optical and direct methods for estimating foliage surface area index in forests. *Agricultural and Forest Meteorology* 71: 183-207.
- Gao, F., Anderson, M.C., Kustas, W.P., and Houborg, R. 2014. Retrieving Leaf Area Index from Landsat Using MODIS LAI Products and Field Measurements. *IEEE Geosci. Remote Sensing Letters* 11: 773-777.
- Gitelson, A.A., Peng, Y., Arkebauer, T.J., and Schepers, J. 2014. Relationships between gross primary production, green LAI, and canopy chlorophyll content in maize: Implications for remote sensing of primary production. *Remote Sensing of Environmen*, 144: 65-72.
- Gitelson, A.A., Vina, A., Arkebauer, T.J., Rundquist, D.C., Keydan, G.P., and Leavitt, B. 2003b. Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize canopies. *Geophysical Research Letters* 30(5): 1248.
- Gitelson, A.A., Wardlow, B.D., Keydan, G.P., and Leavitt, B. 2007. An evaluation of MODIS 250-m data for green LAI estimation in crops. *Geophysical Research Letters* 34(20): L20403.
- Gong, P., Ruiliang, P.U., Biging, S.G., and Larrieu, M.R. 2003. Estimation of forest leaf area index using vegetation indices derived from hyper ion hyper spectral data. *I.E.E.E. Transactions on Geosciences and Remote Sensing*

- 41(6): 360-367.
- Gray, J., and Song, C. 2012. Mapping leaf area index using spatial, spectral, and temporal information from multiple sensors. *Remote Sensing of Environment* 119: 173-183.
- Guindin-Garcia, N., Gitelson, A.A., Arkebauer, T.J., Shanahan, J., and Weiss, A. 2012. An evaluation of MODIS 8- and 16-day composite products for monitoring maize green leaf area index. *Agricultural and Forest Meteorology* 161: 15-25.
- Hatfield, J.L., Gitelson, A.A., Schepers, J.S., and Walthall, C.L. 2008. Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. *Agronomy Journal* 100: S-117-S-131.
- Huete, A. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment* 25(3): 295-309.
- Huete, A.R., Liu, H.Q., Batchily, K., and VanLeeuwen, W. 1997. A comparison of vegetation indices global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment* 59: 440-451.
- Jiang, Z., Huete, A.R., Didan, K., and Miura, T. 2008. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment* 112: 3833-3845.
- Karlsen, S.R., Høgda, K.A., Wielgolaski, F.E., Tolvanen, A., Tømmervik, H., Poikolainen, J., and Kubin, E. 2009. Growing-season trends in fennoscandia 1982-2006, determined from satellite and phenology data. *Climate Research* 39: 275-286.
- Khan, J.A., Aelst, S.V., and Zamar, R.H. 2007. Building a robust linear model with forward selection and stepwise procedures. *Computational Statistics and Data Analysis* 52: 239-248.
- Koetz, B., Baret, F., Poilvé, H., and Hill, J. 2005. Use of coupled canopy structure dynamic and radiative transfer models to estimate biophysical canopy characteristics. *Remote Sensing of Environment* 95: 115-124.
- Kovacs, J.M., Flores-Verdugo, F., Wang, J., and Aspden, L.P. 2004. Estimating leaf area index of a degraded mangrove forest using high spatial resolution satellite data. *Aquatic Botany* 80(1): 13-22.
- Le Maire, G., Marsden, C., Verhoef, W., Ponzoni, F. J., Lo Seen, D., Bégué, A., Stape, Z., and Nouvellon, Y. 2011. Leaf area index estimation with MODIS reflectance time series and model inversion during full rotations of Eucalyptus plantations. *Remote Sensing of Environment* 115(2): 586-599.
- Lu, L., Li, X., Ma, M.G., Che, T., Huang, C.L., Veroustraete, F., Dong, Q.H., Ceulemans, R., and Bogaert, J. 2004. Investigating relationship between Landsat ETM₊ data and LAI in a semiarid grassland of Northwest China. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. IGARSS '04. Proceedings. 2004 IEEE International* 6: 3622-3625.
- Masemola, C., Cho., M.A., and Ramoelo, A. 2016. Comparison of Landsat 8 OLI and Landsat 7 ETM+ for estimating grassland LAI using model inversion and spectral indices: case study of Mpumalanga, South Africa. *International Journal of Remote Sensing* 37(18): 4401-4419.
- Miri, N., Darvishsefat, A.A., Zargham, N., and Shakeri, Z. 2017. Estimation of leaf area index in Zagros forests using Landsat 8 data. *Iranian Journal of Forest* 9(1): 29-42.
- Moulin, S., and Guerif, M. 1999. Impacts of model parameter uncertainties on crop reflectance estimates: A regional case study on wheat. *International Journal of Remote Sensing* 20: 213-218.
- Myneni, R.B., Nemani, R.R., and Running, S.W. 1997. Estimation of global leaf area index and absorbed par using radiative transfer models. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 35: 1380-1393.
- Nguy-Robertson, A.L., Gitelson, A.A., Peng, Y., Vina, A., Arkebauer, T.J., and Rundquist, D.C. 2012. Green leaf area index estimation in maize and soybean: combining vegetation indices to achieve maximal sensitivity. *Agronomy Journal* 104: 1336-1347.
- Noori R., Hoshyaripour G.H., Ashrafi, K.H., and Najdar Araabi, B. 2010. Uncertainty analysis of developed ANN and ANFIS models in prediction of carbon monoxide daily concentration. *Atmospheric Environment* 44: 476-482.
- Persson, S. 2014. Estimating leaf area index from satellite data in deciduous forests of southern Sweden. Student thesis series INES.
- Pettorelli, N., Vik, J.O., Mysterud, A., Gaillard, J.M., Tucker, C.J., and Stenseth, N.C. 2005. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in ecology and evolution* 20(9): 503-510.
- Pinter, P.J., J.L., Hatfield, J.S., Schepers, E.M., Barnes, M.S., Moran, C.S.T., Daughtry, and Upchurch, D.R. 2003. Remote sensing for crop management. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 69(6): 647-664.
- Pinty, B., Lavergne, T., Widlowski, J.L., Gobron, N., and Verstraete, M.M. 2009. On the need to observe vegetation canopies in the near-infrared to estimate visible light absorption. *Remote Sensing of Environment* 113: 10-23.

- Pontailier, J.Y., Hymus, G.J., and Drake, B.G. 2003. Estimation of leaf area index using ground-based remote sensed NDVI measurements: validation and comparison with two indirect techniques. *Canadian Journal of Remote Sensing* 29: 381–387.
- Price, J.C., and Bausch, W.C. 1995. Leaf area index estimation from visible and near-infrared reflectance data. *Remote sensing of environment* 52: 55–65.
- Richardson, A.J., Wiegand, C.L., Wanjura, D.F., Dusek, D., and Steiner, J.L. 1992. Multisite analysis of spectral-biophysical data for sorghum. *Remote Sensing of Environment* 47: 71–82.
- Saito, K., Ogawa, S., Aihara, M., and Otowa, K. 2001. Estimates of LAI for forest management in Okutama. *Proc. ACRS 2001 - 22nd Asian Conference on Remote Sensing 5-9 November 2001, Singapore. Vol. 1*, pp. 600-605.
- Soudani, K., François, C., Le Maire, G., Le Dantec, V., and Dufrêne, E. 2006. Comparative analysis of IKONOS, SPOT, and ETM+ data for leaf area index estimation in temperate coniferous and deciduous forest stands. *Remote sensing of environment* 102(1): 161-175.
- Teillet, P.M., Staenz, K., and Williams, D.J. 1997. Effects of spectral spatial and radiometric characteristics of remote sensing vegetation indices of forested regions. *Remote Sensing of Environment* 61: 139–149.
- Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* 8: 127–150.
- Turner, D.P., Cohen, W.B., Kennedy, R.E., Fassnacht, K.S., and Briggs, J.M. 1999. Relationships between Leaf Area Index and Landsat TM Spectral Vegetation Indices across Three Temperate Zone Sites. *Remote Sensing of Environment* 70 (1): 52–68.
- Van Wijk, M.T., and Williams, M. 2005. Optical instruments for measuring leaf area index in low vegetation: application in arctic ecosystems. *Ecological Applications* 15(4): 1462–1470.
- Vina, A., Gitelson, A.A., Nguy-Robertson, A.L., and Peng, Y. 2011. Comparison of different POvegetation indi +/85200c14es for the remote assessment of green leaf area index of crops. *Remote Sensing of Environment* 115: 3468–3478.
- Wang, X.X., Chen, S., Lowe, D., and Harris, C.J. 2006. Sparse support vector regression based on orthogonal forward selection for the generalised kernel model. *Neurocomputing* 70: 462-474.
- Watson, D.J. 1947. Comparative physiological studies on the growth of field crops: I, Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany* 11: 41–76.
- White, M.A., Thornton, P.E., and Running, S.W. 1997. A continental phenology model for monitoring vegetation responses to interannual climatic variability. *Global Biogeochemical Cycles* 11: 217-234.
- Zhang, Z., He, G., Wang, X., and Jiang, H. 2011. Leaf area index estimation of bamboo forest in Fujian province based on IRS P6 LISS 3 imagery. *International Journal of Remote Sensing* 32(19): 5365-5379.

Comparison of Different Spectral Vegetation Indices for the Remote Assessment of Winter Wheat Leaf Area Index in Mashhad

S. Asadi¹, M. Bannayan^{2*}, M. Jahan³ and A. Faridhosseini⁴

Submitted: 13-11-2017

Accepted: 27-02-2018

Asadi, S., Bannayan, M., Jahan, M., and Faridhosseini, A. 2018. Comparison of different spectral vegetation indices for the remote assessment of winter wheat leaf area index in Mashhad. *Journal of Agroecology*. 10(3): 913-934.

Introduction

The role of leaf area index (LAI) in terrestrial ecosystems is undeniable. LAI affects the amount of carbon, water and energy metabolism. Also, many agronomic, environmental and meteorological applications require information on the status of LAI. The time series of the spectral indices obtained from the remote sensing indicates its usefulness in detecting regional-scale LAI changes. So, the desire for the development of models for estimating LAI was increased with using satellite images. Vegetation Indices (VIs), especially the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Ratio Vegetation Index (RVI), are most widely used. According to the different sensitivity of VIs to the value of LAI and vegetation characteristics, in this study, we tried to determine an algorithm with a higher accuracy to estimate the LAI of wheat using more variables (VIs).

Material and Methods

In this study, regarding the wheat growth period in Astan Quds Razavi (AQR) farms, the Landsat 8 satellite images were used from November 22, 2014 to June 20, 2015. LAI was measured simultaneously with passing of Landsat 8 (16-day intervals) from AQR Fields of Mashhad (in five dates from 17 farms) during wheat growing season in 2014-2015.

After pre-processing of satellite images, VIs including the Difference Vegetation Index (DVI), NDVI, RVI, Transformed Difference Vegetation Index (TDVI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), Infrared Percentage Vegetation Index (IPVI), Greenness Index (G_1 and G_2) and Enhanced Vegetation Index (EVI_1 and EVI_2) were calculated. To select the best variables and the equation for estimating LAI, simple regression (linear, quadratic and exponential) and multiple linear regression (Backward and Forward) methods were used. Finally, to validate and assess the accuracy of the presented models, the mean square error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), Point accuracy based on a percentage of actual value (E%) and correlation coefficient (r) was used.

Results and Discussion

The results of this study showed that simulation of LAI based on the existing equations in the references using the NDVI, EVI_1 and EVI_2 indices extracted from Landsat 8 satellite images has low accuracy (RMSE: 2.71, 3.65 and 3.65). This confirms the necessity of examining and calibrating equations. The results indicate that the accuracy of the wheat LAI estimation by using the NDVI and SAVI index was increased by exponential functions (RMSE: 1.18 and 1, respectively) compared to the linear model (RMSE: 1.46 and 1.26, respectively). This increase was due to a more accurate estimation LAI lower than 4 and the fixed value of LAI simulated in a range of actual LAI higher than 6. The accuracy of LAI estimation was increased with combination of two VIs (NDVI and SAVI) compared to the linear model of each index separately. Also, the highest accuracy of LAI estimation from the combination of G_2 with SAVI and EVI_1 (RMSE: 1.03, 1.03, respectively) was observed due to the higher sensitivity of G_2 to medium and high LAI compared to NDVI. In

1, 2 and 3- PhD. Student of Agroecology, Professor and Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.

4- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

(* - Corresponding Author Email: mobannayan@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.68724

addition, the backward and forward regression model was improved the accuracy of wheat LAI estimation compared to other models, due to the greater sensitivity of this model to LAI higher than 6 (RMSE: 0.87 and 0.95, respectively). Although the accuracy of wheat LAI estimation by the forward regression model was higher than all models, but its calculation requires the use of many parameters.

Conclusion

Since LAI is an important biophysical parameter in ecological modeling. Accurate and fast estimation of this parameter in large scale for ecological models such as yield and evapotranspiration, and carbon exchange is very important. Considering the results of this research and the opinions of other researchers, it can be stated that the accuracy of the exponential functions and multiple linear regression (Forward regression model) for estimating LAI was higher than simple linear regression.

Keywords: Adjustable vegetation indexes, Enhanced vegetation index, Multiple regression, Normalized difference vegetation Index

اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و تاریخ کاشت بر درصد اسانس، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.)

عبداله ملافیلابی^{۱*} و ته‌میننه اسفندیاری^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۲۷

ملافیلابی، ع.، و اسفندیاری، ت. ۱۳۹۷. اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و تاریخ کاشت بر درصد اسانس، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۳): ۹۳۵-۹۴۸.

چکیده

زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) گیاهی علفی از خانواده چتریان است که سابقه طولانی به عنوان طعم دهنده‌های غذایی و در درمان بیماری‌ها دارد. این آزمایش با هدف بررسی رژیم‌های مختلف آبیاری و تاریخ کاشت بر درصد اسانس، عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. چهار تاریخ کاشت به عنوان عامل اصلی (۵ آذر، ۷ دی، ۱ اسفند و ۲۹ اسفند) و چهار رژیم آبیاری به عنوان عامل فرعی (آبیاری کامل، دو نوبت آبیاری در زمان رشد رویشی (ساقه رفتن)، دو نوبت آبیاری در زمان گلدهی و دو نوبت آبیاری در زمان دانه‌بندی) به عنوان تیمار در نظر گرفته شد. صفات مورد مطالعه شامل وزن بوته، وزن دانه، تعداد چتر در گیاه، تعداد دانه در چتر، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه و درصد اسانس تعیین بود. نتایج نشان داد که اثر متقابل تاریخ‌های مختلف کاشت و رژیم‌های آبیاری بر تعداد شاخه جانبی و عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود. اثر ساده تاریخ کاشت بر تعداد دانه در چتر، ارتفاع بوته، درصد اسانس، وزن هزار دانه و شاخص برداشت معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در تاریخ کاشت ۷ دی ماه همراه با آبیاری کامل به دست آمد. نتایج همبستگی بین صفات نشان داد که بین عملکرد و اجزای عملکرد همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. همچنین عملکرد دانه بیشترین همبستگی ($r=0.95$) را با عملکرد بیولوژیک داشت.

واژه‌های کلیدی: آبیاری کامل، خشکی، کمبود آب، وزن هزار دانه

مقدمه

می‌گردد (Cattivelli et al., 2008; Darvishzadeh et al., 2011). خشکی یکی از مهمترین تنش‌های غیرزیستی است که کشاورزی را در اکثر مناطق ایران محدود نموده است. قسمت عمده کشور ایران، دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است که خشکی‌های دوره‌ای در آن اتفاق می‌افتد. به غیر از منطقه مرطوب شمال کشور که یک درصد

کشور ایران با متوسط بارندگی ۲۲۰ میلی‌متر در سال جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود که در این مناطق کمبود آب به علت بارش کم و نامنظم و یا کمبود ذخیره آبی خاک، ناشی

* نویسنده مسئول: (Email: a.filabi@rifst.ac.ir)

۱- استادیار گروه زیست فناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی،

ایران

۲- دانشجوی دکترای رشته علوم باغبانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیروان

محسوب می‌شود. آب مهمترین عامل برای تولید پایدار محسوب می‌شود. در طی تکامل گیاهان، قبل و هنگام با اهلی شدن، محدوده‌ای از راهکارهای سازگاری برای مقابله با محدودیت‌های موقت یا دائمی آب برای حفظ زنده‌مانی و توان تولیدمثلی آن‌ها توسعه یافته است که این راهکارها منجر به تغییرات مولکولی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در سطح مولکولی و کل گیاه شده است (Turner et al., 2014). به طور واضح بسته شدن روزنه‌ها یکی از پاسخ‌های اولیه به خشکی خاک است و کاهش موازی در فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای تحت تنش خشکی به دفعات توسط محققان تأکید و گزارش شده است (Chaves, 2002). کمبود فعالیت در سیستم فتوسنتزی سبب کاهش سطوح کلروفیل می‌گردد. لذا تنش خشکی سبب می‌شود که سطح کلروفیل کاسته شده و غشای کلروپلاست تخریب شده و در نهایت، سبب کاهش غلظت‌های رنگدانه‌های فتوسنتزی گردد (Haug, 2001). یکی دیگر از دلایل کاهش میزان کلروفیل این است که تنش خشکی تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) از قبیل O_2^- و H_2O_2 را افزایش داده که این امر منجر به پراکسیداسیون لیپیدها و در نهایت تخریب کلروفیل می‌شود (Tátrai et al., 2016). خشکی سبب کاهش در اندازه برگ‌ها، وزن خشک اندام‌های هوایی، شاخص سطح برگ، تعداد برگ‌چه، متوسط سطح برگ و فشار تورژسانس در بافت‌های گیاهی می‌شود (Hu et al., 2013). سودایی‌زاده و همکاران (Sodaie Zadeh et al., 2016) گزارش نمودند که تنش خشکی سبب کاهش ارتفاع، سطح و حجم تاج پوشش، سطح برگ، وزن خشک اندام‌های هوایی و قندهای محلول و افزایش میزان پرولین، محتوی کلروفیل در گیاه مرزه (*Satureja hortensis* L.) می‌گردد. توسعه کشت گیاهان مقاوم به خشکی مستلزم شناخت کافی از مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و کنترل ژنتیکی صفات مرتبط در مراحل مختلف رشدی و نمودی گیاهان است (Farooq et al., 2009). پژوهش‌های چندانی در باره جنبه‌های مختلف به زراعی گیاه دارویی زیره سبز بخصوص تاریخ کاشت مناسب هر منطقه و زمان آبیاری (رژیم آبیاری) به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون خراسان جنوبی صورت نگرفته است. لذا این تحقیق در راستای دستیابی به تاریخ کاشت و نحوه مدیریت آبیاری از نظر زمان آبیاری در جهت افزایش عملکرد دانه و توسعه و ترویج کشت گیاه دارویی زیره سبز در شرایط آب و هوایی

کل اراضی کشور را در بر می‌گیرد، بقیه جزو مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شوند (Kazemi Arbat, 1999). بخاطر پیچیدگی خشکی، پاسخ‌های گیاهی به کمبود آب نیز بخاطر فاکتورهای غیرقابل پیش‌بینی محیطی و اثرات متقابل با سایر فاکتورهای زیستی و غیرزیستی پیچیده است (Nevo & Chen, 2010). لذا با توجه به شرایط اقلیمی حاکم بر مناطق خشک و نیمه‌خشک، محصولات زراعی که با شرایط این مناطق سازگاری دارند، کشت می‌شوند. کاشت زیره سبز با دارا بودن فصل رشد کوتاه ۱۲۰-۱۰۰ روز، نیاز آبی پایین و ارزش اقتصادی بالا از اهمیت خاصی در این مناطق برخوردار است (Kafi, 2002).

زیره سبز با نام علمی (*Cuminum cyminum* L.) گیاهی یک‌ساله از خانواده چتریان^۱ به ندرت علفی و بوته‌ای بوده که دارای اندام‌های مختلف معطر می‌باشد (Jahani et al., 2008). این گیاه به عنوان یکی از مهمترین گیاهان دارویی اهلی در عربستان، هند، چین و کشورهای هم‌مرز با خاورمیانه محسوب می‌شود که به دلیل داشتن ویژگی‌هایی از قبیل فصل رشد کوتاه، نیاز آبی کم، عدم تداخل فصل رشد با سایر محصولات کشاورزی، توجیه اقتصادی بالا نسبت به محصولات زراعی دیگر و صادراتی بودن، جایگاه ویژه‌ای در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله در استان خراسان پیدا کرده است (Rahimian et al., 1991). در مناطق کشت زیره، انواع تنش‌ها از جمله تنش خشکی و گرما در طول دوره رشد گیاه وجود داشته و زیره سبز از طریق تنظیم فصل رشد خود (بسته به شرایط آب و هوایی منطقه متفاوت است) از گرما و خشکی انتهایی فصل بهار و اوایل تابستان اجتناب می‌نماید (Kafi et al., 2006). کاشت گیاه در زمان مناسب سبب می‌شود که مجموعه عوامل محیطی برای سبز شدن، استقرار و بقای گیاه مناسب باشد و گیاه حتی‌الامکان در هر مرحله از رشد با شرایط مطلوب رشد خود روبه‌رو گردد (Khosh-Khuy & Bonyanpour, 2006) تاریخ کاشت یکی از مهمترین فاکتورهای زراعی در بهبود عملکرد و کیفیت گیاهان تیره چتریان محسوب می‌شود، به طوری که در کاشت زودهنگام، تعداد شاخه‌های جانبی کم می‌شود و در کاشت دیرهنگام علاوه بر تعداد شاخه‌های جانبی، حجم ریشه‌ها نیز کاهش می‌یابد (Aslam, 2006; Ayub et al., 2008). علاوه بر تاریخ کاشت، آبیاری نیز از دیگر عوامل بسیار مهم و تأثیرگذار در کشت گیاهان مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک

بذرهای مورد استفاده برای کاشت از توده بومی شهر ستان سبزوار انتخاب گردید. این توده به رغم پایین بودن درصد جوانه‌زنی نسبت به شرایط نامساعد محیطی (از قبیل: سرما، تنش آبی، علف‌های هرز و آفات و بیماری‌ها) از مقاومت خوبی برخوردار است. میزان بذر مصرفی ۲۰ کیلوگرم در هکتار بود که دو طرف پشته به عمق ۱/۵-۱ سانتی‌متر به صورت دستی کاشته شد.

قبل از کشت بذرهای زیره سبز در مزرعه، درصد جوانه‌زنی یا قوه نامیه تعیین شد. برای این منظور، ۲۰۰ عدد بذر زیره سبز به صورت تصادفی انتخاب گردیده و در دو پتری‌دیش با کاغذ صافی مرطوب، به صورت مساوی و با توزیع یکنواخت (۱۰۰ تایی) قرار گرفت که در دستگاه ژرمیناتور قرار داده شد. اولین شمارش بذرهای جوانه زده ۷ روز بعد از شروع آزمایش بوده و آخرین شمارش ۱۷ روز پس از شروع این محاسبه انجام شد. روش شکستن خواب بذر هم با نور، شستشو و آب بود (ISTA, 2010). طی این آزمایش درصد جوانه‌زنی بذرهای این توده ۷۵٪ تعیین گردید.

به منظور بررسی عملکرد و اجزای عملکرد نمونه‌برداری تخریبی با در نظر گرفتن اثر حاشیه از سطحی معادل یک متر مربع از مرکز هر کرت انجام شد برای این کار در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گیاه (از اواخر اردیبهشت ماه تا اوایل خرداد ماه) برداشت بوته کامل گیاه به همراه ریشه انجام گرفت. سپس پارامترهایی از قبیل وزن بوته، وزن دانه، تعداد چتر در گیاه، تعداد دانه در چتر، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه و درصد اسانس تعیین شد. 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.

استان خراسان جنوبی به عنوان یکی از گیاهان دارویی مقاوم به کم‌آبی و خشکی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند واقع در منطقه حاجی آباد بیرجند با طول جغرافیایی ۱۳ و ۵۹ درجه، عرض جغرافیایی ۳۲/۵۳ درجه، ارتفاع ۱۴۹۱ متر از سطح دریا به صورت اسپلیت پلات (کرت‌های خرد شده) بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طراحی و اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل چهار تاریخ کاشت به‌عنوان فاکتور اصلی (۵ آذر، ۷ دی، ۱ اسفند و ۲۹ اسفند) و چهار رژیم آبیاری به‌عنوان فاکتور فرعی (آبیاری کامل، دو نوبت آبیاری در زمان رشد رویشی (ساقه رفتن)، دو نوبت آبیاری در زمان گلدهی، دو نوبت آبیاری در زمان دانه‌بندی) بود.

عملیات تهیه بستر کاشت، شامل دیسک و لولر در پاییز ۱۳۹۵ انجام شد. در هر کرت چهار پشته در نظر گرفته شد و فاصله دو کرت متوالی بدلیل اعمال تیمار آبیاری یک متر فاصله در نظر گرفته شد تا از نشت آب به کرت مجاور جلوگیری شود. فاصله بین بلوک‌ها نیز سه متر در نظر گرفته شد که توسط نهرکن جهت آبیاری جداگانه هر کرت بین هر بلوک یک جوی آب، ایجاد شد. فاکتور تاریخ کاشت به‌عنوان عامل اصلی با چهار سطح (۵ آذر، ۷ دی، ۱ اسفند و ۲۹ اسفند) و فاکتور رژیم آبیاری به‌عنوان عامل فرعی در چهار سطح (آبیاری کامل، دوبار آبیاری در زمان رشد رویشی (ساقه رفتن)، دوبار آبیاری در زمان گلدهی و دوبار آبیاری در زمان دانه‌بندی) در نظر گرفته شد.

جدول ۱- مقایسه میانگین اجزای عملکرد زیره سبز تحت تأثیر تاریخ‌های کاشت

Table 1- Mean comparisons for yield components of cumin affected as planting dates

تاریخ‌های کشت Sowing dates	تعداد دانه در چتر Number of seeds per plant	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) Plant height (cm)	درصد اسانس (درصد) Essential oil content (%)	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
۵ آذر 25 th November	7.478 b*	14.458 a	1.45 ab	2.958 ab	0.422 a
۷ دی 27 th December	11.533 a	14.668 a	1.646 a	3.25 a	0.428 a
۱ اسفند 19 th February	5.892 bc	12.635 a	1.189 b	2.562 b	0.388 a
۲۹ اسفند 19 th March	4.047 c	9.501 b	0.824 c	1.876 c	0.364 a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس 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.

نتایج و بحث

اثر متقابل تیمارهای زمان آبیاری و تاریخ‌های کاشت تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در چتر زیره‌سبز نداشت و این صفت تنها تحت اثر ساده تاریخ‌های کاشت قرار گرفت.

تاریخ کاشت ۷ دی ماه (۱۱/۵۳ دانه در چتر) دارای بیشترین تعداد دانه در چتر بود و تاریخ کاشت ۲۹ اسفندماه با ۶۴ درصد کاهش (۴/۰۴ دانه در چتر) کمترین مقدار این صفت را به خود اختصاص داد. بدلیل حساسیت بیش از اندازه زیره سبز به طول روز بطور کلی، هر چه تاریخ کاشت زودتر باشد، تعداد چتر بیشتر و متعاقب آن تعداد دانه بیشتری در بوته ایجاد می‌شود و عملکرد افزایش می‌یابد. دلیل این موضوع حساسیت بیشتر گیاه زیره سبز به سرما با افزایش عمر بوته آن و مقاومت بالای آن در مراحل اولیه رشد می‌باشد (Azizi et al., 2015).

ارتفاع بوته زیره سبز صرفاً تحت اثر ساده تاریخ‌های کاشت قرار گرفت. کمترین ارتفاع بوته مربوط به تاریخ کاشت ۲۹ اسفند (۹/۵۱ سانتی‌متر) و با ۵۴ درصد افزایش، بیشترین ارتفاع مربوط به تاریخ کاشت ۷ دی ماه (۱۴/۶۶ سانتی‌متر) بود (جدول ۱). کاهش طول دوره رشد به واسطه تأخیر در تاریخ کاشت منجر به افزایش رقابت بر سر منابع غذایی و عوامل محیطی نظیر رطوبت و مواد غذایی خصوصاً نیتروژن شده که در نهایت، کاهش ارتفاع گیاه را به دنبال دارد (Ghaderi & Moghaddam., 2017). نظامی و همکاران (Nezami et al., 2009) نیز با بررسی واکنش تعدادی از توده‌های بومی زیره سبز به تاریخ کاشت پاییزه در شرایط آب و هوایی مشهد بیان کردند که تأخیر در تاریخ کاشت منجر به کاهش ارتفاع گیاه شد. ایوب و همکاران (Ayub et al., 2008) اظهار داشتند که کاشت زود هنگام از طریق مواجهه طولانی مدت بوته‌ها با سرما و بروز سرمازدگی ریشه موجب خشک شدن گیاهان تیره چتریان گردید. علاوه بر این، تاریخ کاشت با تأثیر بر زمان جوانه‌زنی و سبز شدن و در نتیجه استقرار گیاه اصلی در مقابله با علف‌های هرز، رشد و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به این مفهوم که انتخاب تاریخ کاشت بهینه منجر به افزایش رشد و در نتیجه بهبود عملکرد گیاه می‌شود (Long & Eiszner, 2001; Diepenbrock et al., 2001; Barros et al., 2004; Mazahery-Laghab et al., 2011).

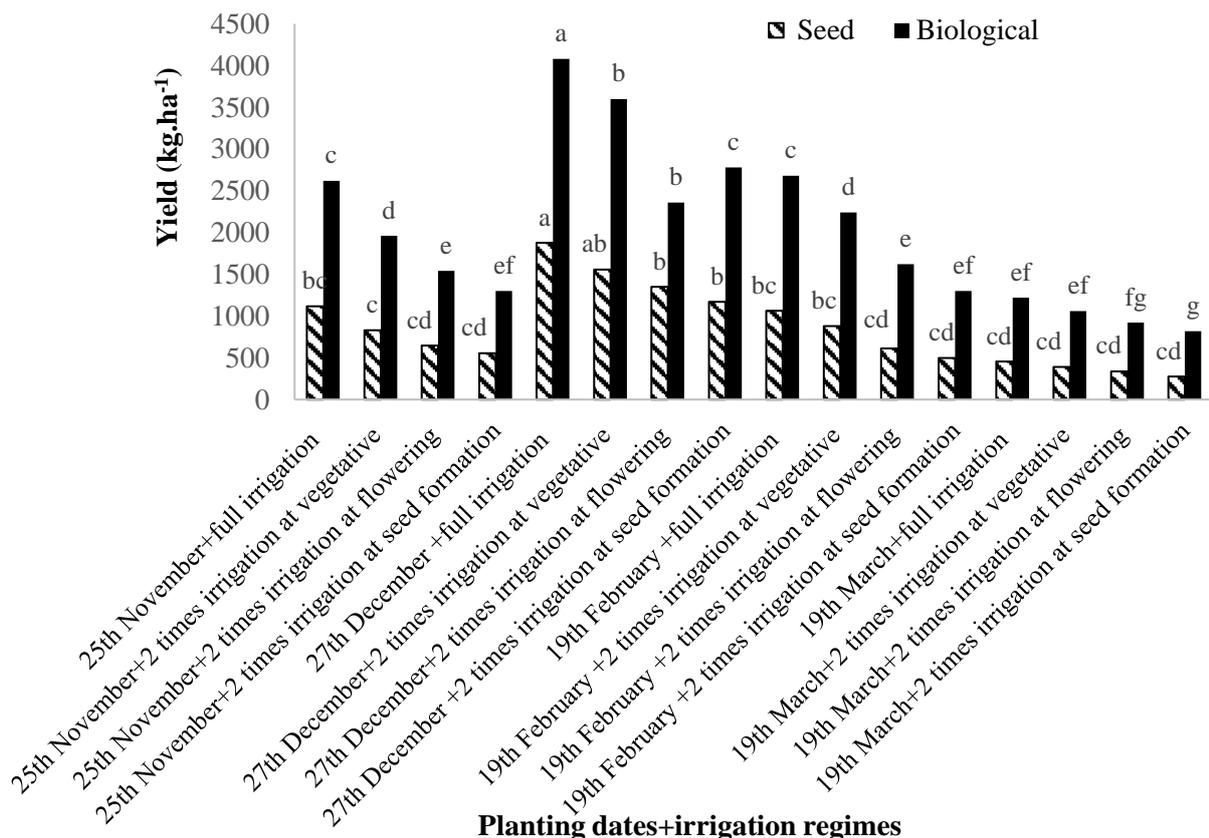
اثر متقابل زمان آبیاری و تاریخ کاشت بر درصد اسانس معنی‌دار نبود. اثر تاریخ کاشت بر درصد اسانس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید و تاریخ کاشت اول و دوم بترتیب با محتوی ۱/۴۵ و ۱/۶۴ درصد دارای بالاترین محتوی اسانس بودند (جدول ۱). نتایج نشان داد که تأخیر در تاریخ کاشت باعث کاهش ۵۰ درصدی در میزان درصد اسانس شد. قانع و همکاران (Ghane et al., 2017) نشان دادند که تأخیر در تاریخ کاشت از ۲۵ بهمن ماه به ۲۵ اسفندماه منجر به کاهش ۲۳/۹ درصدی در درصد اسانس دو توده زیره سبز شد. بررسی واکنش گیاه دارویی بادرشوبیه (*Dracocephalum moldavica* L.) به تغییرات تاریخ کاشت نشان داد که تاریخ کاشت با تأثیر بر طول روز، رطوبت نسبی هوا و مقدار نور دریافتی بر عملکرد ماده خشک و اسانس گیاه بادرشوبیه تأثیر معنی‌داری داشت (Davazdahemami et al., 2008). در شرایط آب و هوایی مشهد تغییر تاریخ کاشت بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) از پاییز به ابتدای بهار سبب افزایش درصد اسانس بابونه شد، اما وزن خشک اندام‌های هوایی در مقایسه با کاشت پاییزه کاهش یافت (Ebadi et al., 2009). تاریخ کاشت گیاه دارویی بابونه بر رشد و عملکرد اسانس این گیاه تأثیر معنی‌داری داشت (Letchamo & Marquard, 1993). اثر تاریخ کاشت بر وزن هزار دانه زیره سبز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین وزن هزاردانه مربوط به تاریخ کاشت ۷ دی‌ماه با ۳/۲۵ گرم و کمترین آن مربوط به تاریخ کاشت ۲۹ اسفند با ۱/۸۷ گرم بود. وزن هزار دانه در گیاهان زراعی مختلف یکی از عوامل مهم نشان‌دهنده وضعیت و طول دوره زایشی گیاه است. با آغاز گلدهی و مشخص شدن تعداد دانه در بوته، دانه‌ها به عنوان مخزنی مهم، شروع به دریافت مقادیر زیادی از مواد فتوسنتزی کرده و وزن دانه بستگی به طول مدت پرشدن دانه‌ها و عدم بروز تنش‌های محیطی مختلف (نظیر تنش رطوبتی و تنش دمایی) دارد. به گزارش میرزایی و همکاران (Mirzaei et al., 2010) با تأخیر در تاریخ کاشت وزن هزار دانه افت می‌نماید. ژو (Zhu, 2002) اظهار داشتند که کمبود مواد قابل انتقال در تیمار تنش خشکی در مرحله زایشی باعث سقط جنین شده که در نهایت باعث کاهش تعداد و وزن دانه و عملکرد خواهد شد. افتخاری نسب و همکاران (Eftekharinasab et al., 2011) دلیل کاهش وزن دانه در اثر تنش خشکی را به افزایش در

۲۵ آذرماه باعث افزایش ۱۵ تا ۲۱ درصدی در میزان شاخص برداشت شد. اثر زمان آبیاری بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار گردید و میزان آبیاری کامل با عملکرد ۱۱۲۸/۴۳ کیلوگرم در هکتار دارای بالاترین عملکرد دانه بود (شکل ۱). این تیمار به دلیل داشتن بیشترین تعداد دانه در چتر، تعداد چتر در گیاه، تعداد شاخه جانبی و عملکرد بیولوژیک، بالاترین عملکرد دانه را تولید کرد (جدول ۱).

اکثر پژوهش‌های انجام شده در مورد زیره سبز نشان می‌دهد که در سال‌های نرمال از نظر بارندگی نیازی به آبیاری نبوده و آبیاری زیاد باعث کاهش عملکرد دانه می‌گردد. بر این اساس، از آنجا که این گیاه مقاومت نسبتاً بالایی به خشکی و کم‌آبی دارد به نظر می‌رسد توسعه کشت و کار آن و وارد کردن این گیاه دارویی در الگوی کاشت منطقه می‌تواند نقش بسزایی در بهبود بهره‌وری همگام با کاهش مصرف آب و از طرفی درآمدزایی برای کشاورزان ایفاء نماید.

فرآیند فتوسنتز نسبت دادند و اظهار داشتند که کربوهیدرات‌ها و نیتروژن ذخیره شده در طول دوره گلدهی تعیین کننده میزان دانه‌بندی بوده و کمبود نیتروژن وزن دانه را از طریق کاهش فتوآسیمیلات‌ها کاهش می‌دهد.

اثر متقابل دو فاکتور تاریخ کاشت و زمان آبیاری و اثر ساده زمان آبیاری تأثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت زیره سبز نداشت، ولی این صفت در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار گرفت. بیشترین شاخص برداشت مربوط به ۷ دی ماه (۴۲/۸ درصد) و کمترین آن مربوط به ۲۹ اسفندماه (۳۶/۴ درصد) بود. تأخیر در تاریخ کاشت باعث افزایش ۱۷ درصدی میزان شاخص برداشت شد. نظامی و همکاران (Nezami et al., 2009) با بررسی واکنش تعدادی از توده‌های بومی زیره سبز به تاریخ‌های کاشت پاییزه در شرایط آب و هوایی مشهد بیان داشتند که تأخیر در تاریخ کاشت از ۲۵ مهرماه به



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ‌های کاشت و رژیم‌های آبیاری بر عملکرد دانه و بیولوژیک زیره سبز
 Fig. 1- Mean comparison of interaction effects of Irrigation time and sowing data on seed and biological yield

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.

شاخص برداشت را به ترتیب ۳۵/۲، ۳۹/۸، ۶۰/۲، ۴۹/۳ و ۱۹/۷ درصد کاهش داد. تاریخ کاشت اول از برتری نسبی نسبت به دو تاریخ دیگر برخوردار بود. این نتایج با نتایج نظامی و همکاران (Nezami et al., 2009) مطابقت داشت. در مجموع، تاریخ کاشت ۷ دی ماه همراه با آبیاری کامل بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. تایسی و همکاران (Taysi et al., 2001) گزارش نمودند که عملکرد آنیسون (*Pimpinella anisum L.*) در تاریخ کاشت مناسب به دلیل کاهش رشد علف‌های هرز تحت تأثیر بهبود توان رقابتی گیاه، عملکرد به طور چشمگیری بالاتر از سایر تاریخ‌های کاشت بود. هورنوک (Hornok, 1992) نیز در بررسی روی گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum L.*) به نتایج مشابهی دست یافت. بر این اساس، از آنجا که عملیات مختلف کاشت، داشت (شامل آبیاری، کوددهی و مدیریت علف‌های هرز) و برداشت میزان ترکیبات ثانویه گیاهان دارویی را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ozguven et al., 2008)، به نظر می‌رسد که توجه به راهکارهای مدیریت زراعی همچون تاریخ کاشت (Ghorbani et al., 2010) می‌تواند از طریق بهبود رشد و استقرار گیاه اهمیت بسزایی در راستای افزایش پایدار تولید کمی و کیفی اکولوژیک این گونه ارزشمند به همراه داشته باشد.

در بین رژیم‌های آبیاری، آبیاری کامل با ۲۶۵۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین و آبیاری در زمان دانه‌دهی با ۱۵۵۰ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد بیولوژیک زیره سبز را به خود اختصاص داد. تاریخ کاشت ۷ دی ماه با ۹۷ درصد اختلاف نسبت به ۲۹ دی ماه به ترتیب دارای بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک بودند. در مجموع داده‌ها، تاریخ کاشت ۷ دی ماه با آبیاری کامل دارای بیشترین عملکرد بیولوژیک (۴۰۸۰ گرم در متر مربع) و تاریخ کاشت ۵ آذرماه با آبیاری در زمان دانه‌بندی دارای کمترین میزان (۱۳۰۰ گرم در متر مربع) بودند. کاهش فتوسنتز مهمترین عامل کاهش وزن خشک بخش‌های مختلف گیاه است (Efeoğlu et al., 2009). تحقیقات نشان داده است که بروز کم‌آبی منجر به کاهش سطح برگ و فعالیت فتوسنتزی گیاه می‌شود و در نتیجه میزان تجمع آسیمیلات‌ها افزایش می‌یابد که منجر به تخصیص بیشتر آسیمیلات‌ها برای بخش‌های مختلف گیاه و در نتیجه افزایش رشد گیاهان می‌گردد (Mafakheri et al., 2010). بنابراین، تأمین آب کافی برای رشد گیاه نقش مثبتی را در افزایش رشد گیاه بر عهده خواهد داشت. بومسا و وین (Boomsma & Vyn, 2008) نیز گزارش نمودند که تحت تأثیر خشکی انتقال مواد غذایی به

آبیاری کامل نقش چندانی در افزایش تعداد چتر در بوته ندارد و آزمایشات نشان داده است که در شرایط دیم بوته‌ها دارای تعداد چتر زیاد می‌باشند (در صورت وجود بارندگی به میزان کافی و عدم وجود دوره خشکی طولانی). بررسی‌ها نشان می‌دهد که اعمال آبیاری‌های تکمیلی تا حدی تعداد چتر را افزایش می‌دهد. نتایج این مطالعه نشان داد که به علت وجود دوره‌های خشکی طولانی مدت و عدم بارندگی کافی آبیاری‌های تکمیلی مؤثر واقع شد. به طوری که آبیاری کامل بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد و کمترین میزان برای آبیاری در مرحله دانه‌دهی با کاهش ۴۴ درصدی مشاهده شد. در شرایط نرمال رطوبتی گیاه به دلیل فراهم بودن شرایط مناسب رشد از طریق افزایش تولید شاخه فرعی بارور می‌تواند باعث افزایش تعداد چتر در گیاه و در نهایت، افزایش عملکرد شود (Karimi Afshar et al., 2016). تحقیقات بر روی گیاهان خانواده چتریان نشان می‌دهد که تعدادی از اجزای عملکرد مانند تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و وزن هزار دانه اهمیت بسزایی در تعیین عملکرد دارند (Ehsanipour et al., 2011).

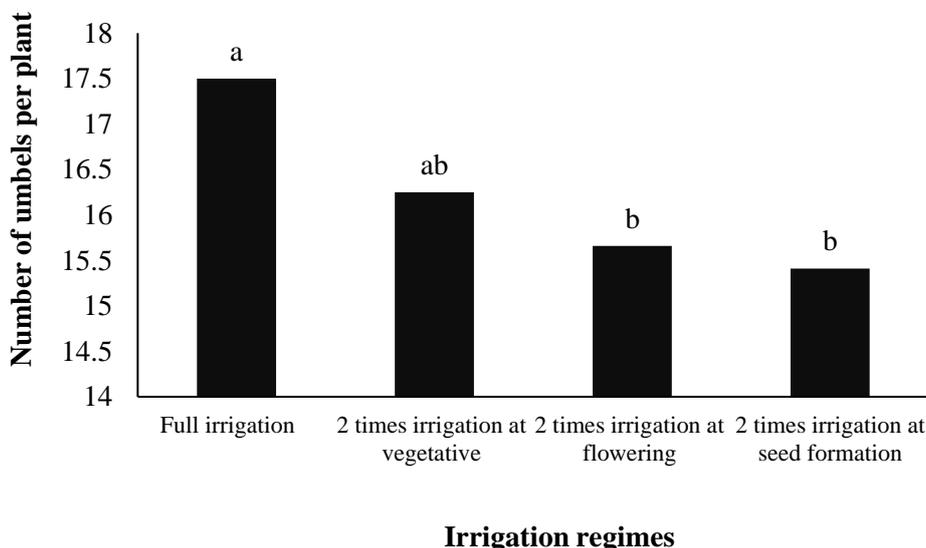
هیو و همکاران (Hu et al., 2007) نیز گزارش نمودند که خشکی جذب املاح و مواد غذایی را کاهش می‌دهد که این امر نیز به نوبه خود می‌تواند باعث کاهش رشد اندام هوایی گیاه شود. از نظر فیزیولوژی گیاهی کمبود آب تقسیم سلولی و طول شدن را در تمامی ابعاد کاهش می‌دهد (Lukovic et al., 2009). رشد سلول از جمله فرآیندهای حساس نسبت به کم‌آبی می‌باشد. رشد نتیجه تولید سلول توسط تقسیم سلول‌های مریستمی و توسعه سلول‌های جوان است. در شرایط کمبود شدید آب، طول شدن سلول‌های گیاهان می‌تواند به دلیل متوقف شدن جریان آب از آوندهای چوبی به سلول‌های در حال توسعه متوقف شود و طول شدن سلول و در نتیجه خصوصیات مربوط به رشد گیاه کاهش یابد (Anjum et al., 2011).

تاریخ کاشت نیز تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه زیره سبز داشت، به طوری که تأخیر در تاریخ کاشت از اوایل دی ماه (۷ دی ماه) تا اوایل فروردین ماه (۲۹ اسفند) منجر به کاهش ۷۵ درصدی در میزان عملکرد دانه شد. موسوی و همکاران (Mosavi et al., 2012) با بررسی تأثیر تاریخ‌های کاشت (۳۰ فروردین، ۲۰ اردیبهشت و ۱۰ خردادماه) بر عملکرد دانه اسفرزه (*Plantago ovata L.*) در بیرجند بیان داشتند که تأخیر در تاریخ کاشت از تاریخ اول به سوم تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و

عملکرد بیولوژیک در توده‌های بومی تربت حیدریه و خواف بیش از ۱۰۰ درصد و در توده‌های بومی قائن و قوچان به ترتیب ۸ و ۹۵ درصد افزایش یافت. آنها بیان داشتند که افزایش عملکرد بیولوژیک در تاریخ‌های کاشت زود هنگام احتمالاً به دلیل مواجه شدن گیاهان با شرایط مساعدتر محیطی و در نتیجه رشد سبزینه‌ای مناسب‌تر در طول دوره رشد بوده است.

اثر زمان آبیاری بر روی تعداد چتر در بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید. به طوری که رژیم آبیاری کامل با تعداد ۱۷/۵ چتر در بوته دارای بیشترین تعداد چتر در بوته بود که با رژیم آبیاری در زمان ساقه‌دهی تفاوتی ندارد.

ساقه کاهش می‌یابد. اعمال کم‌آبیاری در مرحله رشد رویشی و زایشی (تشکیل خوشه و گلدهی) باعث می‌شود بدلیل کمبود رطوبت دانه‌های گرده به تخمدان نفوذ نکرده و عمل تلقیح بخوبی انجام نشده که در نهایت، وزن اندام‌های رویشی و زایشی کاهش یابد. نظامی و همکاران (Nezami et al., 2009) با بررسی واکنش تعدادی از توده‌های بومی زیره سبز به تاریخ‌های کاشت پاییزه در شرایط آب و هوایی مشهد بیان داشتند که بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک به ترتیب در توده قائن در تاریخ کاشت سوم با ۱۳۶/۸ گرم در متر مربع و خواف در کاشت سوم با میانگین ۴۲/۳ گرم در متر مربع حاصل شد، بر اساس نتایج این پژوهشگران تأخیر در تاریخ کاشت از ۲۵ مهر به ۲۵ آذر



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر رژیم‌های آبیاری بر تعداد چتر در بوته زیره سبز
Fig. 2- Mean comparisons for the effect of irrigation regimes on number of umbels per plant of cumin

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.

تاریخ کاشت ۵ آذر ماه با ۱۷/۴ چتر در بوته و تاریخ کاشت ۷ دی‌ماه با تعداد ۱۹/۵ چتر در بوته دارای بالاترین تعداد چتر در بوته بودند (شکل ۲). تعداد چتر در بوته در تاریخ‌های کشت دیرتر بدلیل حساس بودن زیره سبز به فتوپریود کاهش پیدا می‌کند. در این مطالعه به دلیل برخورد تاریخ کاشت اول (۵ آذرماه) به سرمای نابه‌هنگام باعث کاهش تعداد چتر آن نسبت به تاریخ کاشت دوم (۷ دی ماه) شد.

کاهش جذب در گیاه که بیشتر وزن تر گیاه را شامل می‌شود، وابسته به فعالیت ریشه‌ها است، ولی در صورت کم‌آبی، از رشد ریشه‌ها و فعالیت جذبی ریشه‌ها کاسته خواهد شد (Boomsa & Vyn, 2008). از سوی دیگر، کاهش در وزن خشک برگ‌ها در اثر کم‌آبی به دلیل کاهش تجمع آسیمیلات‌ها که ناشی از کاهش تولید و ظرفیت پذیرش مواد فتوسنتزی برای رشد برگ‌ها است، در گیاه اتفاق می‌افتد (Yordanova & Popova, 2007).

اثر ساده تاریخ کاشت نیز بر روی تعداد چتر در بوته زیره سبز در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار گردید. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که

جدول ۲ - ضرایب همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز
Table 2- Correlation coefficients between yield components and yield of cumin

صفت Characteristic	تعداد دانه در گیاه Number of seeds per plant	تعداد چتر در گیاه Umbel per plant	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی در بوته Number of lateral branches per plant	محتوی اسانس Essential oil content	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	عملکرد دانه Seed yield
تعداد دانه در گیاه Number of seeds per plant	1							
تعداد چتر در گیاه Umbels per plant	0.829 **	1						
ارتفاع بوته Plant height	0.784 **	0.923 **	1					
تعداد شاخه جانبی در بوته Number of lateral branches per plant	0.476 **	0.640 **	0.570 **	1				
محتوی اسانس Essential oil content	0.843 **	0.434 **	0.440 **	0.449 **	1			
وزن هزار دانه 1000-seed weight	0.385 **	0.339 *	0.335 *	0.426 *	0.885 **	1		
عملکرد بیولوژیکی Biological yield	0.753 **	0.734 **	0.590 **	0.656 **	0.586 **	0.532 **	1	
عملکرد دانه Seed yield	0.762 **	0.759 **	0.631 **	0.580 **	0.544 **	0.484 **	0.958 **	1
شاخص برداشت Harvest index	0.530 **	0.539 **	0.584 **	0.173 ns	0.353 *	0.264ns	0.404 **	0.619 **

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد
* and **: are significant at 5 and 1 probability levels

در مدیریت اکولوژیک این گیاهان ایفاء می‌نماید، ضروری است کاشت این گیاه در زمانی انجام گیرد که گیاه فرصت کافی برای رشد رویشی و شاخه‌دهی و همچنین زمان کافی برای مقابله با علف‌های هرز قبل از مراحل حساس تشکیل دانه و گلدهی وجود داشته باشد.

نتایج این آزمایش نشان داد که کشت زبیره در منطقه بیرجند در ماه‌های اسفند و اوایل فروردین ماه بدلیل گرمی نسبی هوا و خشک شدن سریع خاک و سله بستن باعث عدم سبز شدن یکنواخت گیاه شده و در نتیجه تراکم مطلوب را میسر نمی‌سازد. از طرفی بدلیل حساسیت بیش از حد زبیره سبز به فتوپریود این گیاه در اثر بلند شدن روزها در اوایل بهار حتی اگر از رشد رویشی مناسبی برخوردار نباشد وارد مرحله زایشی می‌شود. لذا در شرایط آب و هوایی بیرجند، تاریخ کاشت دی و آذرماه با تیمار آبیاری کامل در صورتی که منطقه دارای بارندگی کافی نباشد توصیه می‌شود.

بطور کلی، زبیره سبز گیاهی دارویی و معطر است که مقاومت آن به خشکی نسبتاً زیاد بوده و با توجه به این که دوره رشد آن منطبق با بارندگی‌های زمستانه و بهار می‌باشد نیاز چندانی به آبیاری ندارد، اما در شرایط وجود دوره‌های خشکی طولانی مدت که امکان سبز کردن آن وجود نداشته باشد، انجام آبیاری‌های تکمیلی می‌تواند در توسعه کشت این گیاه در استان خراسان جنوبی به طور ویژه‌ای مؤثر واقع شود.

نتایج همبستگی بین صفات بر اساس ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که عملکرد دانه دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری با همه صفات بود نتایج نشان داد که عملکرد دانه بیشترین همبستگی ($r=0.95$) را با عملکرد بیولوژیک دارد (جدول ۲).

صفات تعداد چتر در گیاه و تعداد دانه در گیاه نیز همبستگی بالایی با عملکرد دانه داشتند. همچنین بین کلیه اجزای عملکرد با عملکرد دانه همبستگی مثبت مشاهده شد (جدول ۲) که بر این اساس، با بهبود این اجزای عملکرد، امکان افزایش عملکرد وجود دارد. با توجه به اینکه دانه حاصل فعالیت فتوسنتزی اندام‌های رویشی همچون شاخه و برگ می‌باشد همبستگی بالا و مثبت بین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک دور از انتظار نمی‌باشد و می‌توان چنین نتیجه گرفت که برای داشتن عملکرد بالا به گیاهی با رشد رویشی خوب نیاز است (Karimi Afshar et al., 2016). در این راستا در پژوهشی قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2014) بیان داشتند که در تاریخ‌های متفاوت کاشت زبیره سبز، تعداد دانه در چتر بیشترین تأثیر مستقیم را بر عملکرد دانه دارد.

نتیجه‌گیری

با توجه به حساسیت گیاه دارویی زبیره سبز نسبت به عوامل مدیریتی و از آنجا که تاریخ کاشت و شرایط محیطی اهمیت بسزایی

منابع

- 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 of Agricultural Research* 6(9): 2026-2032.
- Aslam, M. 2006. Guidelines for Cultivation, Collection, Conservation and Propagation of Medicinal Herbs. Introduction of Medicinal Herbs and Spices, Crop Ministry of Food, Agriculture and Livestock, Islamabad. 129p.
- Ayub, M., Nadeem, M.A., Tanveer, A., Tahir, M., Saqib, M.T.Y., and Nawaz, R. 2008. Effect of different sowing methods and times on the growth and yield of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Pakistan Journal of Botany* 40(1): 259-264.
- Azizi, E., Siahmarguee, A., Nezami, A., Mohamad Abadi, A., and Soheili, R. 2015. Investigation of possibility of fennel (*Foeniculum vulgar* L.) autumnal sowing in Mashhad condition. *Journal of Horticulture Science* 29(1): 1-10. (In Persian with English Summary)
- Barros, J.F.C., Del Carvalho, M., and Basch, G. 2004. Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to sowing date and plant density under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy* 21: 347-356.
- Boomsma, C.R., and Vyn, T.J. 2008. Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis? *Field Crops Research* 108: 14-31.
- Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F.W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A.M., Francia, E., Marè, C., Tondelli, A., and

- Stanca, A.M. 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research* 105: 1-14.
- Chaves, M. 2002. Water stress in the regulation of photosynthesis in the field. *Annals of Botany* 89: 907- 916.
- Chay, P., and Thurling, N. 1989. Variation in pod length in spring rape (*B. napus*) and its effects on seed yield components. *The Journal of Agricultural Science* 113: 139-147.
- Darvishzadeh, R., Hatami-Maleki, H., and Sarrafi, A. 2011. Path analysis of the relationships between yield and some related traits in diallel population of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under well watered and water-stressed conditions. *Australian Journal of Crop Science* 5: 674-680. (In Persian with English Summary)
- Davazdahemami, S., Sefidkon, F., Jahansooz, M.R., and Mazaheri, D. 2008. Comparison of biological yield, essential oil content and composition and phenological stages of moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) in three planting dates. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 24(3): 263-270. (In Persian with English Summary)
- Diepenbrock, W., Long, M., and Feil, B. 2001. Yield and quality of sunflower as affected by row orientation, row spacing and plant density. *Die Bodenkultur* 52(1): 29-36.
- Ebadi, M., Azizi, M., Omidbaigi, R., and Hassanzadeh Khayyat, M. 2009. The effect of sowing date and seeding levels on quantitative and qualitative yield of chamomile (*Matricaria recutita* L.) CV. Presov. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 25(3): 296-308. (In Persian with English Summary)
- 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.
- Eftekharinasab, N., Khoramivafa, M., Sayyadian, K., and Najaphy, A. 2011. Nitrogen fertilizer effect on grain yield, oil and protein content of pumpkin seed (*Cucurbita pepo* L. var. styriaca) intercropped with lentil and chickpea. *International Journal of Agricultural Science* 1: 283-289.
- Ehsanipour, A., Razmjoo, K., and Zeinali, H. 2011. Effect of nitrogen rates on yield, yield components and essential oil content of several fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) populations. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 28: 579-593. (In Persian with English Summary)
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., and Basra, S.M.A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 185-212.
- Ghaderi, Y., and Moghaddam, M. 2017. Effect of different levels of plant density and N fertilizer on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Journal of Plant Ecophysiology* 7(23): 104-112. (In Persian with English Summary)
- Ghanbari, J., Khajoeinejad, G., and Mohamadinejad, G. 2014. Casual explanation of the relationships between seed yield and some yield components in cumin (*Cuminum cyminum* L.) by different multivariate statistical analysis at different sowing dates. *Ethno-pharmacuticale Products* 1: 15-22. (In Persian with English Summary)
- Ghane, H., Amirshakar, H., and Naji, A.M. 2017. The effects of planting date and seed priming on yield and physiological traits of two cumin ecotypes. *Journal of Agricultural Crops Production* 3(9): 561-575. (In Persian with English Summary)
- Ghorbani, R., Koocheki, A., Hosseini, A., Jahani, M., Asadi, G.A., Aghel, H., and Mohammad Abadi, A.S. 2010. Effects of planting date, time and methods of weed control on weed density and biomass in cumin fields. *Iranian Journal of Field Crops Research* 8(1): 120-127. (In Persian with English Summary)
- Haug, B. 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation two-season grasses to localized drought stress. *Environmental and Experimental Botany* 45:105-114.
- Hornok, L. 1992. *Cultivation and Processing of Medicinal Plants*. Academic Publication, Budapest. Pp. 338-345.
- Hu, Y., Burucs, Z., Tucher, von S., and Schmidhalter, U. 2007. Short-term effects of drought and salinity on mineral nutrient distribution along growing leaves of maize seedlings. *Environmental and Experimental Botany* 60: 268-275.

- Hu, Y.Y., Zhang, Y.L., Yi, X.P., Zhan, D.X., Luo, H.H., Chow, W.S., and Zhang, W.F. 2013. The relative contribution of non-foliar organs of cotton to yield and related physiological characteristics under water deficit. *Journal of Integrative Agriculture* 3119(13): 60568-60567.
- ISTA. 2010. International rules for seed testing. Glattbrugg, Switzerland. 290 p.
- Jahani, M., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2008. Comparison of different intercropping arrangements of cumin (*Cuminum cyminum*) and lentil (*Lens culinaris*). *Iranian Journal of Field Crops Research* 6(1): 67-78. (In Persian with English Summary)
- Kafi, M. 2002. Cumin (*Cuminum cyminum*) Production and Processing. Mashhad University Publication, Mashhad, Iran, 195 pp. (In Persian)
- 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)
- Kazemi Arbat, H. 1999. Special Agronomy. First issue: Cereal. Universities Extension Center, Tehran. Iran. (In Persian)
- Khosh-Khui, M., and Bonyanpour, A.R., 2006. Effects of some variables on seed germination and seedling growth of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *International Journal of Agricultural Research* 1: 20-24. (In Persian with English Summary)
- Letchamo, W., and Marquard, R. 1993. The pattern of active substances accumulation in chamomile genotypes under different growing condition and harvesting frequencies. *Acta Horticulture* 331: 357-361.
- Long, M., and Eiszner, H. 2001. Variation of sunflower growth, soil moisture and soil temperature in relation to planting patterns at a high latitude site. *Acta Agronomica Hungarica* 49(3): 273-282.
- Lukovic, J., Maksimovi, I., Zoric, L., Nagl, N., Percic, M., Polic, D., and Putnik-Delic, M. 2009. Histological characteristics of sugar beet leaves potentially linked to drought tolerance. *Industrial Crops and Products* 30: 281-286.
- Mafakheri, A., Siosemardeh, B., Bahramnejad, P.C., Struik, E., and Sohrabi, A. 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science* 4(8): 580-585.
- Mazahery-Laghab, H., Salvati, S., and Mahmoudi, R. 2011. Response of the yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivar armavirski to sowing time and plant density in rain fed conditions in Ghorveh Kordestan. *Plant Production Technology* 11(2): 63-74. (In Persian with English Summary)
- Mirzaei, M.R., Dashti, S., Absalan, M., Siadat, A., and Fathi, G. 2010. Study the effect of planting dates on the yield, yield components and oil content of canola cultivars (*Brassica napus* L.) in Dehloran rejoin. *Electronic Journal of Crop Production* 3(2): 159-176. (In Persian with English Summary)
- Mosavi, S.G.R., Segatoleslami, M.J., and Pooyan, M. 2012. Effect of planting date and plant density on yield and seed yield components of *Plantago ovata* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 27(4): 681-699.
- Nevo, E., and Chen, G.X. 2010. Drought and salt tolerances in wild relatives for wheat and barley improvement. *Plant, Cell and Environment* 33: 670-685.
- Nezami, A., Korramdel, S., Nassiri-Mahallati, M., and Mohammad-Abadi, A.A. 2009. Effect of planting dates on cumin (*Cuminum cyminum* L.) landraces in Mashhad conditions. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences* 2(1):1-13. (In Persian with English Summary)
- Ozgülven, 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.
- Rahimian, H., Salahi Moghaddam, M., and Galavi, M. 1991. Potato intercropping with maize and sunflower. *Journal of Agricultural Science and Technology* 6(1): 45-48. (In Persian with English Summary)
- Sodaie Zadeh, H., Shamsayi, M., Tajamolian, M., Meyboodi, A.M., and Hakim Zadeh, M.A. 2016. Investigation of

- drought stress effects on some morphological and physiological traits in *Satureja hortensis*. Journal of Plant Process and Function 5(15): 1-12. (In Persian with English Summary)
- Tátrai, Z.A, Sanoubar, S., Pluhár, Z., Mancarella, S., Orsini, F., and Gianquinto, G. 2016. Morphological and physiological plant responses to drought stress in *Thymus citriodorus*. International Journal of Agronomy 1-9.
- Taysi, V., Vomel, A., and Ceylan, A. 1977. New cultivation experiment with anise in the region Turkey. Zeitchrift- Fur-Acker and Pflanzenbau 145: 8-21.
- Turner, N.C., Blum, A., Cakir, M., Steduto, P., Tuberosa, R. and Young, N. 2014. Strategies to increase the yield and yield stability of crops under drought – are we making progress? Functional Plant Biology 41: 1199–1206.
- Yordanova, R., and Popova, L. 2007. Effect of exogenous treatment with salicylic acid on photosynthetic activity and antioxidant capacity of chilled wheat plants. General and Applied Plant Physiology 33 (3-4): 155-170.
- Yoshida, S. 1981. Fundamentals of rice crop science. Los Banos, Philippine International Rice Research Institute Press.
- Zhu, J.K. 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. Annual Reviews Plant Biology 53: 247-316.



Effects of Irrigation Regimes and Planting Times on Essential Oil Percentage, Yield and Yield Components of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) as a Medicinal Plant

A. Mollafilabi^{1*} and T. Esfandiari²

Submitted: 05-07-2018

Accepted: 18-09-2018

Mollafilabi, A., and Esfandiari, T. 2018. Effects of irrigation regimes and planting times on essential oil percentage, yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.) as a medicinal plant. Journal of Agroecology. 10(3): 935-948.

Introduction

Since ancient times, medicinal plants and aromatic herbs have been used by humans to treat diseases and as spices. Cumin (*Cuminum cyminum* L.) is the dried seed of the herb, a member of the Asteraceae family. Cumin has a long history of use as food flavors, perfumes and medicine. It is an annual herbaceous plant, with a slender, glabrous, branched stem. The cumin plant grows to 30–50 cm tall and is harvested by hand. Its essential oil is used for bactericidal applications, giving smell to some medicines, sterilizing of surgical operation fiber and producing some veterinary and agricultural medicines. In semi-arid area such as Iran, water is the most limiting factor for agriculture. Cumin has a potential to be as a rainfed plant, but supplemental irrigation is needed to produce more productivity. Little information is available about its consumptive use of water. Also, selecting an optimum plant density is necessary for maximum utility of existing environmental parameters (including water, air, light and soil). As a result, inter specific or intra specific competition is minimum. Thus, many researches has been done to determine the best level of irrigation and plant density and their effects on vegetative and generative parameters of agricultural and medicinal plants. In this paper we aimed to study the effects of different planting dates and irrigation regimes on seed yield and essential oil yield of cumin as an important medicinal plant under the climatic conditions of Torbat-e Jam climatic conditions, Iran.

Materials and Methods

In order to study irrigation regimes and planting dates, an experiment was conducted as split plot based on a randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Station, Azad University of Birjand during growing season 2016-2017. Treatments included four planting dates as main plot (25th November, 27th December, 19th February and 19th March) and four irrigation regimes as sub plot (full irrigation, two times irrigation at vegetative stage (stem elongation), two times irrigation at flowering stage and two times irrigation at seed formation). Plant weight, seed weight, number of branches per plant, number of umbels per plant, number of seeds per plant, 1000- seed weight, seed yield, biological yield, essential oil content 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 interaction effect of planting dates and irrigation regimes were significant on number of branches per plant, seed yield and biological yield. The simple effect of planting date was significant on number of seeds per umbel, plant height, essential oil percentage, 1000-seed weight and harvest index. The highest seed yield and biological yield were observed in planting at 27th December + full irrigation. The results for correlation coefficients between yield and yield components revealed that there was a positive and significant correlation between these criteria. The highest coefficient was calculated for seed yield and biological yield ($r=0.95$).

Conclusion

Agronomic management strategies had significantly effect on growth, yield, and yield components of cumin.

1- Assistant Professor, Department of Food Biotechnology, Research Institute of Food Science and Technology (RIFST), Mashhad, Iran

2- Ph.D. Student, Department of Horticulture, Islamic Azad University, Shirvan Branch, Shirvan, Iran

(*- Corresponding Author Email: a.filabi@rifst.ac.ir)

DOI: 10.22067/jag.v10i3.75201

In conclusion, according to the results, full irrigation combined with planting at 27th December could produce optimum seed yield and biological yield in cumin under semi arid climatic conditions. Generally, irrigation regimes and planting date are two safe and effective technique for agronomic management that may decrease the necessity for chemical approaches to crop. On the whole, results of this study revealed that early sowing was more successful, evident from relatively high yields. Considering water shortages that the world will face in the future, winter planting in those environments susceptible to water stress conditions will have higher water use efficiency compared to late sowing time.

Keywords: 1000-seed weight, Drought, Full irrigation, Water shortages

Contents

Evaluation of the Integrated Effect of Organic, Chemical and Biological Fertilizers on Yield of Marshmallow (<i>Althea officinalis</i> L.) as a Medicinal Plant	618
S. Khorramdel, P. Rezvani Moghaddam, H. Azizi, J. Shabahang and M. Seyedi	
Effects of Organic, Chemical Fertilizers and Mycorrhizae Inoculation on Yield and Yield Components of Dill (<i>Anethum graveolens</i> L.) in Different Cuttings	633
S.S. Zendeabad, P. Rezvani Moghaddam, R. Ghorbani and R. Khorasani	
Effects of Extensive Range of Corm Weights on Saffron (<i>Crocus sativus</i> L.) Growth and Flowering	646
A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati, A. Mollafilabi and A. Noroozian	
Optimizing Fertiliser Application Rates in Wheat using Nitrogen Nutrition Index	663
M. Nassiri Mahallati and A. Koocheki	
Evaluation of the Integrated Effect of Organic, Chemical and Biological Fertilizers on Yield of Marshmallow (<i>Althea officinalis</i> L.) as a Medicinal Plant	677
S. Bahrami and W. Weisany	
Application of Eco-Friendly Inputs on Cultivation of Iranian Ox-Tongue (<i>Echium amoenum</i> Fisch. & Mey.) in Conditions of Mashhad	697
M.B. Amiri, P. Rezvani Moghaddam and M. Jahan	
Evaluation of Nitrogen Use Efficiency in Wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) eat Cropping Systems of Iran	717
H.R. Tavakkoli Kakhki, M. Nassiri Mahallati, A. Koocheki, M. Jahan and A. Beheshti	
Effects of Size and Placement Depth of Plant Residues on Organic Carbon and Nitrogen Dynamics	731
V. Safi, A. Golchin and S. Shafiei	
Zoning Agroclimatic Chickpea in the GIS Environment Case Study: Ardebil Province	745
B. Sobhani and Y. Hasanzadeh	
Studying of Seed Priming and Water Stress Effects on Growth and Yield of Sunflower Nuts (<i>Helianthus annuus</i> L)	762
A.R. Sadeghi Bakhtevvari, B. Paseban Eslam and N. Hajizadeh Asl	
The Impact of Pigweed (<i>Amaranthus retroflexus</i> L.) Population on Oil Yield and Fatty Acid Composition of Castor Bean (<i>Ricinus communis</i> L.)	773
A. Pirzad, N. Jafarzadeh, H. Hadi, and R. Maleki	
Evaluating Possibility of Sunflower (<i>Helianthus annuus</i> L.) Transplanting in Kermanshah Climate	786
Z. Zarei, H. Heidari, I. Nosratti and M. Khoramivafa	
Evaluation the Effects of Wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) Cultivars Intercropping Systems on Population, Biomass, Micronutrients Content of Weeds and Crop Yield	802
S. Afzaliharsini, S. Taghizadeh, A. Behpoori and F. Faramarzi	
Effect of Fertilizer Type and Intercropping of Trigonella (<i>Trigonella foenum-graecum</i>) and Psyllium (<i>Plantago psyllium</i>) on Growth Index of Psyllium using Factor Analysis	821
S. Ghasemi Maham, S. Fallah and A. Dadrasi	
Effect of Foliar Spray of Boron and Zinc on the Yield and Yield Components of Spring Safflower (<i>Carthamus tinctorius</i> L.) under Late-Season Water Limitation	839
S. Soheili-Movahhed, S. Khomari, P. Sheikhzadeh and B. Alizadeh	
Effects of Drought Stress and Micronutrients (Zinc and Manganese) on Morphological Traits and Yield of Millet (<i>Panicum miliaceum</i>)	850
A. Gideski and R. Baradaran	
Estimation of Fuel and Energy Consumption and Indicators of Cotton Production in Golestan Province (Iran)	872
R. Arefi, A. Soltani and H. Ajam Norozei	
Ecological- Economic Efficiency for Alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) and Corn Silage (<i>Zea mays</i> L.) Production Systems: Maragheh- Bonab Plain, East Azerbaijan Province	894
A. Mohammadzadeh, A. Mahdavi Damghani, J. Vafabakhsh and R. Deihimfard	
Quality of Flax Seeds Harvested from Plants Inoculated with Soil Microorganisms Underwater Deficit Conditions	910
S. Rahimzadeh and A. Pirzad	

Comparison of Different Spectral Vegetation Indices for the Remote Assessment of Winter Wheat Leaf Area Index in Mashhad 933

S. Asadi, M. Bannayan, M. Jahan and A. Faridhosseini

Effects of Irrigation Regimes and Planting Times on Essential Oil Percentage, Yield and Yield Components of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) as a Medicinal Plant 947

A. Mollafilabi and T. Esfandiari

Journal of Agroecology (Quarterly)

Ferdowsi University of Mashhad

Vol. 10 No. 3 Fall 2018

Published by: Ferdowsi University of Mashhad

Editor in charge: Prof. Alireza Koocheki

Editor in chief: Prof. Parviz Rezvani Moghaddam

Editorial Board:

Dr. Goodarz Ahmadvand, Faculty of Agriculture, BU-Ali Sina University, Hamadan

Prof. Mohammad Reza Chaichi, Faculty of Agriculture, University of Tehran

Prof. Adel Dabagh Mohammadi Nasab, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

Prof. Mohammad Galavi, Faculty of Agriculture, Zabol University

Prof. Reza Ghorbani, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Dr. Surur Khorramdel, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Alireza Koocheki, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Mehdi Nassiri Mahallati, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Dr. Mohammad Pessaraki, Research Professor, School of Plant Sciences, the University of Arizona

Prof. Parviz Rezvani Moghaddam, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Dr. Hamid Shahandeh, Research Soil Scientist, Soil and Crop Sciences Department, Texas A & M University

Prof. Ahmad Zare Fazabadi, Agricultural Research Institute of Khorasan Razavi

Prof. Saeed Zehtab Salmasi, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

Internal manager: Dr. Surur Khorramdel, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Publisher: Ferdowsi University of Mashhad Press

Address: Journal of Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad,

P.O. Box: 91775-1163, Mashhad, Iran

Tel: +98-51- 38804654

Fax: +98-51-38787430

Email: agroecology@um.ac.ir

Web site: <http://agry.um.ac.ir/index.php/agroecology>