

نشریه علمی بوم شناسی کشاورزی (فصلنامه)



شماره ۲
جلد ۱۲
تابستان ۱۳۹۹



Vol. 12 No. 2
Summer 2020

Journal of Agroecology (Quarterly)

ISSN: 2008-7713

۲۰۰۸-۷۷۱۳:شاپا

(شماره پیاپی ۴۴)

عنوان مقالات

- ۱۷۹..... بررسی تنوع محصولات زراعی و باغی در استان زنجان
حسین کاظمی، سمانه بخشنده لاریمی، سهیلا قلی خانی و قربانعلی رستم
- اثر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر صفات کتبی و کیفی علوفه ارزن دم‌روپاهی (*Setaria italica* L.) رقم باستان در شرایط آب و هوایی سیستان ۱۹۵
محمدعلی کریمیان و محمد فروزنده
- ارزیابی اثر کودهای آلی بر ویژگی‌های کتبی و کیفی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) در کشت مخلوط با لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) ۲۱۱
سمین دخت ریگی، مهدی دهمرده، عیسی خوری و سید محسن موسوی نیک
- ارزیابی عملکرد کتبی و کیفی اکوتیپ‌های زیزه سبز (*Cuminum cyminum* L.) در واکنش به تاریخ‌های کاشت در شرایط آب‌وهوایی سبزوار ۲۲۷
حسن ریوندی، شهرام رضوان، متین جامی معینی، جعفر مسعود سینیکی، علی دماوندی و سارا سنجایی
- ارزیابی خصوصیات اکوفیزیولوژیکی در کشت مخلوط ردیفی بزرگ (*Linum usitatissimum* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تأثیر منابع کودی در شرایط دیم ۲۴۱
سهیلا اسدی، اسماعیل رضایی چپانه و رضا امیرنیا
- ارزیابی توانایی بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی و پتانسیل گومایش جهانی گندم (*Triticum aestivum* L.) در استان خراسان رضوی ۲۶۵
عبدالله ملافیلاهی و جواد شهابنگ
- بررسی اثر آبیاری تناوبی و مقادیر مختلف کود نیتروژن بر حجم آب و رشد و شاخص‌های رشدی گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) (رقم هاشمی) در شرایط آب‌وهوایی گیلان ۲۸۱
کاوه سبک‌درو فومنی، سیدعلیرضا ولدآبادی، مسعود کاووسی، حمیدرضا ذاکری و محمدرضا یزدانی
- تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و بقایای گیاهی بر عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) و خصوصیات فیزیکی خاک در تناوب آیش-گندم در شرایط دیم ۲۹۹
علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی و سید جواد عظیم‌زاده
- بررسی روند تغییرات دمایی و اثرات آن بر طول دوره پر شدن دانه و پتانسیل عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) در مناطق مختلف ایران در طی یک دوره ۲۰ ساله (۱۳۷۱-۹۱) ۳۱۹
رضا عباسی علی کمر، مهدی نصیری محلاتی و علیرضا کوچکی
- ارزیابی پایداری عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) در مناطق معتدل ایران ۳۴۵
علی اکبر موبدی، توحید نجفی میرک، مجید طاهریان، شهریار ساسانی و داوود امین آرم

نشریه علمی - پژوهشی بوم شناسی کشاورزی (فصلنامه)

جلد ۱۲

شماره ۲

تابستان ۱۳۹۹

Summer 2020

No. 2

Vol. 12

Journal of Agroecology (Quarterly)

Contents

- Diversity Assessment of Crop and Horticultural Products in Zanjan Province..... 192
H. Kazemi, S. Bakhshande Larimi, S. Gholikhani and G.A. Rassam
- Effects of Drought Stress Levels and Salicylic Acid Concentrations on Quantity and Quality Forage Traits of Foxtail Millet (*Setaria italica* L.) Bastan Cultivar in Sistan Climatic Conditions 208
M.A. Karimian and M. Forozandeh
- Evaluation of Organic Fertilizers on Yield and Yield Components in Intercropping of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) and Cow Pea (*Vigna unguiculata* L.) 225
S.D. Rigi, M. Dahmardeh, I. Khammari and S.M. Moosavi Nik
- Evaluation of Quantity and Quality Yield of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) Ecotypes in Different Planting Date under Sabzevar Climatic Conditions 239
H. Rivandi, S. Rezvan, M. Jami Moeini, J.M. Sinaki, A. Damavandi and S. Sanjani
- Evaluation of Ecophysiological Characteristics of Row Intercropped Linseed (*Linum usitatissimum* L.) with Chickpea (*Cicer arietinum* L.) affected as Fertilizer Sources under Dryland Conditions 263
S. Asadi, E. Rezaei-Chiyanehand R. Amirnia
- Evaluation of Carbon Sequestration for Above-Ground and Below-Ground Tissues and Global Warming Potential of Wheat (*Triticum aestivum* L.) 278
A. Mollafilabi and J. Shabahang
- Effect of Irrigation Interval and Nitrogen Amount on Water Requirement, and growth of Rice (*Oryza sativa* L.) Hashemi Cultivar under Gilan Climate Conditions 297
K. Sabokrow Foomani, S.A. Valad Abadi, M. Kavooosi, H. Zakerin, M. Yazdani
- Effect of Different Tillage Systems on Wheat (*Triticum aestivum* L.) Yield and some Soil Physical Characteristics in a Fallow-Wheat Rotation under Rainfed Condition 316
A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati and S.J. Azimzadeh
- Evaluation of Temperature Changes and Its Impacts on Seed Filling Period and Grain Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.) in Different Regions of Iran (1992-2012) 342
R. Abbasi Alikamar, M. Nassiri Mahallati and A. Koocheki
- Evaluation of Grain Yield Stability of Durum Wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) Promising Lines in Moderate Regions of Iran 357
A. Moayyedi, T. Najafi Mirak, M. Taherian, S. Sasaki and D. Amin Azarm

نشریه بوم شناسی کشاورزی (فصلنامه)

دانشگاه فردوسی مشهد

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

بر اساس مصوبه وزارت عتف از سال ۱۳۹۸، کلیه نشریات دارای درجه "علمی-پژوهشی" به نشریه "علمی" تغییر نام یافتند.

جلد ۱۲ شماره ۲ تابستان ۱۳۹۹

صاحب امتیاز و ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

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

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

اعضای هیئت تحریریه (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 سرور خرم دل، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر عادل دباغ محمدینسب، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

دکتر مهدی راستگو، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

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

دکتر احمد زارع فیض آبادی، استاد مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان رضوی

دکتر سعید زهتاب سلماسی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

دکتر حمید شاهنده، پژوهشگر علوم خاک، گروه علوم خاک و گیاهان زراعی، دانشگاه تگزاس A & M

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 نصیری محلاتی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

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

چاپ: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

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

پستی: 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 پایگاه های زیر نمایه می شود:

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

- ۱۲۹ بررسی تنوع محصولات زراعی و باغی در استان زنجان
حسین کاظمی، سمانه بخشنده لاریعی، سهیلا قلی‌خانی و قربانعلی رسام
- ۱۹۵ اثر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر صفات کمی و کیفی علوفه ارزن دم‌رو باهی (*Setaria italica* L.) رقم باستان در شرایط آب و هوایی سیستان
محمدعلی کریمیان و محمد فروزنده
- ۲۱۱ ارزیابی اثر کودهای آلی بر ویژگی‌های کمی و کیفی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) در کشت مخلوط با لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.)
سیمین دخت ریگی، مهدی دهمرده، عیسی خمیری و سید محسن موسوی نیک
- ۲۲۷ ارزیابی عملکرد کمی و کیفی اکوتیپ‌های زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) در واکنش به تاریخ‌های کاشت در شرایط آب‌وهوایی سبزوار
حسن ریوندی، شهرام رضوان، متین جامی معینی، جعفر مسعود سینیکی، علی دماوندی و سارا سنجانی
- ۲۴۱ ارزیابی خصوصیات اکوفیزیولوژیکی در کشت مخلوط ردیفی بزرک (*Linum usitatissimum* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تأثیر منابع کودی در شرایط دیم
سهیلا اسدی، اسماعیل رضائی چپانه و رضا امیرنیا
- ۲۶۵ ارزیابی توانایی بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی و پتانسیل گرمایش جهانی گندم (*Triticum aestivum* L.) در استان خراسان رضوی
عبدالله ملاقیلابی و جواد شباهنگ
- ۲۸۱ بررسی اثر آبیاری تناوبی و مقادیر مختلف کود نیتروژن بر حجم آب و رشد و شاخص‌های رشدی گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) (رقم هاشمی) در شرایط آب‌وهوایی گیلان
کاوه سبک‌رو فومنی، سیدعلیرضا ولدآبادی، مسعود کاووسی، حمیدرضا ذاکری و محمدرضا یزدانی
- ۲۹۹ تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و بقایای گیاهی بر عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) و خصوصیات فیزیکی خاک در تناوب آیش-گندم در شرایط دیم
علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی و سید جواد عظیم‌زاده
- ۳۱۹ بررسی روند تغییرات دماهی و اثرات آن بر طول دوره پر شدن دانه و پتانسیل عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) در مناطق مختلف ایران در طی یک دوره ۲۰ ساله (۱۳۷۱-۹۱)
رضا عباسی علی کمر، مهدی نصیری محلاتی و علیرضا کوچکی
- ۳۴۵ ارزیابی پایداری عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) در مناطق معتدل ایران
علی‌اکبر موبدی، توحید نجفی میرک، مجید طاهریان، شهریار ساسانی و داوود امین آزر

اسامی ارزیابان جلد ۱۲ شماره ۲ (تابستان ۱۳۹۹) نشریه بوم شناسی کشاورزی (به ترتیب الفبا)

دکتر حمیدرضا اصغری	دانشگاه صنعتی شاهرود
دکتر شهرام امیرمرادی	دانشگاه پیام نور
دکتر الهه برومند رضا زاده	شرکت صنایع غذایی به آرا
دکتر مژگان ثابت تیموری	جهاد دانشگاهی مشهد
دکتر لیلا جعفری	دانشگاه هرمزگان
دکتر سرور خرم دل	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر محمود خرمی وفا	دانشگاه رازی
دکتر محمدتقی درزی	دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن
دکتر مهدی دهمرده	دانشگاه زابل
دکتر سید محمد سیدی	دانشگاه تربت حیدریه
دکتر فرزین عبدالهی	دانشگاه هرمزگان
دکتر عبدالعلی غفاری	مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی
دکتر اسماعیل قلی نژاد	دانشگاه محقق اردبیلی
دکتر هدا محمدی	دانش آموخته دکتری دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر سیدشهاب الدین معین الدینی	دانش آموخته دکتری دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر رضا ولی زاده	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر رستم یزدانی بیوکی	سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز ملی تحقیقات شوری

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 حالی‌ست که بوم‌نظام‌های فعلی تولید غذا با مشکلات بسیاری از جمله فرسایش خاک، بحران آب، تخریب زمین‌های حاصلخیز، مقاومت علف‌های هرز و آفات به علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها، طغیان آفات و بیماری‌های ناشی از 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 بوم شناسی کشاورزی هنوز در ابتدای راه موفقیت قرار دارد. هدف دست اندرکاران نشریه در سال جاری و سال‌های آینده بهبود کمی و کیفی مقالات منتشر شده و اقدام در جهت نمایه نمودن نشریه در فهرست مجلات ISI می‌باشد، لذا راهنمای نگارش مقالات مطابق با استانداردهای اعلام شده آن مؤسسه باشد.

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

با احترام، پرویز رضوانی مقدم

سردبیر نشریه بوم‌شناسی کشاورزی



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. به همین 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، به عنوان 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. به همین 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 حداقل اتکاء 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 اگر و اکولوژیکی
- استفاده از بقایای محصولات زراعی در تهیه سوخت‌های زیستی
- استفاده از انرژی‌های جایگزین در اکوسیستم‌های کشاورزی
- کاربرد کودهای بیولوژیک، استفاده از میکوریزا و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن
- کاربرد کمپوست و فرآورده‌های مشابه
- اصلاح خاک از طریق فرآورده‌های بیولوژیک
- 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 ۱ بین خطوط و دو و نیم سانتی‌متر از حاشیه‌ها و با نرم‌افزار MS-Word با قلم میترا اندازه ۱۲ تایپ شود و شکل‌ها و جداول نیز به همین نرم‌افزار منتقل شوند. عناوین شکل‌ها و جداول به دو زبان فارسی و انگلیسی در نرم‌افزار MS-Word و مجزا از شکل با قلم بی میترا (B Mitra) و اندازه ۱۲ با فاصله خط ۱ نوشته شوند. کلیه شکل‌ها و جداول بدون کادر باشند.
- تعداد صفحات مقاله حداکثر ۲۰ 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 ۲۰ کلمه و با قلم بی میترا (B Mitra) اندازه ۱۴ 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 ۷۰۰-۶۰۰ واژه بوده و به تفکیک دارای اجزای زیر باشد:

1. Title

2. Introduction

3. Materials and Methods

4. Results and Discussion

5. Conclusion

6. Acknowledgements

7. Keywords

- همچنین بین قسمتهای چکیده مبسوط تناسب منطقی برقرار باشد، بدین معنی که ۳۰٪ مربوط به مقدمه، ۲۰٪ مواد و روش‌ها و ۵۰٪ 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 پرانتز ارائه شوند مانند: (Mohamadi, 2007).

برای جداسازی منابع در انتهای جمله از "؛" استفاده می‌شود مثال: (Smith, 1999; Samuel et al., 2008; Smith & Samuel, 2009).

- چنانچه در شروع جمله به منبعی استناد شود به صورت نام (سال) نوشته شود و اسامی فارسی نیز باید به لاتین و سال شمسی به میلادی برگردان شوند. نحوه ارجاع به منابع دارای یک نگارنده، دو نگارنده و چند نگارنده که در ابتدای جمله قرار گیرند به ترتیب زیر انجام گیرد: (Smith (1999, Smith & Samuel (2009) و Samuel et al. (2008).

- **جداول و 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 جداول 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 ۱۲ در فهرست منابع نوشته شوند. در نوشتن لیست منابع در قسمت فرمت Hanging اندازه ۵/۰ 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:

۱- 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.

۲- کتاب تالیف شده:

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

۳- 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.

۴- 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).

۵- 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).

۶- 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).

۷- 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)

۸- 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.

۹- 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.cdffa.ca.gov/is/i&c/docs/2004stateData.pdf (verified October 2005).

۱۰- 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: ۹۱۷۷۵-۱۱۶۳

تلفن: ۰۵۱-۳۸۸۰۴۶۵۴، نمابر: ۰۵۱-۳۸۷۸۷۴۳۰ 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.



مقاله علمی - پژوهشی

بررسی تنوع محصولات زراعی و باغی در استان زنجان

حسین کاظمی^{۱*}، سمانه بخشنده لاریمی^۲، سهیلا قلی‌خانی^۳ و قربانعلی رسام^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۱۷

کاظمی، ح.، بخشنده لاریمی، س.، قلی‌خانی، س.، و رسام، ق.، ۱۳۹۹. بررسی تنوع محصولات زراعی و باغی در استان زنجان. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۲(۲): ۱۷۹-۱۹۳.

چکیده

کشاورزی بزرگ‌ترین استفاده‌کننده از تنوع زیستی محسوب می‌شود که امنیت غذایی در سطح جهان به آن وابسته است. در این مطالعه به بررسی وضعیت تنوع زیستی کشاورزی در شهرستان‌های استان زنجان بر اساس تفکیک محصولات زراعی و باغی پرداخته شد. ابتدا سطح زیر کشت و نوع محصول کشت شده در هر شهرستان از آمارنامه وزرات جهاد کشاورزی و سازمان جهاد کشاورزی استان زنجان استخراج شد. داده‌های هواشناسی نیز از اداره کل هواشناسی استان زنجان در طی دوره آماری ۱۵ ساله تهیه گردید. سپس انواع شاخص‌های تنوع زیستی محاسبه شدند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار شاخص شانون در محصولات زراعی (۲/۱۴) مربوط به شهرستان خرمدره و کمترین آن (۰/۸۷) در خدابنده و در محصولات باغی نیز بیشترین مقدار این شاخص مربوط به شهرستان طارم (۱/۹۲) و کمترین آن مربوط به خرمدره (۰/۶۲) تعلق دارد. از نظر شاخص سیمپسون هم بیشترین مقدار در محصولات زراعی و باغی به ترتیب مربوط به خرمدره (۰/۸۳) و طارم (۰/۸۱) و کمترین مقدار آن به ترتیب مربوط به شهرستان‌های خدابنده و خرمدره (۰/۳۴) بود. از نظر شاخص برگر- پارکر نیز بیشترین مقدار محصولات زراعی و باغی به ترتیب مربوط به خدابنده (۰/۸۰) و خرمدره (۰/۷۹) و کمترین مقدار آن نیز در هر دو نوع محصولات زراعی و باغی مربوط به شهرستان طارم بود که به ترتیب برابر با ۰/۲۶ و ۰/۲۵ می‌باشد. از نظر شاخص یکنواختی نیز بیشترین مقدار در محصولات زراعی و باغی به ترتیب در شهرستان‌های خرمدره، ماه‌نشان و ايجرود و کمترین مقدار در شهرستان‌های ابهر و خرمدره به دست آمد. شهرستان‌های ابهر و ايجرود و شهرستان‌های ماه‌نشان و زنجان به ترتیب در محصولات زراعی و باغی بیشترین تشابه سورنسون را دارا بودند. در ارزیابی ارتباط شاخص‌های تنوع زیستی با وضعیت اقلیمی مشخص گردید در بخش محصولات زراعی، شاخص غنای گونه‌ای با توجه به قرار گرفتن در راستای بردار بارش و رطوبت نسبی تحت تأثیر این عوامل قرار می‌گیرد، اما در بخش محصولات باغی این شاخص به شدت تحت تأثیر دمای کمینه و رطوبت نسبی می‌باشد. نمودار دو بعدی آنالیز افزونگی (RDA) نشان می‌دهد که اکثر شاخص‌های تنوع زیستی در بین محصولات زراعی و باغی همبستگی بیشتری با دمای بیشینه و رطوبت نسبی دارند به طور کلی، در برخی از شهرستان‌هایی که تنها یک یا دو گونه زراعی و باغی غالب بوده، تنوع محصولات کشاورزی کاهش یافته، در نتیجه حساسیت کشت‌بوم‌های کشاورزی در این مناطق به تغییرات محیطی و مدیریتی بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: بوم‌سازگان، شاخص شانون، غنای گونه‌ای، یکنواختی گونه‌ای

مقدمه

کالا و خدمات را تهدید می‌کند (Zhu et al., 2003; Makhdom, 2005). در نظام طبیعی جهان، قاعده هرم زندگی بر عرصه گسترده پوشش سبز و تنوع عناصر قرار دارد. اگر این پایه استوار بماند، دیگر سطوح حیات هم شکل گرفته و در صورت وجود تنوع بیشتر، تعاون و همبستگی گونه‌ها در برابر بیماری‌ها، آفات و شرایط نامساعد محیطی قوی‌تر خواهد شد. هر گونه گیاهی در بافت طبیعی محیط به مثابه حلقه زنجیری است که در صورت مفقود شدن و یا آسیب دیدن، مجموعه بافت را از تعادل خارج می‌کند. بر این اساس تنوع گیاهی به طور وسیع در مطالعات پوشش و ارزیابی‌های زیست‌محیطی به عنوان

امروزه بسیاری از فعالیت‌های انسانی منجر به خسارت بی‌سابقه‌ای به بوم‌سازگان شده که استواری، دوام بوم‌نظام‌ها و همچنین فراهمی

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشیار گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشجوی دکتری زراعت و دانشجوی کارشناسی علوم و مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

۴- استادیار مجتمع آموزش عالی شیروان، شیروان، ایران.
(Email: hkazemi@gau.ac.ir)
(*)- نویسنده مسئول:
Doi: 10.22067/jag.v12i2.69227

یکی از شاخص‌های مهم در تعیین نقش مدیریتی و بررسی وضعیت بوم‌نظام مورد استفاده قرار می‌گیرد (Karen et al., 2004). تنوع زیستی بیانگر تنوع در کره زمین است و مجموع کلیه تغییرات زیستی از سطح ژن تا بوم‌نظام را در بر می‌گیرد (Brookfield & Padoch, 1994).

امروزه عملیات کشاورزی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده تنوع زیستی در سطح جهانی شناخته شده است. یکی از راهکارهای کلیدی در کشاورزی پایدار، بازگرداندن تنوع به محیط‌های کشاورزی و مدیریت مؤثر آن است. افزایش تنوع با دیدگاه‌های کشاورزی رایج فعلی که رسیدن به حداکثر تولید از طریق تک‌کشتی گیاهان در مقیاس وسیع می‌باشد، در تضاد است (Koocheki et al., 2003). چهار عامل اصلی تعیین‌کننده خصوصیات بوم‌نظام‌های زراعی منابع ژنتیکی گیاهی، عملیات مدیریتی، عوامل زنده و غیرزنده محیطی می‌باشد که کارکرد بوم‌نظام‌های زراعی بر این عوامل استوار است. منابع ژنتیکی گیاهی نشان‌دهنده تنوع زیستی موجود در بوم-نظام‌های کشاورزی است که امروزه معنای وسیع‌تری یافته و با در بر گرفتن تنوع کلیه موجودات زنده اعم از گیاهان، جانوران و ریزجاندارانی که جهت تولید غذا و فعالیت‌های کشاورزی حائز اهمیت هستند، به‌عنوان تنوع زیستی کشاورزی شناخته می‌شود (FAO, 1999).

کارکرد بوم‌نظام‌های طبیعی و کشاورزی بر تنوع زیستی استوار است و نابودی تنوع زیستی تهدیدی جدی برای مقاومت بوم‌نظام‌های کشاورزی و در نهایت امنیت غذایی جهان محسوب می‌شود (Swift & Anderson, 1993). در حال حاضر سرعت نابودی گونه‌های گیاهی و جانوری در اثر فعالیت‌های انسان، به‌ویژه کشاورزی و صنعتی بالا بوده و این موضوع کارکرد نظام‌های بوم‌شناختی را به مخاطره انداخته است (Pimentel et al., 1992). به همین جهت مطالعه تنوع زیستی کشاورزی و حفاظت از آن در سال‌های اخیر مورد توجه بوم-شناسان کشاورزی بوده و از ابعاد مختلف مورد بررسی قرار گرفته است (Pimentel et al., 1992; Stocking, 2001). براین اساس و برای این دست از مطالعات انواع مختلفی از شاخص‌های تنوع زیستی پیشنهاد شده است.

تاکنون اکثر فعالیت‌هایی که در زمینه حفظ تنوع زیستی انجام گرفته در بوم‌نظام‌های طبیعی بوده است. این در حالی است که این مناطق تنها پنج درصد محیط‌های خشک را در بر گرفته است.

برعکس، حدود ۵۰ درصد زمین‌ها به تولید محصولات کشاورزی و ۲۰ درصد به جنگل‌داری تجاری اختصاص دارد (Koocheki et al., 2006). با وجود این که اهمیت تنوع در کارکرد بوم‌نظام‌های کشاورزی و در نهایت پایداری آن‌ها توسط بسیاری از محققین مورد تأیید قرار گرفته، ولی اطلاعات و منابع علمی موجود در مورد اثرات متقابل بین این تنوع و کارکرد بوم‌نظام‌های کشاورزی ناچیز است (FAO, 1999; Naeem & Lee, 1995). تردیدی نیست که حفاظت و بهره‌برداری صحیح از تنوع زیستی موجود در بوم‌نظام‌های زراعی بیش از هر چیز در گرو شناخت ویژگی‌ها و پراکندگی مکانی آن است که خود مستلزم مطالعه تنوع زیستی کشاورزی در سطوح مختلف از جمله سطح بوم-نظام‌ها، گونه‌های زراعی و ژنوتیپ‌های آن می‌باشد (Koocheki et al., 2003).

با پیشرفت‌های صنعتی که روز به روز در جهان به‌وجود می‌آید، تأمین مواد اولیه این صنایع گوناگون نیز اهمیت ویژه‌ای می‌یابد، به-خصوص آن دسته از صنایعی که با استفاده از فرآورده‌های گیاهی تأمین‌کننده مواد غذایی و پوشاک و سایر مایحتاج روزانه جوامع هستند. از این‌رو مطالعه و حفاظت از تنوع زیستی کشاورزی در سال‌های اخیر مورد توجه بوم‌شناسان کشاورزی بوده و از ابعاد مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2003) در مطالعه‌ای روی تنوع زیستی محصولات باغی، سبزی و صیفی ایران دریافتند که ۳۱ گونه محصول باغی و ۱۴ گونه سبزی و صیفی در کل کشور و در استان‌های مختلف مورد کشت قرار می-گیرند. این محققان تنوع محصولات باغی و سبزی و صیفی در استان‌های کشور را در محدوده‌ای نسبتاً مناسب دانستند. در همین راستا نصیری محلاتی و همکاران (Nassiri Mahallati et al., 2004) در مورد غلات نتیجه گرفتند که کمترین شاخص شانون در کل کشور مربوط به استان گیلان است که نشان‌دهنده غالبیت یک گونه غلات یعنی برنج می‌باشد. برآوردهای انجام شده بیانگر این واقعیت است که ارقام اصلاح شده موجب از بین رفتن ۹۰ درصد از ارقام محلی در سراسر جهان شده است. کارکرد بوم‌نظام‌های طبیعی و کشاورزی بر تنوع زیستی استوار است و نابودی تنوع زیستی تهدیدی جدی برای بقای بوم‌نظام‌های کشاورزی و نهایتاً امنیت غذایی جهان محسوب می‌شود (Koocheki et al., 2005; Blackshaw, 2001). در مطالعه مرادی و سامی (Moradi & Sami, 2013) در شهرستان‌های استان کرمان، مشخص شد که بیشترین سطح زیر

وسیعی از سودمندی‌های مستقیم و غیرمستقیم را در مقیاس محلی و جهانی در پی دارد. استان زنجان نیز از تنوع اقلیمی و توپوگرافی برخوردار بوده و این امر باعث شده که در سطح هشت شهرستان این استان انواع محصولات کشاورزی کشت شود. با توجه به اهمیت تنوع زیستی و استفاده از آن در مدیریت بوم‌نظام‌های رایج، این بررسی با هدف ارزیابی تغییرات تنوع زیستی کشاورزی برای محصولات زراعی و باغی استان زنجان به تفکیک هر شهرستان و رابطه آن با عوامل اقلیمی در سال ۱۳۹۵ انجام شد تا نقش تنوع زیستی در بوم‌نظام‌های کشاورزی منطقه از جنبه‌های مختلفی از جمله ثبات و پایداری و نیز ارتقاء کارکردهای آن‌ها قابل تفسیر باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

استان زنجان در ۳۵ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۵۲ دقیقه طول شرقی واقع شده است که از شمال با استان‌های اردبیل و آذربایجان شرقی، از جنوب با استان همدان، جنوب غربی و شرقی به ترتیب با کردستان و قزوین و شمال غربی و شرقی نیز به ترتیب با استان‌های آذربایجان غربی و گیلان هم‌مرز می‌باشد. مساحت این استان ۲۱۷۷۳ کیلومترمربع می‌باشد. هرچند استان زنجان وسعت کمی دارد؛ اما دارای تنوع آب‌وهوایی زیادی است. به‌طور مثال، منطقه طارم و ماه‌نشان آب‌وهوای نسبتاً گرم دارند، ولی سایر مناطق استان از آب‌وهوای سردی برخوردار است. میانگین دمای استان بین ۹/۴ درجه سانتی‌گراد تا ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد متغیر است. میانگین بارندگی نیز در استان زنجان بین ۲۰۰ میلی‌متر تا ۴۰۰ میلی‌متر ثبت شده است که بیش از میانگین کشور بارش دریافت می‌کند. ارتفاع از سطح دریا در استان زنجان از ۳۷۰ متر تا ۲۰۰۰ متر متغیر می‌باشد.

جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات

سطح زیر کشت و نوع محصول کشت شده در هر شهرستان به تفکیک محصولات زراعی و باغی از آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی و آمارنامه سازمان جهاد کشاورزی استان زنجان و مصاحبه چهره به چهره با کارشناس‌های مدیریت‌های جهاد کشاورزی شهرستان‌ها استخراج شدند. داده‌های هواشناسی نیز از اداره کل هواشناسی استان زنجان در طی دوره آماری ۱۵ ساله تهیه شد. این اطلاعات شامل

کشت محصولات باغی به شهرستان‌های جیرفت و رفسنجان و کمترین مقدار آن به شهرستان بافت تعلق دارد. شهرستان‌های جیرفت و کرمان بیشترین غنای گونه‌ای محصولات زراعی (به‌ترتیب با ۲۰ و ۲۲ گونه) و باغی (به‌ترتیب با ۳۴ و ۳۱ گونه) را شامل شدند. در بین محصولات کشاورزی مختلف استان، گونه‌های گندم (*Triticum aestivum* L.) و پسته (*Pistacia vera*) در اکثر شهرستان‌ها گونه غالب بودند. بالاترین میزان شاخص تنوع شانون در محصولات زراعی مربوط به شهرستان‌های جیرفت (۲/۲۷) و کرمان (۱/۹۹)، در محصولات باغی جیرفت (۲/۳۱) و بافت (۲/۰۵) بود. در مطالعه ربیعی (Rajabi, 2014) در شهرستان‌های بیرجند و طبس مشخص شد که تنوع زیستی کشاورزی از وضعیت مناسبی برخوردار نمی‌باشد. هرچند غنای گونه‌ای محصولات باغی و زراعی شهرستان طبس بیشتر از بیرجند بود. تغییرات روند شاخص‌های تنوع زیستی طی بازه زمانی ۱۳۹۰-۱۳۸۱ در استان اصفهان نشان داد که سطح زیرکشت، شاخص‌های تنوع بنا، شانون و یکنواختگی محصولات زراعی در این استان در بازه زمانی مورد نظر به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است. نتایج نشان داد که دلیل آن کاهش معنی‌دار سطح زیر کشت به‌علت خشک‌سالی‌های مداوم و تغییر کاربری اراضی می‌باشد (Goldani et al., 2017).

استوکینگ (Stocking, 2001) نوسانات اقلیمی در یک منطقه را یکی از عوامل عمده تعیین‌کننده تنوع گونه‌ای در بوم‌نظام‌های زراعی بیان کرد و اظهار داشت که اثر تنوع اقلیمی بر تنوع گونه‌ای معمولاً مهم‌تر از سایر عوامل محیطی (خاک، آب و غیره) است. کاوا و همکاران (Kawa et al., 2011) بیان نمودند که شرایط اقلیمی، کیفیت خاک و تاریخچه پوشش گیاهی منطقه، غنای گونه‌ای را تحت تأثیر قرار می‌دهد. سایر محققان (Koocheki et al., 2003 a; Koocheki, 2005; Koocheki et al., 2003 b; Nassiri Mahallati et al., 2004; Gliessman, 1992) نیز نتیجه گرفتند که تنوع گونه‌ای ارتباط زیادی با عوامل اقلیمی و به‌خصوص بارندگی دارد. در نقاطی که شرایط اقلیمی مساعدتر و مشکل حاصلخیزی وجود ندارد، تعداد گونه کاشته شده بیشتر بوده و سطح زیر کشت نیز توزیع یکنواخت‌تری را نشان می‌دهد (Koocheki et al., 2003 c; Koocheki, 2005).

کشور ایران به دلیل پستی و بلندی‌های فراوان و اقلیم‌های متفاوت، از تنوع زیستی بالایی برخوردار بوده که این تنوع دامنه

$$d = N_{\max} / N \quad \text{معادله (۳)}$$

که در آن، $N_{\max}$: تعداد افراد غالب‌ترین گونه در نمونه و N : تعداد کل افراد نمونه می‌باشد.

شاخص یکنواختی

این شاخص که با مشخص بودن شاخص تنوع شانون محاسبه می‌شود (معادله ۴) (Magurran, 1988).

$$E_1 = H' / \ln(S) \quad \text{معادله (۴)}$$

که در آن، E_1 : شاخص یکنواختی، H : شاخص شانون و S : تعداد گونه‌ها (سطح زیر کشت گونه‌های گیاهی) می‌باشد. شدت یکنواختی توزیع تعداد یا سطح زیر کشت گونه‌های گیاهی بوده و مقدار آن مساوی یا کوچک‌تر از یک می‌باشد. هرچه میزان آن به یک نزدیک باشد، به معنی یکنواختی بیشتر سطح زیر کشت گونه‌های یک محصول و هرچه به صفر نزدیک باشد نشان‌دهنده غالبیت یک محصول است (Koocheki et al., 2003).

شاخص تشابه سورنسون

مقدار این شاخص بین صفر و یک متغیر است که هرچه به یک میل می‌کند تشابه بیشتر بین دو منطقه و صفر نیز یعنی عدم تشابه در دو ناحیه مورد نظر است. عدد یک یعنی تشابه کامل بین دو منطقه مورد بررسی وجود دارد. این شاخص از معادله ۵ محاسبه می‌گردد (Chao et al., 2006):

$$S = 2C / A + B \quad \text{معادله (۵)}$$

که در آن، C : گونه‌های مشترک دو منطقه، A و B : تعداد گونه‌ها در دو منطقه به تفکیک می‌باشند.

غناي گونه‌ای و تعداد کل افراد

تعداد کل گونه‌ها (غناي گونه‌ای) و تعداد کل افراد در مورد تمام گونه‌ها (N) که به اندازه واحد نمونه‌برداری وابسته است، به ترتیب از معادله‌های ۶ و ۷ محاسبه می‌شود (Ejtehadi et al., 2007):

$$D_{mg} = S - 1 / \ln N \quad \text{معادله (۶)}$$

$$D_{Mn} = S / \sqrt{N} \quad \text{معادله (۷)}$$

که در آن، D_{mg} : تعداد کل گونه، D_{Mn} : تعداد کل افراد، S : تعداد گونه و N : که تعداد کل افراد نمونه می‌باشد.

دماهای کمینه، بیشینه، متوسط سالانه، میزان رطوبت نسبی و میزان بارش سالانه بود. پس از جمع‌آوری داده‌ها محاسبات لازم برای به‌دست آوردن میانگین داده‌ها در دوره آماری صورت پذیرفت. از نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۱۰ برای انجام محاسبات تنوع زیستی و از نرم‌افزار Canoco برای ترسیم روابط بین شاخص‌های اقلیمی و تنوع زیستی استفاده شد.

شاخص‌های تنوع زیستی

شاخص شانون- واینر

شاخص شانون- واینر، ترکیبی از غنای گونه‌ای و فراوانی نسبی گونه‌ها بوده و مقدار آن در جوامع طبیعی از حدود پنج تجاوز نمی‌کند و از معادله ۱ محاسبه می‌شود (Ghorbani, 2008; Magurran, 1988):

$$H = -\sum P_i \times \ln P_i \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن، H : شاخص شانون ($H \geq 0$) و $P_i = n_i / N$ (تعداد افراد (یا مقدار زیست‌توده) هر گونه i (امین گونه) و N : (تعداد کل افراد یا زیست‌توده کل) در یک منطقه می‌باشد. مقدار n_i / N نشان‌دهنده نسبت یا فراوانی نسبی یک گونه است. در این مطالعه به منظور محاسبه شاخص تنوع شانون، مقدار n_i / N به صورت سطح زیر کشت هر محصول زراعی یا باغی به کل سطح زیر کشت گیاهان زراعی یا باغی در نظر گرفته شد (Koocheki et al., 2013).

شاخص توزیع سیمپسون

این شاخص، میزان غالبیت گونه‌ای در یک منطقه را نشان می‌دهد که مقدارش بین صفر تا یک متغیر است و بالا بودن این شاخص نشانگر بالا بودن غالبیت است که از معادله ۲ محاسبه می‌گردد (Hawksworth, 1995):

$$C = 1 - D = 1 - \sum P_i^2 \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن، D : شاخص غالبیت سیمپسون، n_i : سطح زیر کشت گونه i و N : سطح زیر کشت کل گونه‌ها می‌باشد. عکس شاخص سیمپسون ($1/D$) میزان تنوع یک گونه را نشان می‌دهد.

شاخص تنوع برگر- پارکر

شاخص تنوع برگر- پارکر، نشان‌دهنده فراوانی نسبی غالب‌ترین گونه‌ها بوده و با استفاده از معادله ۳ محاسبه می‌گردد (Hawksworth, 1995; Magurran, 1988):

نتایج و بحث

شاخص شانون- واینر

بر اساس نتایج جدول ۱ در بین شهرستان‌های استان زنجان از نظر تنوع زیستی محصولات زراعی، بیشترین مقدار شاخص شانون- واینر، مربوط به شهرستان خرمدره بود (۲/۱۴) که علت آن بالا بودن سطح زیر کشت و غنای گونه‌ای از جمله کشت گیاهان زراعی گندم دیم و گندم آبی، لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) و یونجه (*Medicago sativa* L.) آبی نسبت به سایر شهرستان‌ها می‌باشد و کمترین شاخص شانون مربوط به شهرستان‌های خداوند (۰/۸۷) و ابجرود (۰/۹۶) به‌دست آمد. به‌طوری‌که در شهرستان خداوند گیاه زراعی گندم و در شهرستان خرمدره گیاه لوبیا، گیاهان غالب بودند. بر طبق جدول ۲ در اراضی باغی نیز بیشترین و کمترین شاخص شانون به‌ترتیب مربوط به شهرستان‌های طارم (۱/۹۲) و خرمدره (۰/۶۲) می‌باشد، که علت آن را در شهرستان خرمدره می‌توان مربوط به بالا بودن سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) نسبت به سایر محصولات باغی دانست. بر این اساس در کل استان زنجان، شاخص شانون نشان‌گر این است یک یا دو گونه در اکثر شهرستان‌ها گونه‌های غالب بوده و این امر باعث حساسیت بیشتر کشت بوم‌ها به تغییرات محیطی و مدیریتی می‌شود. البته شاخص غالبیت محصولات باغی (۱/۹۶) نسبت به محصولات زراعی (۱/۳۸) بیشتر بود (جدول ۳). بالا بودن شاخص شانون در شهرستان خرمدره و طارم به‌ترتیب در محصولات زراعی و باغی را می‌توان به بالا بودن شاخص یکنواختی (۰/۲۴) ارتباط داد. همچنین پایین بودن شاخص شانون نشان‌دهنده کم بودن تنوع و غالبیت یک یا چندگونه خاص در این شهرستان‌ها از جمله گیاهانی مانند پیاز (*Allium cepa* L.)، گوجه‌فرنگی، خیار (*Cucumis sativus* L.)، هندوانه (*Citrullus* *lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai)، خربزه (*Cucumis* *melo* L.) و سیر (*Allium sativum* L.) می‌باشد. در همین راستا نصیری محلاتی و همکاران (Nassiri Mahallati et al., 2004) بیان داشتند که در مورد غلات کمترین شاخص شانون در کل کشور مربوط به استان گیلان است که نشان‌دهنده غالبیت یک گونه غلات یعنی برنج در این استان می‌باشد. در مطالعه پوربابایی و همکاران (Pourbabai et al., 2012) در رویشگاه جنگلی سفید مازوی اسالم گیلان، مشخص شد که با افزایش ارتفاع، تنوع شانون، مارگالف و منهینیک کاهش یافته و بیشترین مقدار این شاخص‌ها در طبقه

ارتفاعی پایین قرار دارد. اصولاً شاخص تنوع شانون کاربردی‌ترین شاخص برای ارزیابی تنوع به‌شمار می‌رود که تعداد گونه‌ها و یکنواختی گونه‌ها را مد نظر قرار داده است (Nassiri Mahallati et al., 2000; Magurran, 1998). مقدار تنوع شانون برای گونه‌های گیاهی در بوم‌نظام‌های طبیعی در محدوده صفر تا پنج بوده (Nassiri Mahallati et al., 2004) و حداکثر مقدار گزارش شده این شاخص برای گیاهان زراعی نیز سه می‌باشد (Meng et al., 1999). این شاخص‌ها معیار مناسبی برای تعیین توان بوم‌شناختی بوم‌نظام‌ها و ارزیابی و مقایسه آن‌ها در بعد مکان و زمان می‌باشد. به‌دلیل این که شاخص شانون توانایی بیشتری برای تشخیص تنوع گونه‌ای دارد و تحت تأثیر یکنواختی و غنای گونه‌ای است (Zarechahoki et al., 2007)، بنابراین، برای تعیین توان بوم-شناختی بوم‌نظام‌ها، ارزیابی و مقایسه آن‌ها در مکان و زمان بیشتر مدنظر قرار می‌گیرد (Ravanbakhsh et al., 2006).

شاخص سیمپسون

در این مطالعه از نظر محصولات زراعی شاخص سیمپسون نیز در بین شهرستان‌های خرمدره و طارم (۰/۸۳) و خداوند (۰/۳۴) (جدول ۱) و از نظر محصولات باغی شهرستان‌های طارم (۰/۸۱) و خرمدره (۰/۳۴) به‌ترتیب بیشترین و کمترین توزیع غالبیت را دارا بوده‌اند (جدول ۲). بر طبق جدول ۳ در کل استان زنجان از نظر شاخص سیمپسون نیز غالبیت با زمین‌های باغی (۰/۸۲) بوده است. با توجه به بالا بودن شاخص تنوع سیمپسون که نشان‌گر غالبیت یک گونه در یک منطقه است، می‌توان بیان نمود علت بالا بودن این شاخص در محصولات زراعی و باغی در شهرستان‌های خرمدره و طارم به‌علت بالا بودن سطح زیر کشت محصولات باغی همچون گوجه‌فرنگی به‌میزان دوهزار هکتار و محصولات زراعی همچون سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) به‌میزان ۱۸۰۰ هکتار می‌باشد که با افزایش سطح زیر کشت آن‌ها، از میزان تنوع محصولات دیگر کاسته شده که این امر باعث کاهش شاخص یکنواختی به‌ترتیب در محصولات زراعی در شهرستان‌های طارم (۰/۲۳) و خرمدره (۰/۲۴) و در محصولات باغی در شهرستان طارم (۰/۲۱) و خرمدره (۰/۱۰) شده است.

جدول ۱- شاخص‌های تنوع زیستی زراعی در شهرستان‌های استان زنجان
Table 1- Agronomic biodiversity indicators in Zanzan province

شهرستان Township	سیمپسون Simpson	شانون Shanon	یکنواختی Uniformity	برگر- پارکر Burger- Parker	تعداد کل افراد در تمام گونه‌ها Total number of individuals in all species	تعداد کل گونه‌ها Total number of species
خدابنده Khodabande	0.34	0.87	0.072	0.80	0.035	13.91
زنجان Zanzan	0.63	1.51	0.13	0.58	0.049	14/91
سلطانیه Soltanieh	0.69	1.69	0.16	0.51	0.10	18.90
ماه‌نشان Mahnesan	0.58	1.33	0.12	0.61	0.062	13.90
خرمدره Khorramdarreh	0.83	2.14	0.24	0.33	0.10	8.88
طارم Tarom	0.83	2.03	0.23	0.26	0.15	12.88
ابهر Abhar	0.65	1.57	0.14	0.55	0.054	11.90
ابجروود Abajrood	0.41	0.96	0.090	0.75	0.024	4.90

جدول ۲- شاخص‌های تنوع زیستی محصولات باغی در شهرستان‌های استان زنجان
Table 2- Garden products biodiversity indicators in Zanzan province

شهرستان Township	سیمپسون Simpson	شانون Shanon	یکنواختی Uniformity	برگر- پارکر Burger- Parker	تعداد کل افراد در تمام گونه‌ها Total number of individuals in all species	تعداد کل گونه‌ها Total number of species
خدابنده Khodabande	0.64	1.29	0.17	0.53	0.16	6.86
زنجان Zanzan	0.67	1.41	0.16	0.52	0.10	7.88
سلطانیه Soltanieh	0.68	1.23	0.18	0.37	0.21	5.84
ماه‌نشان Mahnesan	0.76	1.65	0.24	0.34	0.26	7.85
خرمدره Khorramdarreh	0.34	0.62	0.10	0.79	0.16	2.82
طارم Tarom	0.81	1.92	0.21	0.25	0.13	11.88
ابهر Abhar	0.38	0.87	0.12	0.76	0.27	8.85
ابجروود Abajrood	0.61	1.14	0.24	0.52	0.51	4.78

جدول ۳- شاخص‌های تنوع زیستی زراعی و باغی در کل استان زنجان
Table 3- Indicators of agronomic and garden biodiversity in Zanjan Province

نوع اراضی Type of land	شانون Shanon	سیمپسون Simpson	برگر- پارکر Burger-Parker	یکنواختی Uniformity	تعداد کل افراد در تمام گونه‌ها Total number of individuals in all species	تعداد کل گونه‌ها Total number of species
زراعی Agronomic	1.38	0.54	0.65	0.10	0.03	21.92
باغی Horticultural	1.96	0.82	0.28	0.20	0.09	12.89

می‌دهد که شهرستان خرمدره بیشترین (۰/۲۴) و ابرجدود کمترین (۰/۰۹) سطح زیر کشت گونه‌های زراعی از جمله لوبیا و گندم و همچنین شهرستان‌های ماه‌نشان بیشترین (۰/۲۴) و خرمدره کمترین (۰/۱۰) میزان سطح زیر کشت محصولات باغی از جمله گوجه‌فرنگی را دارا هستند. در کل استان زنجان نیز بررسی‌ها نشان داد که شدت یکنواختی توزیع سطح زیر کشت گونه‌های گیاهی در بین محصولات باغی بیشتر بوده، اما از غالبیت کمتری برخوردارند (جدول ۳). در مطالعه پورقاسمیان و مرادی (Pourghasemian & Moradi, 2016) در استان اصفهان مشخص شد که شهرستان‌های فلاورجان، خمینی‌شهر، کاشان، نایین و نجف‌آباد دارای بیشترین شاخص یکنواختی در بین محصولات زراعی و شهرستان اصفهان کم‌ترین میزان این شاخص را داراست.

تعداد کل گونه و تعداد کل افراد در تمام گونه‌ها

از نظر تعداد کل گونه (غنای گونه‌ای) زراعی بیشترین و کمترین مقدار در بین مربوط به شهرستان سلطانیه (۱۸/۹۰) و ابرجدود (۴/۹۰) و در بین گونه‌های باغی نیز بیشترین و کمترین آن به ترتیب مربوط به شهرستان طارم (۱۱/۸۸) و شهرستان خرمدره (۲/۸۲) مشاهده شد. از نظر تعداد کل گونه نیز در بین محصولات زراعی شهرستان طارم (۰/۱۵) و در بین محصولات باغی نیز شهرستان ابرجدود (۰/۵۱) بیشترین تعداد را نشان دادند (جدول‌های ۱ و ۲). در مجموع، تعداد کل گونه‌ها و افراد هر گونه در بین محصولات زراعی در کل استان زنجان بیشتر از محصولات باغی بود (جدول ۳). Koocheki et al., (2003) در مطالعه تنوع زیستی محصولات باغی، سبزی و صیفی ایران دریافتند که ۳۱ گونه محصول باغی و ۱۴ گونه سبزی و صیفی در کل کشور و در استان‌های مختلف مورد کشت قرار می‌گیرند. این محققین تنوع محصولات باغی و سبزی و صیفی در استان‌های کشور را در محدوده‌ای نسبتاً مناسب دانستند.

پایین بودن این شاخص در منطقه خرمدره نشان از پایین بودن سطح زیر کشت محصولات باغی مثل پیاز می‌باشد. اصولاً شاخص تنوع سیمپسون معیاری برای ارزیابی تنوع به‌شمار می‌رود که بر مبنای آن، هر بوم‌سازگانی که در آن هیچ یک از گونه‌ها نسبت به سایر گونه‌ها غالب نباشد، دارای تنوع بیشتری است و بنابراین در محاسبه آن به یکنواختی گونه‌ای نیز توجه می‌شود (Koocheki et al., 2003).

شاخص برگر- پارکر

بر اساس نتایج جدول ۱ از نظر شاخص برگر- پارکر فراوانی غالب‌ترین گونه‌ها در گیاهان زراعی همچون گندم دیم، یونجه آبی، گندم آبی، جو (*Hordum vulgare* L.) دیم، سیب‌زمینی، عدس (*Lens culinaris* Medik.) دیم مربوط به شهرستان خدابنده بوده است (۰/۸۰). نتایج جدول ۲ نیز نشان داد که غالب‌ترین گونه‌ها در اراضی باغی شهرستان خرمدره مشاهده شد (۰/۷۹). همچنین در کل استان زنجان، شاخص برگر- پارکر نیز در بین سطح زیر کشت محصولات زراعی نسبت به زمین‌های باغی کمی بیشتر است (جدول ۳). در تحقیق کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014)، مشخص شد که در برخی از استان‌ها مانند بوشهر و کرمان به دلیل کشت غالب خرما (*Phoenix dactylifera* L.) و پسته، غالبیت گونه‌ای دیده می‌شود، زیرا شاخص برگر- پارکر نیز در این مناطق بیشتر از سایر استان‌هاست.

شاخص یکنواختی

این شاخص چگونگی توزیع فراوانی افراد را در بین گونه‌های موجود نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، یکنواختی بیانگر میزان تعادل در فراوانی گونه‌ها است. با معلوم بودن شاخص شانون، می‌توان میزان شاخص یکنواختی را محاسبه کرد. نتایج جداول ۱ و ۲ به ترتیب نشان

شاخص تشابه سورنسون

اصولاً شاخص تشابه سورنسون هر چقدر به یک میل کند، تشابه بیشتری بین دو منطقه وجود داشته و عدد صفر هم به معنی عدم وجود تشابه دو ناحیه مورد نظر است و یک یعنی تشابه کاملی بین دو منطقه وجود دارد. بنابراین، بر طبق جدول ۴ بیشترین تشابه بین سطح زیر کشت محصولات زراعی در دو شهرستان ابهر و ابرود مشاهده شد (۰/۹۶). از نظر این شاخص بیشترین تشابه بین سطح زیر کشت محصولات باغی بین دو منطقه سلطانیه و ماه‌نشان به دست آمد (جدول ۵). در همین راستا کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2003c) همچنین دریافتند که در بین برخی از استان‌های کشور شباهت زیادی از نظر ارقام زیر کشت گندم وجود دارد و این شباهت در بین استان‌هایی که از نظر ویژگی‌های اقلیمی مشابه بودند، بیش‌تر بود. در بررسی مندنی و همکاران (Mandani et al., 2017) در استان کرمانشاه مشخص شد که شهرستان‌های کرمانشاه و کنگاور با شاخص تشابه سورنسون ۰/۸۵ دارای بیشترین تشابه و اسلام‌آباد غرب با قصر شیرین با شاخص تشابه صفر کمترین تشابه را از نظر تنوع گیاهان دارویی دارند.

رابطه بین شاخص‌های تنوع زیستی با عوامل اقلیمی

نتایج تجزیه و تحلیل آنالیز تطبیقی RDA نشان داد که عوامل

اقلیمی اثر معنی‌داری بر شاخص‌های تنوع زیستی در منطقه مورد مطالعه دارند، در بین محصولات زراعی شاخص غنای گونه‌ای در جهت مثبت محور اول و جهت منفی محور دوم قرار گرفته و با بارش سالانه و رطوبت نسبی و شاخص برگ‌- پارکر نیز در جهت مثبت محور اول و دوم قرار گرفته و با ویژگی‌های بارش، دمای حداکثر، میانگین و حداقل ارتباط تنگاتنگی دارد که این امر می‌تواند رابطه مستقیم و مثبت محصولات زراعی دیم را به میزان بارش سالانه نشان دهد و همچنین شاخص‌های سیمپسون، شانون و یکنواختی در جهت منفی محور اول و در جهت مثبت محور دوم قرار گرفته و با ویژگی‌های رطوبت، دماهای حداقل، حداکثر و میانگین ارتباط داشتند (شکل ۱). نمودار آنالیز افزونگی (RDA) نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه شاخص‌های مختلف از هم تفکیک شده‌اند. به طوری که اکثر شاخص‌های تنوع زیستی همبستگی بیشتری با دمای بیشینه و رطوبت نسبی دارند. اما در بین محصولات باغی شاخص برگ‌- پارکر در جهت مثبت محور اول و مرتبط با متغیرهای بارش و رطوبت نسبی، ولی شاخص‌ها سیمپسون، شانون و یکنواختی در جهت مثبت محور دوم و مرتبط با ویژگی‌های دمای حداقل، حداکثر و میانگین و همچنین رطوبت بوده، ولی شاخص غنای گونه‌ای علاوه بر دمای میانگین و حداکثر ارتباط بسیار تنگاتنگی با دمای حداقل و رطوبت برای رشد در شرایط اقلیمی زنجان دارد.

جدول ۴- مقایسه شاخص تشابه سورنسون محصولات زراعی در بین شهرستان‌های استان زنجان

Table 4- Comparison of crop products based on Sorenson's Similarity index in townships of Zanjan province

شهرستان‌ها	خداابنده	زنجان	سلطانیه	ماه‌نشان	خرمدره	طارم	ابهر	ابجروود
Townships	Khodabande	Zanjan	Soltanieh	Mahnesan	Khorramdarreh	Tarom	Abhar	Abajrood
خداابنده	1	0.83	0.70	0.78	0.75	0.58	0.90	0.80
زنجان		1	0.76	0.80	0.70	0.66	0.78	0.75
سلطانیه			1	0.76	0.68	0.54	0.75	0.68
ماه‌نشان				1	0.64	0.66	0.73	0.68
خرمدره					1	0.69	0.84	0.88
طارم						1	0.64	0.66
ابهر							1	0.96
ابجروود								1
Abajrood								

جدول ۵- مقایسه شاخص تشابه سورنسون محصولات باغی در بین شهرستان‌های استان زنجان

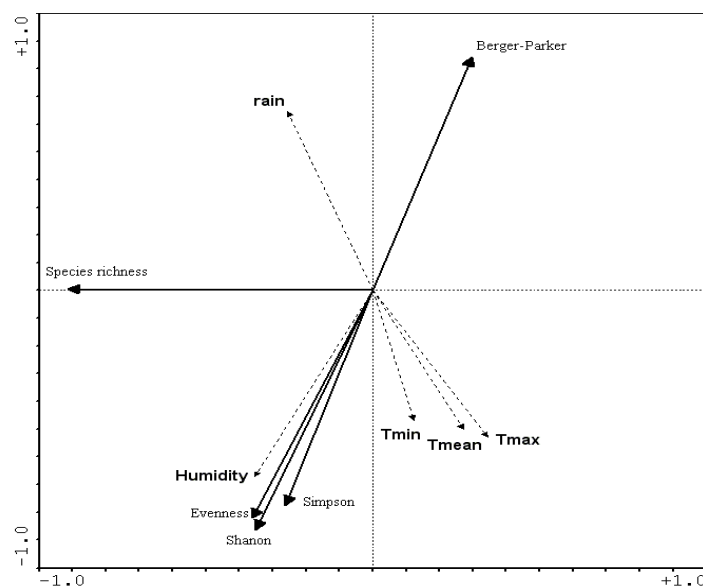
Table 5- Comparison of horticultural products based on Sorenson's Similarity index in townships of Zanjan province

شهرستان‌ها Townships	خداابنده Khodabande	زنجان Zanjan	سلطانیه Soltanieh	ماه‌نشان Mahnesan	خرمدره Khorramdarreh	طارم Tarom	ابهر Abhar	ابجروود Abajrood
خداابنده Khodabande	1	0.87	0.85	0.87	0.60	0.70	0.70	0.83
زنجان Zanjan		1	0.87	0.88	0.50	0.72	0.73	0.71
سلطانیه Soltanieh			1	1	0.60	0.70	0.70	0.83
ماه‌نشان Mahnesan				1	0.50	0.72	0.73	0.71
خرمدره Khorramdarreh					1	0.37	0.46	0.75
طارم Tarom						1	0.86	0.55
ابهر Abhar							1	0.66
ابجروود Abajrood								1

نمونه مهم از این فرآیندها عبارتند از تبادل گازی برگ که به حجم (فشار تورمی) سلول‌های محافظ وابسته است و دیگری افزایش سطح برگ که به گسترش سلولی متکی می‌باشد. کمبود رطوبت شاخص سطح برگ را کاهش و در نتیجه میزان جذب نور توسط گیاه کم می‌شود. همچنین کلروفیل‌سازی در کمبودهای شدیدتر آب متوقف می‌گردد، همه این عوامل دست به دست هم داده و باعث می‌شود در اثر تنش خشکی، عملکرد محصول کاهش یابد (Emadi, 2009). در مطالعه تأثیر تغییرات عوامل محیطی روی شاخص‌های تنوع زیستی در گیاه گندم، کامکار و همکاران (Kamkar et al., 2014)، اثر بارش و دمای کمینه را روی شاخص غالبیت سیمپسون و بارش و دمای میانگین را در ارتباط با شاخص شانون در جهت مثبت گزارش نموده‌اند. استوکینگ (Stocking, 1999) تغییرات اقلیمی را از عوامل تعیین‌کننده تنوع گونه‌ای و ژنتیکی در بوم‌نظام‌های زراعی بیان کرد و اظهار داشت تأثیر تنوع اقلیمی بر تنوع گونه‌ای معمولاً مهم‌تر از سایر عوامل محیطی می‌باشد. تنوع نظام‌های زراعی موجود، در راستای تنوع اقلیمی می‌باشد و علاوه بر آن خصوصیات خاک مناطق زراعی نیز در این امر بی‌تأثیر نیست که البته این خصوصیت نیز متأثر از ویژگی‌های اقلیمی می‌باشد (Alken & Oldfield, 1987). گلیسمن (Gliessman, 1992) نشان داد که از نظر بوم‌شناختی، اقلیم و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها که خود تابعی از اقلیم هستند، اساس شکل‌گیری و تنوع موجود در بوم‌نظام‌های زراعی در جهان می‌باشند.

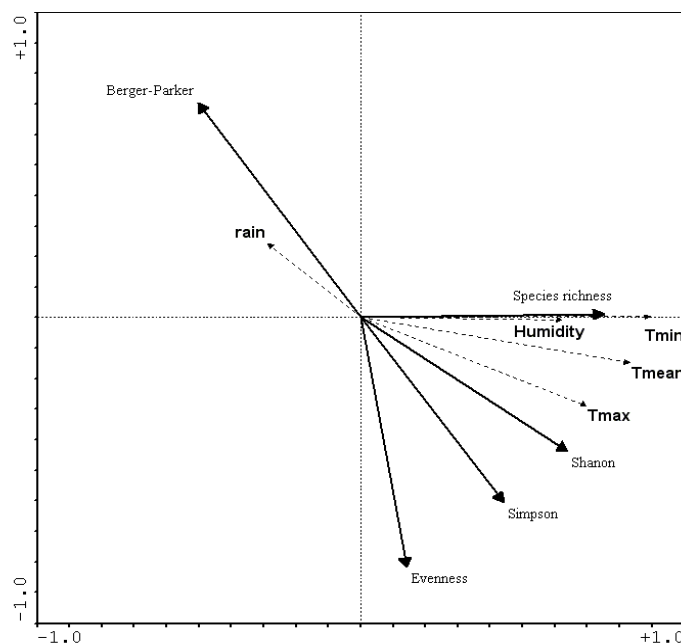
این امر می‌تواند تأثیرپذیری محصولات باغی را از دمای کمینه و سرمای زودرس بهار نسبت به سایر متغیرهای اقلیمی نشان دهد. این نتایج نشان می‌دهد که بارش و رطوبت نسبی نسبت به سایر عوامل اقلیمی تأثیر زیادی بر تنوع زیستی گونه‌ها در استان زنجان دارد. اصولاً کشاورزی بیش از سایر فعالیت‌های بشر تحت تأثیر اقلیم قرار می‌گیرد (Gregory et al., 2005). بدون تردید درجه حرارت مهم‌ترین عامل محیطی کنترل‌کننده بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان از جمله فتوسنتز و تنفس بوده و بعلاوه نمو گیاهان که اصلی‌ترین مرحله آن گل‌دهی می‌باشد نیز توسط درجه حرارت محیط تنظیم می‌شود (Atkinson & Porter, 1996). به این ترتیب افزایش درجه حرارت الگوهای گل‌دهی گیاهان را به شدت تحت تأثیر قرار خواهد داد (Bradley et al., 1999; Menzel, 2000). این تأثیر در مورد بسیاری از گونه‌های گیاهی مورد مطالعه قرار گرفته و به تأیید رسیده است (Fulu et al., 2006). به همین دلیل در سال‌های اخیر محققین مختلف مطالعات وسیعی را به منظور کمی کردن این ارتباط آغاز کرده‌اند، تا از این طریق بتوان با پیش‌بینی درجه حرارت‌های آینده در مقیاس منطقه‌ای، مراحل فنولوژیکی گیاه را تعیین نمودند.

بارش و رطوبت نیز در عملکرد گیاه زرع تأثیرگذار هستند، به طوری که فرآیندهای گیاهی که به افزایش حجم سلول‌ها (فشار تورمی) وابسته هستند، حساسیت بیشتری به کمبود آب دارند. دو



شکل ۱- RDA شاخص‌های تنوع زیستی زراعی استان زنجان در ارتباط با عوامل اقلیمی

Fig. 1- RDA of agronomical biodiversity indicators of Zanzan province in relation to climatic factors
 Humidity: رطوبت، Rain: بارش، T_{mean}: Mean temperature، T_{min}: Min temperature، T_{max}: Max temperature، Species richness: تنوع (غنا) گونه‌ای، Simpson: شاخص یکنواختی، Shannon: شاخص شانون، Evenness: شاخص یکنواختی، Berger-parker: شاخص برگر- پارکر، Simpson: شاخص سیمپسون



شکل ۲- RDA شاخص‌های تنوع زیستی باغی استان زنجان در ارتباط با عوامل اقلیمی

Fig. 2- RDA of horticultural biodiversity indicators of Zanzan province in relation to climatic factors
 Humidity: رطوبت، Rain: بارش، T_{mean}: Mean temperature، T_{min}: Min temperature، T_{max}: Max temperature، Species richness: تنوع (غنا) گونه‌ای، Simpson: شاخص یکنواختی، Shannon: شاخص شانون، Evenness: شاخص یکنواختی، Berger-parker: شاخص برگر- پارکر، Simpson: شاخص سیمپسون

تحلیل اقتصادی

نتایج بررسی‌های اقتصادی بیانگر این نکته است که مزیت نسبی بخش کشاورزی در استان زنجان بیش از یک است. این عدد در بخش زراعت و باغبانی در سال ۱۳۹۳ حدود ۲/۱۲ گزارش شده است که نشان می‌دهد بخش کشاورزی در این استان از مزیت نسبی برخوردار است. از طرفی، ارزش افزوده بخش کشاورزی در سال ذکر شده، حدود ۲۶/۵ درصد از کل محصول ناخالص داخلی بدون نفت این استان را شامل شد. با در نظر گرفتن اشتغال ۸۸۱۵۸ نفر در بخش کشاورزی (Organization of Plan & Budget, 2017)، توجه بیشتر به پایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی، حفظ اراضی کشاورزی و حفاظت از منابع پایه از جمله تنوع زیستی کشاورزی در استان زنجان پیشنهاد می‌گردد.

نتیجه‌گیری

به طور کلی، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تعداد کل گونه، که ساده‌ترین شاخص در ارزیابی میزان تنوع در یک منطقه است، در شهرستان‌های طارم، خرمدره، ماه‌نشان و ابجرود استان زنجان بالا است و تقریباً اکثر محصولات باغی و زراعی اعم از گوجه‌فرنگی، طالبی، سیر، پیاز، خربزه، نخودفرنگی، هندوانه، گندم دیم، سیب‌زمینی، یونجه آبی، یونجه دیم، باقلا و برنج در این شهرستان‌ها کشت می‌شوند. با این حال علی‌رغم بالا بودن تعداد کل گونه در این شهرستان‌ها، شاخص یکنواختی در این شهرستان‌ها کمتر از حد متوسط است. افزون بر این، تغییرات سطح زیر کشت به‌تنهایی مبنایی برای بالا یا پایین بودن تنوع زیستی محصولات در یک منطقه نمی‌باشد. به‌طور مثال، علی‌رغم پایین بودن سطح زیر کشت محصولات

زراعی در شهرستان سلطانیه و محصولات باغی در شهرستان ماه‌نشان، به‌ترتیب ۱۸ و هفت گونه در این شهرستان کشت می‌شود. نتایج نشان داد که در شهرستان‌هایی که شاخص یکنواختی بالا است، شاخص شانون نیز به حداکثر میزان می‌رسد (مانند شهرستان‌های طارم، ماه‌نشان و ابجرود).

اقلیم را می‌توان به‌عنوان یک عامل تعیین‌کننده اصلی در تولید محصولات کشاورزی در نظر داشت، به‌طوری‌که هر یک از متغیرهای آب‌وهوایی به‌طور مستقیم بر عملکرد محصولات اثر می‌گذارند. همچنین تنوع گونه‌ای نیز ارتباط زیادی با عوامل اقلیمی و به‌خصوص بارندگی و رطوبت نسبی دارد، به‌طوری‌که در نقاطی از استان زنجان که شرایط اقلیمی مساعدتر و حاصلخیزی خاک بیشتر است، تعداد گونه کاشته شده بیشتر بوده و سطح زیر کشت نیز از توزیع یکنواخت-تری برخوردار بود. از نظر شاخص تشابه سورنسون شهرستان‌های ابهر و ابجرود و شهرستان‌های ماه‌نشان و زنجان به‌ترتیب در محصولات زراعی و باغی بیشترین تشابه را دارا بودند. اصولاً حفظ تنوع زیستی کشاورزی پیش‌شرط نیل به کشت بوم‌های پایدار در این استان است. در گذشته تنوع زیادی از گونه‌ها، ژنوتیپ‌ها و ارقام در نظام‌های زراعی به‌کار برده می‌شد و این موضوع عامل ثبات و پایداری بوم‌نظام‌ها زراعی بود. اما امروزه با ساده‌سازی کشت بوم‌ها، این سامانه‌های تولیدی کاملاً آسیب‌پذیر و وابسته شده‌اند. بر این اساس نتایج این تحقیق می‌تواند در برنامه‌ریزی کشاورزی، تدوین الگوی کشت و توسعه نظام‌های کشاورزی پایدار در استان زنجان مورد استفاده قرار گیرد.

References

1. Atkinson, D., and Porter, J.R., 1996. Temperature, plant development and crop yields. Trends in Plant Sciences 4: 119-124.
2. Blackshaw, R.E., Larney, F.J., Lindwall, C.W., Watson, P.R., and Derksen, D.A., 2001. Tillage intensity and crop rotation affect weed community dynamics in a winter wheat cropping system. Journal of Plant Science 81: 805-813.
3. Bradley, N.L., Leopold, A.C., Ross, J., and Huffaker, W., 1999. Phenological changes reflect climate change in Wisconsin. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 96: 9701-9704.
4. Brookfield, H., and Padoch, C., 1994. Appreciating agrobiodiversity: A look at the dynamism and diversity of indigenous farming practices. Agriculture, Ecosystems and Environment 36: 7-45.
5. Chmielewski, F.M., Müller, A., and Bruns, E., 2003. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and

- field crops in Germany, 1961–2000. *Agricultural and Forest Meteorology* 117: 112–123.
6. Chao, A., Li, P.C., Agatha, S., and Foissner, W.A., 2006. A Statistical approach to estimate soil ciliate diversity and distribution based on data from five continents. *Oikos Journal* 114: 479–493.
7. Ejtehadi, H., Sepehri, A., and Akkafi, H.R., 2008. Biodiversity measurement methods. Mashhad Ferdowsi University Press, Iran. 228 pages. (In Persian)
8. Ellis, R.H., Hadley, P., Roberts, E.H., and Summerfield, R.J., 1990. Quantitative relations between temperature, crop development and growth. In: M.T. Jackson, B.V. Ford-Lloyd and M.L. Parry (Eds.), *Climate change and plant genetic resources*. Belhaven Press, London, UK, p. 85–115.
9. Emadi, A.R., 2009. Water, plant and effects of water deficit on some physiological traits and plant behaviors (Case study: wheat). National Conference on Water Crisis Management, Islamic Azad University, Marvdasht Branch, Iran, March 2009. p. 1–13. (In Persian)
10. FAO., 1999. Report: Sustaining Agricultural Biodiversity and Agro-ecosystem Function. FAO, Rome Italy.
11. Fulu, T., Masayuki, Y., Yinlong, X., Yousay, H., and Zhao, Z., 2006. Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981–2000. *Agricultural and Forrester Meteorology* 138: 82–92.
12. Gliessman, S., 1992. Agroecology in the tropics: achieving a balance between land use and preservation. *Environmental Management* 16: 681– 689.
13. Goldani, M., Bannayan, M., and Naderi, M.R., 2017. Stratification of Isfahan province regarding crop plants biodiversity during 2003–2012. *Plant Research Journal* 30(1): 1–18. (In Persian with English Summary)
14. Gregory, P.J., Ingram, J.S.I., and Brklacich, M., 2005. Climate change and food security. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 360: 2139–2148.
15. Hawksworth, D.L., 1995. Biodiversity- Measurement and Estimation. Chapman and Hall, London.
16. Kamkar, B., Bagherani Terhiz, N., and Razavi, S.A., 2014. Health evaluation of wheat cultivating systems in Ghareh Souh (Gorgan) based on weed diversity, yield and consumption of pesticides. *Journal of Plant Production Research* 21: 97–115. (In Persian with English Summary)
17. Karen, R., Hickman, S., David, C., Hartnett, D., Robert, C., Cochran, F., and Clenton, E., 2004. Grazing management effects on plant species diversity in tallgrass prairie. *Journal Range Management* 57:58–65.
18. Kawa, N.C., Rodrigues, T., and Clement, C.R., 2011. Useful species richness, proportion of exotic species, and market orientation on Amazonian dark earths and oxisols. *Economic Botany* 65: 169–177.
19. Koocheki, A., 2005. Biodiversity of crops. *Letter to the Academy of Sciences* 95–130.
20. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Zare Feyzabadi, A., and Jahanbeen, M., 2003a. Evaluation of diversity of Iranian agricultural regimes. *Journal of Research and Development* 63: 70–83. (In Persian with English Summary)
21. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Najafi, F., 2003 b. Biodiversity of medicinal and aromatic plants in Iranian indigenous cultivars. *Iranian Journal of Crop Research* 2: 208–216. (In Persian with English Summary)
22. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Zare Feyzabadi, A., and Jahanbeen, M., 2003 c. Variety of crop varieties in Iran. *Desert* 9: 49–67.
23. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Hasanzade Aval, F., Mansori, H., Amiri, S.R., Zarghani, H., and Karimian, M., 2013. Evaluation of biodiversity of vegetables in Iranian indigenous cultivars. *Applied Ecology* 4: 97–109.
24. Koocheki, A., Deyhim Fard, R., Mirzaii Talarposhti, R., and Kheirkhah, M., 2014. Biodiversity of fruit trees in country with emphasis on the cities of Khorasan province. *Iranian Journal of Field Crops Research* 12(2): 170–177. (In Persian with English Summary)
25. Makhdom, M., 2004. *Ecological Economics of Biodiversity*. University of Tehran Press. Tehran, Iran. 175 pages. (In Persian)
26. Magurran, A.E., 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. London: Croom Helm.
27. Meng, E., Smale, C., Rozelle, S., Ruifa, H., Nad, H., and Hnag, H., 1999. The cost of wheat diversity in China. American Agriculture Economics Association. Annual Meeting 8–11. Nashville, Tennessee Available online at: <http://agecon.lib.umn.edu/naea99/spqqmeol.pdf>.
28. Menzel, A., 2000. Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996. *International Journal of Biometeorology* 44: 76–81.
29. Moradi, R., and Sami, M., 2014. Biodiversity study of crops, gardens and livestock in Kerman province. *Journal of Agroecology* 6(3): 656–667. (In Persian with English Summary)
30. Naeem, S., and Li, S., 1995. Biodiversity enhances ecosystem reliability. *Nature* 390: 505–509.

31. Nagendra, H., 2002. Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity. *Applied Geography* 22: 175–186.
32. Nassiri Mahallati, M., Kochehi, A., Rezvani, P., and Beheshti, A., 2000. *Agro-ecology*. Ferdowsi University of Mashhad Press. Mashhad, Iran. 459 pages. (In Persian)
33. Nasiri Mahallati, M., Little, A.S., and Mazaheri, D., 1384. Variety of crop species in Iran. *Desert* 10: 33-50.
34. Nassiri Mahallati, M., Koochehi, A.R., Tavakkoli Kakhki, H.R., and Soltani, M., 2017. Agrobiodiversity indices for three cucurbit crops species in Khorasan-Razavi province. *Journal of Agroecology* 9(1): 1-14. (In Persian with English Summary)
35. Organization of Plan and Budget. 2017. Economic, social and cultural report of Zanjan province in 2015 year. Publications of the National Plan and Budget Organization. 204 pages.
36. Oldfield, M.L., and Alcorn, J.B., 1987. Conservation of traditional agroecosystems. *Bioscience* 37: 199-208.
37. Parks, T.H., Jeffree, E.P., and Jeffree, C.E., 2000. An examination of the relationship between flowering times and temperature at the national scale using long-term phenological records from the UK. *International Journal of Biometeorology* 44: 82–87.
38. Parry, M., Rosenzweig, C., Inglesias, A., Livermore, M., and Gischer, G., 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global and Environmental Change* 14: 53–67.
39. Pimentel, D., Stachow, U., Takacs, D.A., Brubaker, H.W., Dumas, A.R., Meaney, J.J., O'Neil, J.A.S., Onsi, D.E., and Corzilius, D.B., 1992. Conserving biological diversity in agricultural / forestry systems. *Bioscience* 42: 354-362.
40. Pourbabaie, H., Heidari, M., Begim Faghir, M., and Naghilou, M., 2012. Evaluation of biodiversity and enrichment of under-mesh vegetation in relation to soil physics and chemistry and topography in Anatolian oak of Asalem forest, Guilan. *Quarterly Journal of Plant and Ecosystem* 8(31): 15-26.
41. Pourghasemian, N., and Moradi, R., 2016. Assessing biodiversity of agronomical and horticultural productions of Isfahan province. *Journal of Agroecology* 8(2): 212-226. (In Persian with English Summary)
42. Rajabi, M., 2014. Assessment of plant biodiversity in agroecosystems of Birjand and Tabas townships. M.Sc. Thesis in Agroecology, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran. (In Persian with English Summary)
43. Ravanbakhsh, M., Ejtehad, H., Poorbabaie, H., and Ghoreishi Alhosseini, J., 2006. Investigating the diversity of plant species of Golsome Talesh forest reserve in Guilan province. *Iranian Journal of Biology* 3: 218-229. (In Persian with English Summary)
44. Stocking, M., 1999. Agrobiodiversity: A positive means of addressing land degradation and suitable rural livelihoods. In: Conacher, A.J., (Ed.), *Land Degradation*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers p. 1-16.
45. Stocking, M., 2001. Agrobiodiversity: A positive means of addressing land degradation and sustainable rural livelihoods. In: Conacher, A.J., (Ed.), *Land Degradation*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p. 1-16.
46. Swift, M.J., and Anderson, J.M., 1993. Biodiversity and ecosystem function in agroecosystems. In: Schultze, E., Mooney, H.A., (Eds.). *Biodiversity and Ecosystem Function*, Springer New York p. 57-83.
47. Ye, X.J., Wang, Z.Q., and Li, Q.S., 2002. The ecological agriculture movement in modern China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 92: 261–281.
48. Zare Chahooki, M., Jafari, M., and Azarnivand, H., 2007. Investigating the relationship between species diversity and environmental factors in Poshtkouh rangelands of Yazd province. *Research and Construction in Natural Resources* 78: 193-199.
49. Zhu, Y., Wang, Y., Chen, H., and Lu, B., 2003. Conserving traditional rice varieties through management for crop diversity. *Bioscience* 53: 158–162.



Diversity Assessment of Crop and Horticultural Products in Zanjan Province

H. Kazemi^{1*}, S. Bakhshande Larimi², S. Gholikhani³ and G.A. Rassam⁴

Submitted: 07-12-2017

Accepted: 07-06-2018

Kazemi, H., Bakhshande Larimi, S., Gholikhani, S., and Rassam, G., 2020. Diversity assessment of crop and horticultural products in Zanjan province. *Journal of Agroecology*. 12(2):179-193.

Introduction

Modern agricultural systems have adverse effects on environmental aspects of production and ecosystem health. Loss of biodiversity due to monoculture is one of these adverse consequences. Biodiversity and agriculture are strongly interrelated. While biodiversity is critical for agriculture, sustainable use of biodiversity corresponds to agricultural structure and function, and thus is an indicator for farming practices. Indeed, biodiversity is considered as a vital component of sustainable agriculture from the food security, nutrition, and livelihoods viewpoints. Agricultural expansion and intensification led to biodiversity loss in agroecosystems and reduction in the types and levels of ecosystem services (ES) that people benefit from. Considering the importance of biodiversity in sustainable agricultural systems and variability of agroecosystems in Zanjan province, the goal of this study was biodiversity assessment of crop and horticultural products in this province.

Materials and Methods

Agrobiodiversity research, of Zanjan province was evaluated at the county level and it was classified to two groups; agronomy and horticulture. For this purpose necessary data for assessment of biodiversity indices, including cropping area and types of crop and horticultural species for eight county in Zanjan province were obtained from Jihad Agriculture Management of these counties, statistics and information center, statistical report of Jihad Agriculture Ministry, and interviews with experts, managers and farmers during 2016. All crude data entered to excel program and then, some biodiversity such as Shannon, Simpson, Berger-Parker, Sorenson's similarity, uniformity, total number of species and the total number of individuals in all species were calculated according to their equations. Data analysis was performed by Excel var. 2010 and Canoco softwares.

Results and Discussion

The results showed that the highest and lowest values of Shannon index were calculated in Khoramdarah (2.14) and Khodabandeh (0.87) counties in crop products section, respectively. Also, in the garden products section, the highest and lowest amounts of this index were related to the Tarom (0.99) and Khoramdar (0.62) counties, respectively. In terms of Simpson's index, the highest amount was obtained in Khoramdar county for crop products section (0.83) and Tarom county (0.81) for horticultural products section. The Berger-Parker index had the highest value in Khodabandeh (0.80) and Khoramdarah (0.79) counties related to crops and horticultural products, respectively. According to the Sorenson similarity index for crops products, the highest similarity was found between Abajrood and Abhar, also, the highest level of similarity was found between Zanjan and Mahneshan for garden section. In assessment of the biodiversity indicators with the climatic condition of the Zanjan province, it was determined that in crops products, the biodiversity affected by precipitation and relative humidity, but in the horticultural products, it was strongly influenced by the minimum temperature and relative humidity. The variability of Shannon and Simpson were related to relative humidity, minimum, maximum and average annual temperatures in crops production section, but, these indicators were more related to maximum and average annual temperatures in garden products section. The results of this study indicated that biodiversity

1, 2 and 3- Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Ph.D. Student of agronomy and B.Sc. student, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASNR), Gorgan, Iran, respectively.

4- Assistant Professor of Shirvan Higher Education Complex, Shirvan, Iran.

(*- Corresponding Author Email: hkazemi@gau.ac.ir)

Doi:10.22067/jag.v12i2.69227

indices for some townships were not favorable in Zanjan province.

Conclusion

The diagram of the analysis redundancy (RDA) showed that the most biodiversity indicators were more correlated with maximum temperature and relative humidity among crops and gardens products. These results indicated that biodiversity has decreased in many regions and it was reached to lowest value. From this viewpoint, we have to understand the ability of biodiversity to support ecosystems such as agroecosystems and sustainable agriculture ecosystem by providing numerous services. Therefore, educating and encouraging farmers to use of crops types can improve the biodiversity services for suitability of agricultural systems in Zanjan province.

Acknowledgements

We are thankful to Jihad Agriculture organization of Zanjan province, and Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASNR) for all their companions and supports.

Keywords: Ecosystems, Shannon indices, Species richness, Species uniformity



مقاله علمی - پژوهشی

اثر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر صفات کمی و کیفی علوفه ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica* L.) رقم باستان در شرایط آب و هوایی سیستان

محمدعلی کریمیان^{۱*} و محمد فروزنده^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۳۱

کریمیان، م.ع.، و فروزنده، م.، ۱۳۹۹. اثر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر صفات کمی و کیفی علوفه ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica* L.) رقم باستان در شرایط آب و هوایی سیستان. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۲(۲): ۱۹۵-۲۰۹.

چکیده

کاهش مقدار آب قابل دسترس گیاه منجر به تنش خشکی و بروز تغییرات نامناسب مورفولوژیک و فیزیولوژیک در گیاه می‌شود. ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica* L.) در مناطق گرمسیر به مقدار زیاد کشت می‌گردد. به منظور بررسی اثر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر صفات کمی و کیفی علوفه ارزن دم‌روباهی رقم باستان در شرایط آب‌وهوایی سیستان، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشگاه کشاورزی دانشگاه زابل در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح آبیاری به عنوان عامل اصلی (۴۵، ۶۵ و ۸۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی مزرعه) و عامل فرعی مقادیر سالیسیلیک اسید در چهار سطح (۰، ۷۵، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار) به صورت محلول‌پاشی لحاظ گردید. مقدار آب مصرفی در ۱۰۰ درصد آبیاری برابر با ۶۶۲/۴ لیتر در مترمربع بود. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد علوفه خشک، قابلیت هضم ماده خشک، کربوهیدرات محلول در آب، پروتئین خام، فیبر خام، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و خاکستر بودند. با توجه به مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها، حداکثر عملکرد علوفه خشک (۱۲/۳۴ تن در هکتار) و قابلیت هضم ماده خشک (۶۸/۸۵٪) از تیمارهای آبیاری کامل و کاربرد ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید حاصل شد. بالاترین کربوهیدرات محلول در آب (۱۳/۸۱٪) و پروتئین خام (۱۸/۹۳٪) به ترتیب از تنش شدید $\times$ ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و شاهد $\times$ ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید حاصل گردید. بیشترین الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (۴۱/۳۱٪)، الیاف نامحلول در شوینده خنثی (۸۱/۵۱٪) و کمترین فیبر خام (۲۳/۵٪) در شرایط تنش خشکی شدید و بدون سالیسیلیک اسید به دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید اثرات منفی تنش خشکی را کاهش داده و می‌تواند در بالا بردن کیفیت علوفه ارزن در منطقه سیستان و شرایط مشابه مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، پروتئین خام، تنظیم‌کننده رشد، رژیم‌های آبیاری، قابلیت هضم ماده خشک

مقدمه

(Sabaghpour, 2003). خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که اثر محدودکننده‌ای بر تولید بسیاری از گیاهان، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارد (Reddy et al., 2004). کمبود آب، رشد و عملکرد را از طریق کاهش فشار تورژسانس سلولی و در نتیجه کاهش سطح برگ و فتوسنتز آن کاهش می‌دهد. Kafi et al., (2009). از آن‌جا که روزنه‌ها به عنوان تنظیم‌کننده تبادل CO_2 و نیز محل خروج بخار آب عمل می‌کنند، بسته شدن روزنه‌ها علت اولیه کاهش فتوسنتز در شرایط محدودیت رطوبت است (Hopkins & Huner, 2004).

کم بودن منابع آب شیرین از یک طرف و افزایش جمعیت از طرف دیگر نیاز به استفاده مؤثرتر از آب برای افزایش عملکرد را اجتناب ناپذیر می‌سازد (Debaeke & Aboudrare, 2004). کاهش مقدار آب قابل دسترس گیاه منجر به تنش خشکی و بروز تغییرات نامناسب مورفولوژیک و فیزیولوژیک در گیاه می‌شود.

^۱ - مربی پژوهشگاه کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران.

(*) - نویسنده مسئول: (Email: Mohammadkarimian1350@gmail.com)

Doi: 10.22067/jag.v12i2.79369

ارزن دمروباهی (*Setaria italica* L.) دارای دانه‌های خیلی ریز بوده که در بین غلات به غله دانه‌ریز معروف است (Safari, 2007). رشد سریع، قابلیت تطابق بالا در نواحی گرمسیری، مقاومت نسبی به خشکی و شوری، درصد پروتئین بالا، پر برگی و خوش‌خوراکی، عدم وجود اسید پروسیک، عملکرد مطلوب علوفه آن و قابلیت کشت در مناطق مختلف برای تولید علوفه سبز آن را به‌عنوان یک گیاه علوفه-ای ایده‌آل برای کشت در نواحی گرم و خشک مطرح کرده است (Fribourg, 1995).

از روش‌های فیزیولوژیک که در سال‌های اخیر برای تخفیف تنش‌های محیطی روی گیاهان مختلف استفاده شده است کاربرد خارجی مواد تخفیف‌دهنده تنش است (Yuan & Lin, 2008). سالیسیلیک اسید یکی از مولکول‌های پیام‌رسان مهم است و باعث عکس‌العمل گیاه در برابر تنش‌های محیطی می‌شود و همانند یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی نقش مهمی را در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیک در گیاه ایفا می‌کند (Arfan et al., 2007). سالیسیلیک اسید قابل حل در آب بوده و یک ترکیب آنتی‌اکسیدانی و از جمله هورمون‌های گیاهی است که نقش مهمی در پاسخ گیاه به تنش‌های غیرزنده مانند خشکی، سرما، فلزات سنگین سمی، گرما و تنش اسمزی دارد (Yuan & Lin, 2008). کاربرد خارجی سالیسیلیک اسید می‌تواند در فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه مانند بسته شدن روزنه-ها، جذب و انتقال یون‌ها (Gunes et al., 2005)، یک‌پارچگی غشا (Khan et al., 2003)، و رشد و فتوسنتز (Nemeth et al., 2002) نقش داشته باشد. در تحقیقی روی عملکرد علوفه‌ای سورگوم محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و سولفات روی بیشترین میزان قند محلول مربوط به شرایط اعمال کم‌آبی شدید بود (Karimi et al., 2016) در مجموع، افزایش قندهای محلول در زمان تنش را می‌توان به‌علت توقف رشد یا سنتز این ترکیبات از مسیرهای غیرفتوسنتزی و همچنین تخریب قندهای نامحلول که باعث افزایش قندهای محلول نیز می‌شود بیان کرد (Draikewicz, 1994).

کمبود آب اثرات زیادی روی تشکیل ماده خشک برگ‌ها و خوشه-ها دارد، هنگامی که گیاه در معرض تنش کم‌آبی قرار می‌گیرد، تجزیه پروتئین‌ها و در نتیجه، افزایش اسیدهای آمینه و آمیدها تسریع می‌شود (Bajii et al., 2001). یکی از این اسیدهای آمینه پرولین است (Barker et al., 1993) که به‌عنوان محافظ اسمزی خاصیت

پاداکسندگی در شرایط تنش دارد (KaviKishor & Sreenivasulu, 2014) سالیسیلیک اسید موجب القای تجمع پرولین در گیاهچه‌های گندم در شرایط تنش و در نتیجه، باعث کاهش تأثیر زیان‌آور تنش شوری و کم‌آبی بر گیاهچه‌ها شد (Shakirova et al., 2005). استفاده از سالیسیلیک اسید در گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) میزان فتوسنتز (Hamada & Al-Hakimi, 2001)، پروتئین و قند شاخساره و ریشه (Mohamed & Ahmed, 2010) و کلروفیل برگ (Singh & Usha, 2003) را تحت شرایط تنش خشکی افزایش داد. علاوه‌براین، کاربرد سالیسیلیک اسید باعث افزایش میزان رشد شاخساره گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) (Pancheva et al., 1996) و میزان تجمع لیگنین در دیواره سلولی را افزایش می‌دهد (Al-Hakimi, 2008). تیمار گوجه‌فرنگی (*Lycopersicum esculentum* cv. Roma) و تاج‌خروس با سالیسیلیک اسید در مراحل مختلف رشد در طی تنش خشکی از کاهش ماده خشک تولیدی گیاه جلوگیری می‌کند (Umebese et al., 2009). در نتیجه، تیمار گیاه کلزا (*Brassica juncea* L.) با سالیسیلیک اسید قبل از اعمال استرس خشکی، اثرات مخرب کمبود آب بر غشای سلول‌های برگ کاهش می‌یابد (Fariduddin et al., 2003). در گیاه جو، گیاهانی که تحت تنش خشکی با سالیسیلیک اسید تیمار شده بودند در مقایسه با گیاهانی که با سالیسیلیک اسید تیمار نشده بودند، وزن خشک و محتوای نسبی آب بیشتری را نشان دادند (Habibi, 2012) درصد دیواره سلولی عاری از همی‌سلولز در آزمایشی روی سورگوم تحت شرایط دیم و تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری کاهش یافت (Raei et al., 2013). در سورگوم علوفه‌ای بیشترین دیواره سلولی عاری از همی‌سلولز مربوط به تیمار شاهد و کمترین با محلول‌پاشی اوره، سوپرفسفات تریپل و فسفات بارور ۲ به‌دست آمد (Eshaghi Sardrood et al., 2014)، با عنایت به اهمیت علوفه و دانه ارزن دمروباهی در تغذیه دام‌ها، کمبود آب که یک مسئله جدی منطقه است و نقش سالیسیلیک اسید در افزایش تحمل و بهبود رشد گیاهان، مطالعه حاضر به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر صفات کمی و کیفی علوفه ارزن دمروباهی رقم باستان در شرایط آب‌وهوایی سیستان اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت کرت‌های خرد شده و در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی در سه تکرار در پژوهشکده کشاورزی دانشگاه

زابل (واقع در ۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۴۸۱ متر از سطح دریا) در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. خاک محل آزمایش دارای بافت لوم شنی و pH آن برابر با ۷/۸ بود (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (عمق ۳۰-۰ سانتی متری)
Table 1- Physical and chemical properties of the soil (depth 0-30 cm)

بافت Texture	ماده آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	نیترژن کل Total N (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل دسترس Available P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم قابل دسترس Available K (mg.kg ⁻¹)	اسیدیته pH
لوم-شنی Sandy-loam	0.85	1.7	0.14	8.53	210.25	7.8

UK انجام شد. عملیات وجین دستی علف‌های هرز پنجه‌مرغی، پیچک و خارشتر در مرحله سه تا چهار برگی ارزن انجام شد. محلول-پاشی سالیسیلیک اسید در مرحله پنج تا شش برگی انجام و برای اطمینان از اثر بخشی آن به صورت متوالی، دو مرتبه با فاصله زمانی سه روز صورت گرفت (Karimi et al., 2016). در زمان گل‌دهی ارزن (هشتم تیر ماه ۱۳۹۶) و بعد از حذف اثر حاشیه‌ای، نمونه‌برداری از دو ردیف وسط کرت در سطح یک مترمربع انجام شد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۴ درجه سانتی-گراد در آون خشک و وزن خشک با ترازوی AND (۰/۰۱ گرم) ساخت کشور ژاپن اندازه‌گیری گردید. سپس نمونه‌ها آسیاب شده و ۱۰۰ گرم از آن برای اندازه‌گیری ویژگی‌های کیفی علوفه شامل قابلیت هضم ماده خشک (DMD)^۳، کربوهیدرات محلول در آب (WSC)^۴، پروتئین خام (CP)^۵، فیبر خام (CF)^۶، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)^۷، الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF)^۸ و خاکستر (Ash) با استفاده از دستگاه NIR^۹ مدل INFRAMATIC 8620 ساخت کشور سوئد تعیین شد. جزئیات روش‌های اندازه‌گیری صفات توسط جعفری و همکاران (Jafari et al., 2003) و انجمن شیمی دانان رسمی تحلیلی (Chemists (AOAC) Association of Official Analytical (1999) توضیح داده شده است. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین-ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام

ابعاد کرت‌های اصلی ۳×۱۴ متر، کرت‌های فرعی ۳×۳ متر، فاصله بین ردیف‌های کشت ۵۰ سانتی متر، فاصله بوته‌ها روی ردیف کشت شش سانتی متر، فاصله بین تکرارها دو متر، بین کرت‌های اصلی یک متر و فاصله بین کرت‌های فرعی ۵۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. تراکم ۳۳۳۳۳ بوته در هکتار بود (Haji Hasani Asl et al., 2010). بذر از جهاد کشاورزی شهرستان بیرجند تهیه گردید. هر کرت فرعی شامل شش ردیف کاشت بود. عامل اصلی آبیاری در سه سطح (۴۵، ۶۵ و ۸۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی مزرعه)^۱ و عامل فرعی غلظت‌های سالیسیلیک اسید در چهار سطح (۰، ۰/۷۵، ۱/۵ و ۳ میلی مولار) بود. کودهای شیمیایی براساس آزمون خاک، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل (قبل از کاشت) و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم (قبل از کاشت) و ۷۵ کیلوگرم به صورت سرک در مرحله ساقه رفتن) انجام شد. بذر با قارچ کش تیرام با نسبت دو در ۱۰۰۰ ضد عفونی و کشت به صورت خشکه کاری در تاریخ ششم اردیبهشت ماه انجام و سپس آبیاری کرتی تا استقرار کامل گیاه با فاصله سه روز یک بار صورت گرفت. رطوبت در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی به ترتیب ۲۸/۵ و ۱۱/۵ درصد حجمی خاک تعیین گردید. تفاضل رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و رطوبت نقطه پژمردگی، به عنوان رطوبت قابل دسترس در نظر گرفته شد. هر روز درصد حجمی رطوبت خاک تعیین شد و زمان آبیاری تیمارهای مختلف به دست آمد. آبیاری هر کرت پس از رسیدن رطوبت به ۴۵، ۶۵ و ۸۵ درصد ظرفیت زراعی با تانکر انجام شد. اندازه‌گیری رطوبت با دستگاه رطوبت‌سنج TDR^۲ مدل دلتا تی (Delta-T Devices Ltd)

3- Dry Matter Digestibility
4- Water Soluble Carbohydrate
5- Crude Protein
6- Crude Fiber
7-Acid Detergent Fiber
8- Neutral Detergent Fiber
9- Near-infrared spectroscopy

1- Field Capacity
2- Time domain reflectometry

رشد در طی تنش خشکی از کاهش ماده خشک تولیدی گیاه جلوگیری می‌کند (Umebese et al., 2009).

نتایج و بحث

عملکرد علوفه خشک

تیمار تنش خشکی و برهم‌کنش تنش خشکی و سالیسیلیک اسید در سطح یک درصد و سالیسیلیک اسید در سطح پنج درصد بر عملکرد علوفه خشک معنی‌داری بود (جدول ۲). با توجه به مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی و سالیسیلیک اسید، بیشترین عملکرد علوفه خشک (۱۲/۳۴ تن در هکتار) در شرایط بدون تنش و کاربرد ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و کمترین آن (۴/۳۱ تن در هکتار) در شرایط تنش شدید و عدم محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید به‌دست آمد (جدول ۳). تنش خشکی با تحت تأثیر قرار دادن شرایط فیزیولوژیکی گیاه، اعم از ظرفیت فتوسنتزی، وضعیت آبی گیاه، فعالیت آنزیم‌ها و میزان ذخیره کربوهیدرات‌ها رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Jaleel et al., 2007). محققان گزارش کرده‌اند که با کاهش آبیاری (تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) عملکرد علوفه خشک ارزن علوفه‌ای به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد (Sasani et al., 2004). گزارش شده است که تنش خشکی سبب کاهش ماده خشک گیاهی ذرت (*Zea mays* L.) گردید (Cakir, 2004). در تحقیق تأثیر کم‌آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد کمی بخش‌های هوایی ارزن علوفه‌ای در بیرجند، عملکرد علوفه خشک کل در اثر کم‌آبیاری از ۸/۹۴ به ۵/۳۴ تن در هکتار تقلیل پیدا کرد (Zabet et al., 2014). وزن خشک علوفه ذرت تحت شرایط خشکی تا ۲۱ درصد نسبت به شاهد کاهش داشته است (Mehrabian Moghaddam et al., 2011). سالیسیلیک اسید سطح و تعداد برگ در گیاهان تیمار شده را افزایش داده و از طریق افزایش کلروفیل و فعالیت آنزیم روبیسکو، میزان فتوسنتز کل گیاه را افزایش و باعث تجمع ماده خشک در گیاه می‌شود (Singh & Usha 2003). در گیاهان تحت تنش خشکی تیمار شده توسط سالیسیلیک اسید میزان جذب عناصری مانند N، P، K، Ca و Mg افزایش یافته و سالیسیلیک اسید می‌تواند از جذب بیش از حد آنیون‌های سمی مانند Na، Cl و Br در شرایط خشکی و شوری جلوگیری نماید (Eraslan et al., 2007). این افزایش در جذب عناصر غذایی و کاهش در جذب عناصر سمی می‌تواند عامل افزایش در رشد و در نتیجه، وزن شاخساره باشد. تیمار کردن گوجه‌فرنگی و تاج‌خروس با سالیسیلیک اسید در مراحل مختلف

قابلیت هضم ماده خشک (DMD)

از نظر آماری تیمار تنش خشکی، سالیسیلیک اسید و برهم‌کنش آن‌ها بر قابلیت هضم ماده خشک تأثیر معنی‌داری ($P \leq 0.01$) نشان داد (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی و سالیسیلیک اسید نشان داد که بیشترین قابلیت هضم ماده خشک در شرایط بدون تنش و کاربرد ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید (۶۸/۸۵٪) و کمترین آن (۳۱/۲۷٪) در شرایط تنش شدید و عدم محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید به‌دست آمد (جدول ۳). در تحقیق عملکرد علوفه‌ای سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) تحت شرایط کم‌آبی و محلول-پاشی سالیسیلیک اسید و سولفات روی بالاترین میزان قابلیت هضم علوفه مربوط به تیمار محلول‌پاشی سولفات روی ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر در تمام سطوح کم‌آبی بود و با محلول‌پاشی نیم میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بین سطوح کم‌آبی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (Karimi et al., 2016). در تحقیق اثر سطوح مختلف نیتروژن و زئولیت بر محتوای کلروفیل، کمیّت و کیفیت علوفه تاج‌خروس (*Amaranthus hypochondriacus* L.) تحت تنش کم‌آبیاری، ماده خشک قابل هضم علوفه تاج‌خروس کاهش یافت (Karami et al., 2018). علت پایین بودن ماده خشک قابل هضم در شرایط اعمال تنش خشکی را می‌توان ناشی از کاهش تعداد، سطح برگ و افزایش نسبت ساقه به برگ دانست که در نهایت، به افزایش مقادیر الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده-اسیدی منجر می‌شود. علوفه گیاهانی که در یک مرحله رویشی ولی در دو شرایط متفاوت حرارتی قرار گرفته‌اند با یک‌دیگر متفاوتند، در چنین شرایطی علوفه منطقه گرمسیری دارای الیاف بیشتری و هضم-پذیری و مقدار پروتئین خام کمتری است (Linn & Martin, 1993).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات کمی و کیفی علوفه ارزن دم‌رواهی رقم باستان تحت تأثیر سطوح تنش خشکی و سالیسیلیک اسید
Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for the effects of drought stress and salicylic acid on quantity and quality traits forage of foxtail millet Bastan

منابع تغییر Source of variations	درجه آزادی d.f	خشک عملکرد علوفه Dry forage yield	عملکرد علوفه خشک Dry matter digestibility	قابلیت هضم ماده خشک Dry matter digestibility	کربوهیدرات محلول در آب Water soluble carbohydrate	پروتئین خام Crude protein	فیبر خام Crude fiber	الیاف نامحلول در شونده اسیدی Acid detergent fiber	الیاف نامحلول در شونده خنثی Neutral detergent fiber	خاکستر Ash
تکرار Replication	2	0.928 ^{ns}	12.06 ^{ns}	1.850 ^{ns}	7.435 ^{ns}	0.360 ^{ns}	3.660 ^{ns}	2.423 ^{ns}	0.263 ^{ns}	
تنش خشکی Drought stress	2	25.223**	533.37**	26.401**	7.793**	3.181 ^{ns}	17.323**	183.746**	3.724*	
خطای اصلی Main error	4	0.674	3.971	1.489	2.182	1.932	3.081	5.096	0.875	
سالیسیلیک اسید Salicylic acid	3	2.062*	301.253**	32.985**	30.163**	15.103**	65.791**	255.590*	1.253 ^{ns}	
تنش خشکی × سالیسیلیک اسید Drought stress × Salicylic acid	6	15.157**	362.315**	8.895**	26.960**	36.044**	56.347**	42.769**	0.617 ^{ns}	
خطای فرعی Sub error	18	0.301	3.606	0.802	0.964	1.567	2.277	3.595	0.861	
ضریب تغییرات CV (%)	-	6.23	3.59	10.47	6.67	4.03	4.21	2.61	9.44	

ns, *and **: are non significant and significant at 5 and 1 probability levels, respectively.
ns و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی و سالیسیلیک اسید بر صفات کمی و کیفی علوفه ارزن دهریوهای رقم باستان

تنش خشکی Drought stress (%Field capacity)	سالیسیلیک اسید Salicylic acid (mM)	خشک Dry forage yield (t.ha ⁻¹)	عملکرد علوفه	ماده خشک Dry matter digestibility (%)	درصد قابلیت هضم	محلول در آب Water soluble carbohydrates (%)	درصد کربوهیدرات	درصد پروتئین خام Crude protein (%)	درصد فیبر Crude fiber (%)	درصد الیاف نامحلول Acid detergent fiber (%)	درصد الیاف نامحلول Neutral detergent fiber (%)	درصد خاکستر Ash (%)
85	شاهد	5.23 ^{hi*}		37.03 ^h		5.49 ^{fg}		12.2 ^{ef}	27.57 ^{fg}	38.22 ^b	76.56 ^{bc}	9.23 ^a
	Control											
	0.75	6.72 ^f		52.23 ^e		8.28 ^{cd}		15 ^{cd}	32.25 ^{cd}	34.23 ^{cd}	73.48 ^{cd}	9.65 ^a
	1.5	9.5 ^{cd}		60.67 ^{bc}		10.33 ^b		18.93 ^a	35.26 ^b	30.51 ^{fg}	67.03 ^f	10.15 ^a
65	3	12.34 ^a		68.85 ^a		2.7 ^h		9.4 ^{gh}	40.79 ^a	25.1 ⁱ	55.34 ⁱ	10.35 ^a
	شاهد	4.85 ^{hi}		34.24 ^{hi}		6.37 ^{ef}		11.59 ^f	25.33 ^{gh}	39.47 ^{ab}	78.83 ^{ab}	9.22 ^a
	Control											
	0.75	6.24 ^{fg}		47.08 ^f		8.67 ^{cd}		14.38 ^d	30.56 ^{de}	35.15 ^{cd}	75.24 ^c	9.47 ^a
45	1.5	8.98 ^d		58.38 ^{cd}		12.45 ^a		17.21 ^b	34.48 ^{bc}	31.21 ^{ef}	69.96 ^{ef}	9.97 ^a
	3	11.19 ^b		67.30 ^a		3.5 ^h		8.12 ^{hi}	38.43 ^a	26.33 ^{hi}	58.59 ^h	10.25 ^a
	شاهد	4.31 ⁱ		31.27 ⁱ		7.3 ^{de}		10.6 ^{fg}	23.5 ^h	41.31 ^a	81.51 ^a	8.8 ^a
	Control											
45	0.75	5.41 ^{gh}		41.5 ^g		9.05 ^{bc}		13.5 ^{de}	28.41 ^{ef}	36.82 ^{bc}	75.95 ^{bc}	9.25 ^a
	1.5	7.78 ^e		55.61 ^{de}		13.81 ^a		16.6 ^{bc}	33.29 ^{bc}	33.51 ^{de}	71.75 ^{de}	9.78 ^a
	3	10.08 ^c		63.59 ^b		4.28 ^{gh}		7.5 ⁱ	35.81 ^b	28.08 ^{gh}	62.21 ^g	10.23 ^a

* In each column, means with same letters are not significantly different based on Duncan's multiple range test ($\alpha=0.05$).
میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
SA: سالیسیلیک اسید

گیاهان جهت مقاومت بیشتر به شرایط دمایی و خشکی از بافت-های اسکلرانشیمی نسبت به بافت پارانشیمی جهت بقا استفاده می-نمایند و همین امر باعث کاهش قابلیت هضم ماده خشک می-گردد. در تحقیق اثر تنش خشکی و محلول پاشی آهن و روی بر ویژگی‌های کمی و کیفی دو گونه یونجه یک‌ساله (*Medicago scutellata* cv Comertial; *Medicago polymorpha* cv Serena) خشکی بر درصد ماده خشک قابلیت هضم علوفه معنی‌دار بود (Rashnoo et al., 2013). مطالعه ارزش غذایی اجزای مختلف گیاهی ذرت در مراحل مختلف بلوغ دانه نشان داد، هنگامی که رطوبت دانه‌ها از ۳۰ درصد به ۱۰ درصد کاهش می‌یابد، سهم ساقه در ماده خشک ۲۰ درصد افزایش یافته، در حالی که سهم گل‌آذین و برگ‌ها از ماده خشک به ترتیب ۴۱/۵ و ۴۴ درصد کاهش می‌یابد (Tolera & Sundstol, 1999). کمبود آب اثرات زیادی بر تشکیل ماده خشک برگ‌ها و خوشه‌ها دارد (Bajii et al., 2001). در تحقیق اثر تنش خشکی و محلول پاشی آهن و روی بر ویژگی‌های کمی و کیفی دو گونه یونجه یک‌ساله، تنش خشکی و محلول پاشی آهن و روی بر درصد ماده خشک قابلیت هضم علوفه معنی‌دار بود (Rashnoo et al., 2013).

کربوهیدرات محلول در آب (WSC)

اثر تنش خشکی، سالیسیلیک اسید و برهم‌کنش آن‌ها بر کربوهیدرات محلول در آب معنی‌دار ($P \leq 0.01$) بود (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی و سالیسیلیک اسید نشان داد که حداکثر کربوهیدرات محلول در آب مربوط به کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و در شرایط تنش شدید (۱۳/۸۱٪) و حداقل آن در شرایط عدم تنش خشکی و محلول پاشی ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید (۲/۷٪) بود (جدول ۳). از عوامل افزایش قندهای محلول می-توان افزایش آنزیم‌های تجزیه کننده قندهای غیر محلول مانند انورتاز و سوکروز سنتتاز و همچنین کاهش مصرف این قندها را مد نظر داشت (Verma & Dubey, 2001). تجمع قندهای محلول در شرایط تنش، به تنظیم اسمزی درون سلول کمک می‌کند و موجب حفظ و نگهداری مولکول‌های زیستی و غشاهای می‌شود، همچنین گیاه با افزایش قندهای محلول در شرایط تنش، علاوه بر حفظ پتانسیل اسمزی قادر خواهد بود تا ذخیره کربوهیدراتی خود را برای متابولیسم

پایه سلولی در حد بهینه نگه دارد (Dubey & Singh, 2003). افزایش قندها می‌تواند در اثر انباشتگی آن‌ها باشد، انباشتگی در برگ-ها می‌تواند به دلیل کاهش بارگیری آوند آبکش و کاهش ظرفیت انتقال آسمیلات‌ها و یا کاهش سرعت استفاده از آن‌ها در اندام‌های مخزن باشد (Alaoui - Sosse et al., 2004). گزارش‌های زیادی مبنی بر تأثیر کمبود آب از چند نوبت تا تنش‌های شدید، در رابطه با مختل شدن فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاهان و تغییر در متابولیسم کربوهیدرات‌ها، نیتروژن و نیز تغییر در ساختمان پروتئین‌ها و فعالیت آنزیم‌ها وجود دارد (Brar et al., 1990). افزایش قندهای محلول در آب و کربوهیدرات‌هایی با وزن مولکولی کم از سازوکارهای اساسی مقابله با تنش خشکی در گیاهان محسوب می‌شود (Torknejad, 1999). در تحقیق اثر تنش خشکی و سطوح مختلف کود پتاسیم بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه کوشیا (*Kochia scoparia* L.)، بیشترین میزان غلظت هیدرات کربن محلول در آب در ۹۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی (تنش شدید) به دست آمد (Karimian et al., 2014). در مطالعه‌ای که روی دو رقم ذرت انجام شد، غلظت قندهای محلول با اعمال تنش خشکی افزایش یافت (Mohammadkhani & Heidari, 2008). کاربرد سالیسیلیک اسید ممکن است مصرف متابولیک قندهای محلول را فعال نموده تا به وسیله آن، ساختارهای جدید سلولی را به منظور تحریک و تنظیم رشدنمو شکل دهد (Khodary, 2004). همچنین به نظر می‌رسد که تیمار سالیسیلیک اسید، سیستم آنزیمی هیدرولیزکننده پلی-ساکاریدها را مهار کرده یا به عبارت دیگر، سرعت تبدیل قندهای نامحلول به قندهای محلول را کاهش می‌دهد (Khodary, 2004). کاربرد سالیسیلیک اسید در شرایط شور باعث افزایش جزئی غلظت قند محلول و در سطح ۵۰۰ میکرومول باعث افزایش جزئی نشاسته شد و کاربرد سالیسیلیک اسید در محیط غیرشور باعث افزایش ناچیز قند محلول و کاهش ناچیز نشاسته گردید (Abedini & Habibi, 2018). در تحقیق اثر متقابل مس و سالیسیلیک اسید بر میزان کربوهیدرات‌های محلول، نامحلول، پرولین و فعالیت آنزیم کاتالاز دو رقم ماش (*Vigna radiata* L.)، برهم‌کنش بین تنش مس و سالیسیلیک اسید نشان داد که بیشترین میزان قند محلول در تیمار ۱/۵ (SA(5μM)+CuSO₄) با ۴۷ و ۱۶۵ درصد افزایش به دست آمد (Arefi et al., 2017).

پروتئین خام (CP)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بیانگر آن است که پروتئین خام تحت تأثیر تنش خشکی، سالیسیلیک اسید و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت ($P \leq 0.01$) (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی و سالیسیلیک اسید نشان داد که بیشترین پروتئین خام (۱۸/۹۳٪) در شرایط بدون تنش و کاربرد ۱/۵ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و کمترین آن (۷/۵٪) در شرایط تنش شدید و محلول‌پاشی ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید بود (جدول ۳). محققان بیان کرده‌اند که کاهش محتوای پروتئین تحت تنش خشکی در نتیجه واکنش پروتئین با رادیکال‌های آزاد و در نتیجه تغییر اسیدآمین، افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین و کاهش سنتز پروتئین است (Ranjan et al., 2001). کاهش پروتئین علوفه در شرایط تنش خشکی در گیاه ارزن، سورگوم و ذرت علوفه‌ای گزارش شده است (Haji Hasani et al., 2010). در تحقیق تأثیر کود آلی فسفره و کم‌آبیاری بر عملکرد ارقام ارزن علوفه‌ای، بیشترین میزان پروتئین خام در اندام هوایی در شرایط بدون تنش خشکی به‌دست آمد (Rahbari et al., 2014). بررسی اثرات کم‌آبیاری بر روند رشد و خصوصیات کمی و کیفی ذرت دانه‌ای در کرمانشاه نشان داد که عملکرد پروتئین (حاصل‌ضرب عملکرد دانه و درصد پروتئین دانه) در شرایط ۲۰ درصد بیش آبیاری به‌دست آمد (Ahmadpour et al., 2017). سالیسیلیک اسید با تأثیر بر آنزیم کاتالاز، تنظیم‌کننده‌های اسمزی مثل پرولین، گلیسین و بتائین، آثار ناشی از فلزات سنگین و گرما را کاهش می‌دهد (Senaranta et al., 2002). تجمع پرولین به‌علت تخریب پروتئین سیتتاز و کاهش تبدیل پرولین به پروتئین بوده که در نتیجه، باعث کاهش رشد می‌گردد. در شرایط تنش پروتئین گیاه صرف تولید پرولین می‌شود، بنابراین تولید اندام گیاهی متوقف شده و باعث کاهش رشد اندام گیاهی خواهد شد (Mittler, 2006). پرولین به‌عنوان یکی از محافظت‌کننده‌های غشا است، تجمع پرولین سبب کاهش اثرات تنش، کاهش اسیدی شدن سلول، در نتیجه تولید $NADP^+$ و حمایت از مسیر اکسیداتیو پنتوز فسفات می‌شود، چون وابسته به $NADP^+$ بوده و توسط NADPH مهار می‌شود (Kavikishor et al., 2005). پرولین آزاد بسیاری از گیاهان در پاسخ به تنش کم‌آبی مثل خشکی و شوری به‌مقدار زیاد تجمع می‌یابد (Lipiec et al., 2013). گزارش شده است که سالیسیلیک اسید

باعث تجمع پرولین در گیاه عدس تحت تنش شد (Reza et al., 2006). به نظر می‌رسد نوعی اثرات هم‌افزایی بین محلول‌پاشی و تنش خشکی در افزایش پروتئین وجود دارد، زیرا با اعمال تنش خشکی و محلول‌پاشی درصد پروتئین زیاد می‌شود (Torknejad, 1999). گزارش شده است که سالیسیلیک اسید بر تشکیل پروتئین‌های دفاعی گیاه اثر می‌گذارد (Raskin, 1992). افزودن سالیسیلیک اسید در غلظت‌های مختلف می‌تواند با افزایش مقدار پرولین سبب بهبود تحمل گیاه در شرایط تنش خشکی شود (Yazdanpanah et al., 2010). در تحقیق تأثیر سالیسیلیک اسید بر برخی صفات فیزیولوژیک گیاه خرفه (*Portulaca oleracea* L.) تحت تنش کلرید سدیم، برهم‌کنش تنش شوری و سالیسیلیک اسید برای پروتئین محلول برگ معنی‌دار شد و در همه سطوح تنش شوری افزایش سالیسیلیک اسید باعث کاهش پروتئین محلول برگ شد (Dehghan et al., 2018). در تحقیق اثر محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف بر خصوصیات کمی و کیفی ارزن مرواریدی رقم نوتریفید (*Pennisetum glaucum* L.) تحت تنش خشکی، بالاترین درصد پروتئین خام ارزن مرواریدی (۱۸/۶۵ درصد) از تیمار عدم تنش همراه با محلول‌پاشی منگنز + روی حاصل شد (Paygozar et al., 2009).

فیبر خام (CF)

تنش خشکی بر فیبر خام معنی‌دار نبود، ولی سالیسیلیک اسید و اثر متقابل خشکی و سالیسیلیک اسید بر فیبر خام در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی و سالیسیلیک اسید نشان داد که بیشترین فیبر خام (۴۰/۷۹ درصد) در شرایط شاهد (۸۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی مزرعه) و ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید و کمترین آن (۲۳/۵ درصد) از تنش شدید و بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید حاصل شد (جدول ۳). پژوهشگران بیان داشته‌اند که تنش خشکی سبب کاهش عرضه مواد فتوسنتزی می‌گردد (Apracio-Tejo & Saches-Diase, 1982). کاهش درصد لیاف خام علوفه تحت شرایط تنش خشکی توسط محققین مختلف گزارش گردیده است (Nakhoda et al., 2000; Wilson, 1983). علت آن کاهش ساخته شدن اجزای دیواره سلولی تحت خشکی اعلام شده است (Kramer, 1983). در تحقیق اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی آهن و روی بر ویژگی‌های کمی و کیفی دو گونه یونجه

زیستی و غیرزیستی، مثل UV، خشکی، شوری، گرما، سرما و فلزات سنگین می‌گردد. این ماده با اثر بر روی متابولیت‌هایی مانند آسکوربیک اسید، گلوتاتیون و نیز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز، پلی فنل اکسیداز و پراکسیداز، آثار ناشی از تنش را کاهش می‌دهد (Horvath et al., 2002).

الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF)

طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها تنش خشکی در سطح یک درصد، محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید در سطح پنج درصد و برهم‌کنش آن‌ها بر الیاف نامحلول در شوینده خنثی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی و سالیسیلیک اسید نشان داد که بیشترین الیاف نامحلول در شوینده خنثی (۸۱/۵۱ درصد) از تنش شدید و بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و کمترین آن (۵۵/۳۴ درصد) در شرایط شاهد (۸۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی مزرعه) و ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به‌دست آمد (جدول ۳). کیفیت علوفه یک گونه گیاهی در اقلیم‌های مختلف متفاوت است، به‌گونه‌ای که با مرطوب شدن اقلیم، درصد پروتئین خام افزایش و درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که موجب افزایش هضم‌پذیری و در نتیجه، خوش‌خوراکی گونه‌های گیاهی می‌شود. خوش‌خوراکی گیاهان با کاهش بارندگی که به کاهش درصد رطوبت در گیاهان منجر می‌شود، تنزل می‌کند (Arzani et al., 2001). در تحقیق اثر سطوح مختلف نیتروژن و ژئولیت بر محتوای کلروفیل، کمیت و کیفیت علوفه تاج‌خروس تحت تنش کم‌آبیاری، الیاف نامحلول در شوینده خنثی در اثر خشکی افزایش یافت (Karami et al., 2018). بیشترین درصد الیاف نامحلول در شوینده خنثی گیاه کوشیا در ۹۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی (تنش خشکی شدید) به‌دست آمد (Karimian et al., 2014).

خاکستر (ASH)

با توجه به نتایج تجزیه واریانس تیمار تنش خشکی بر خاکستر علوفه معنی‌دار ($P \leq 0.05$) بود، ولی سالیسیلیک اسید و برهم‌کنش تیمارها بر خاکستر علوفه اثر معنی‌دار نداشت (جدول ۲). افزایش تنش خشکی از ۸۵ درصد (شاهد) به ۶۵ و ۴۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی مزرعه، خاکستر علوفه را به‌ترتیب ۲۱/۷۴ و ۵۰/۳۴ درصد کاهش داد.

یک‌ساله، بیشترین و کمترین درصد فیبر خام به‌ترتیب (۳۲/۴۶ درصد) در قطع آبیاری از رسیدگی اولین غلاف تا زمان برداشت و (۲۶/۲۶ درصد) در قطع آبیاری ۱۰ روز قبل از گل‌دهی حاصل شد (Rashnoo et al., 2013). در تحقیق تأثیر کود آلی فسفره و کم-آبیاری بر عملکرد ارقام ارزن علوفه‌ای، حداکثر میزان فیبر خام تحت قطع آبیاری در مرحله BBCH ۶۵ برابر با ۲۵/۸۷ درصد به‌دست آمد (Rahbari et al., 2014). سالیسیلیک اسید تعادل هورمونی را در گیاه تغییر و باعث افزایش اکسین، ABA و مانع از کاهش سیتوکینین در شرایط تنش‌ها می‌گردد (Shakirova et al., 2003). گزارش شده است که سالیسیلیک اسید تقسیم سلولی را درون مریستم گیاهیچه گندم افزایش داد و رشد گیاه را بهبود بخشید (Shakirova et al., 2003).

الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)

تأثیر تیمارهای تنش خشکی، سالیسیلیک اسید و اثر متقابل آن‌ها بر الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین برهم‌کنش تنش خشکی و سالیسیلیک اسید نشان داد که بیشترین الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (۴۱/۳۱٪) از تنش شدید و بدون محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید و کمترین آن (۲۵/۱٪) از تیمار شاهد (۸۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی مزرعه) و ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به‌دست آمد (جدول ۳). ADF قابلیت هضم را نشان می‌دهد و به‌عنوان یک شاخص برای پیش‌بینی هضم‌پذیری علوفه استفاده می‌شود، چرا که ADF شامل سلولز و لیگنین است و با افزایش لیگنین هضم‌پذیری کاهش می‌یابد (Contreras-Govea et al., 2009). پایین بودن ADF باعث افزایش قابلیت هضم علوفه و افزایش تغذیه دام می‌گردد (Ghanbari & lee, 2003). کیفیت علوفه گیاهان با پروتئین خام و هضم‌پذیری نسبت مستقیم و با دیواره سلولی عاری از همی‌سلولز نسبت عکس دارد (Arzani et al., 2006). بیشترین درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی کوشیا از ۹۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی (تنش خشکی شدید) به‌دست آمد (Karimian et al., 2014). سالیسیلیک اسید هورمونی گیاهی است که نقش مهمی در تعدادی از فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاه، نظیر کنترل تنفس، بسته شدن روزنه‌ها، جوانه‌زنی دانه، رسیدن میوه، گلیکولیز، گل‌دهی و تولید گرما ایفا می‌کند (Chen et al., 2007). سالیسیلیک اسید باعث کاهش آثار ناشی از تنش‌های

تنش خشکی توسط محققین دیگر نیز گزارش گردیده است (Wilson, 1983; Nakhoda et al., 2000).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تنش خشکی عملکرد علوفه خشک، قابلیت هضم ماده خشک، پروتئین خام و فیبر خام را کاهش و لیاف نامحلول در شوینده اسیدی و لیاف نامحلول در شوینده خنثی علوفه را افزایش داد. محلول‌پاشی سالیسیلیک اسید علاوه بر افزایش عملکرد علوفه خشک باعث بهبود کیفیت علوفه‌ی ارزن دمرابه‌ای رقم باستان گردید. لذا آبیاری ۸۵ درصد رطوبت ظرفیت زراعی مزرعه و کاربرد ۳ میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد در شرایط بهینه و کم‌آبیاری پیشنهاد می‌گردد.

درصد خاکستر بیانگر مقدار مواد معدنی موجود در بافت‌های گیاهی بوده و جذب این مواد توسط ریشه در شرایط خشکی کاهش می‌یابد (Lewis & Mc Farlane, 1986). کمبود آب در خاک جذب و حلالیت عناصر غذایی، تعرق، رشد و توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و منجر به کاهش جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌شود (Hopkins & Huner, 2009). تغییرات فصل از قبیل شدت نور، دمای محیط و طول روز بر تراکم عناصر معدنی گیاه اثر می‌گذارد، در فصل بهار نسبت برگ به ساقه بیشتر بوده و میزان دیواره سلولی کمتر است، در نتیجه این تغییرات غلظت عناصر معدنی در گیاه تغییر می‌کند (Fazaieli, 1991). در بررسی اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی آهن و روی بر ویژگی‌های کمی و کیفی دو گونه یونجه یک‌ساله، تنش خشکی بر درصد خاکستر علوفه معنی‌دار بود (Rashnoo et al., 2013). کاهش درصد خاکستر علوفه در شرایط

References

1. Abedini, M., and Habibi Chaharborj, G., 2018. Effect of salicylic acid on some physiological and biochemical characteristics of *Vitis vinifera* L. var. Ghizil Uzum under saline and non-saline conditions. *Journal of Plant Process and Function* 6(19): 207-218. (In Persian with English Summary)
2. Ahmadpour, A.R., Farhadi Bansouleh, B., and Ghobadi, M., 2017. Effects of deficit irrigation on growth trend, quantity and quality characteristics of maize in Kermanshah. *Journal of Soil and Water Resources Conservation* 6(3): 99-112. (In Persian with English Summary)
3. Alaoui-Sosse, B., Genet, P., Vinit-Dunand, F., Toussaint, M.L., Eproh, D., and Badot, P.M., 2004. Effect of copper on growth in cucumber plant (*Cucumis sativus* L.) and its relationship. *Plant Science* 166: 1213-1218.
4. Al-Hakimi, A.M.A., 2008. Effect of salicylic acid on biochemical changes in wheat plants under khat leaves residues. *Plant, Soil and Environment* 54: 288-293.
5. Apracio-Tejo, P., and Saches-Diase, M., 1982. Nodule and leaf nitrate reductase and nitrogen fixation in *Medicago sativa* L. under water stress. *Plant Physiology* 59: 479-482.
6. Arefi, S., Lariyazdi, H., and Amiri, H., 2017. Interaction study of copper and salicylic acid on carbohydrates, proline content and catalase activity in tow varieties of mung bean (*Vigna radiata* L.). *Journal of Applied Biology* 30(1): 95-111. (In Persian with English Summary)
7. Arfan, M., Athar, H.R., and Ashraf, M., 2007. Does exogenous application of salicylic acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress. *Journal of Plant Physiology* 164: 685-694. (In Persian with English Summary)
8. Arzani, H., Basiri, M., Khatibi, F., and Ghorbani G., 2006. Nutritive value of some Zagros mountain rangeland species. *Journal of Small Ruminant Research* 65(12): 128-135.
9. Arzani, H., Torkan, J., Jafari, M., Jalili, A., and Nik-khah, A., 2001. Effects of phenological stages and ecological factors on forage quality of some range species. *Iranian Journal of Agriculture Science* 32(2): 385-397. (In Persian with English Summary)
10. Bajji, M., Lutts, S., and Kinet, J., 2001. Water deficit effect on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three wheat cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Science* 160: 669-681.
11. Barker, D.J., Sullivan, C.Y., and Moser, L.E., 1993. Water deficit effects on osmotic potential, cell wall elasticity and praline in five forage grasses. *Agronomy Journal* 85: 270-275.
12. Brar, G., Kar, S., and Singh, N.T., 1990. Photosynthetic response of wheat to soil water deficits in tropic. *Journal of Agronomy and Crop Science* 164: 343-348.

13. Cakir, R., 2004. Effect of water stress at different developmental stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research* 89(1): 1-16.
14. Chen, J., Cheng, Z., and Zhong, S., 2007. Effect of exogenous salicylic acid on growth and H₂O₂-metabolizing enzymes in rice seedlings lead stress. *Journal of Environmental Sciences* 19: 44-49.
15. Contreras- Govea, F.E., Muck, R.E., Armstrong, K.L., and Albrecht, K.A., 2009. Nutritive value of corn silage in mixture with climbing beans. *Animal Feed Science and Technology* 150: 1-8.
16. Debaeke, P., and Aboudrare, A., 2004. Adaptation of crop management to water-limited environment. *European Journal of Agronomy* 21: 433-446.
17. Dehghan, Z., Movahhedi Dehnavi, M., Balouchi, H., and Salehi, A., 2018. Effect of salicylic acid on some physiological characteristics of common purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Journal of Plant Process and Function* 7(23): 97-110. (In Persian with English Summary)
18. Dubey, R.S., and Singh, A.K., 2003. Salinity in duces accumulation of solumle sugars and alters the activity of sugers metabolicing enzgm in rice Plant. *Plant Biology* 42: 233-239.
19. Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A., and Alpaslan, M., 2007. Impact of exogenous salicylic acid on growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. *Scientia Horticulturae* 113: 120-128.
20. Eshaghi Sardrood, S.N., Nasrollah Zadeh, S., and Bagheri Pirouz, A., 2014. Application of biological and chemical fertilizers on some qualitative and quantitative traits in forage sorghum. *Agricultural Science and Sustainable Production* 24(1): 46-56. (In Persian with English Summary)
21. Fariduddin, Q., Hayat, S., and Ahmad, A., 2003. Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity and seed yield in *Brassica juncea*. *Photosynthetica* 41: 281-284.
22. Fazaieli, H., 1991. Determination of some chemical factors and grosse energy of feed resource in Guilan province, M.Sc. Thesis of Ranch, University of Tarbiat Modarres, Tehran, Iran. 225 p. (In Persian with English Summary)
23. Fribourg, H.A., 1995. Summer Annual Grasses. In R.F., Barnes, D.A. Miller and C.J. Nelson (Eds.). *Forages an introduction to grassland agriculture*. 5th ed. Iowa State University Press, Ames, IA. Vol. 1. p. 463-472.
24. Ghanbari, A., and Lee, H.C., 2003. Intercropped field beans (*Vicia faba*) and wheat (*Triticum aestivum*) for whole crop forage: Effect of nitrogen on forage yield and quality. *Journal of Agriculture science Cambridge* 138: 311-314.
25. Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M., Cicek, N., Guneri, E., Eraslan, F., and Guzelordu, T., 2005. Effects of exogenously applied salicylic acid on the induction of multiple stress tolerance and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science* 51: 687-695.
26. Habibi, G., 2012. Exogenous salicylic acid alleviates oxidative damage of barley plants under drought stress. *Acta Biologica Szegediensis* 56(1): 57-63.
27. Haji Hasani Asl, N., Moradi Aghdam, A., Shirani Rad, A.H., Hosseini, N., and Rassaei Far, M., 2010. Effect of drought stress on forage yield and agronomical characters of millet, sorghum and corn in delay cropping. *Journal of Crop Production Research* 2(1): 75-63. (In Persian with English Summary)
28. Hamada, A.M., and Al-Hakimi, A.M.A., 2001. Salicylic acid versus salinity-drought induced stress on wheat seedlings. *Rostlinna Vyroba* 47: 444-450.
29. Hopkins, W.G., and Huner, N.P.A., 2004. *Introduction to Plant Physiology*. John Wiley and Sons. Inc. Hoboken. N. J. USA. pp. 123-144.
30. Hopkins, W.G., and Huner, N.P.A., 2009. *Introduction to plant physiology*, Fourth Edition, John Wiley and Sons, Inc. New York, USA, pp. 503.
31. Horvath, E., Janda, T., Szalai, G., and Paldi, E., 2002. *In vitro* salicylic acid inhibition of catalase activity in maize: differences between the isoenzymes and a possible role in the induction of chilling tolerance. *Plant Science* 163: 1129- 1135. <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780124250406>
32. Jafari, A.A., Connolly, V., Frolich, A., and Walsh, E.K., 2003. A note on estimation of quality in perennial regress by near infrared spectroscopy. *Trish Journal of Agricultural and Food Research* 42: 293-299.
33. Jaleel, C.A., Manivannan, P., Kishorekumar, A., Sankar, B., Gopi, R., Somasundaram, R., and Panneerselvam, R., 2007. Alterations in osmoregulation, antioxidant enzymes and indole alkaloid levels in *Catharanthus roseus* exposed to water deficit. *Colloids Surfaces B: Biointerfaces* 59: 150-157.
34. Kafi, M., Borzoei, A., Kamandi, A., Masoumi A., and Nabati, J., 2009. *Physiology of Environmental Stress in Plants*. Jihad Daneshgahi of Mashhad Press, Mashhad, Iran. 504 pages. (In Persian)

35. Karami, S.; Hadi, H; Tajbaksh, M.; and Modarres-Sanavy, S.A.M., 2018. Effect of different levels of nitrogen and zeolite on chlorophyll content, quantity and quality of amaranth forage under deficit irrigation stress. *Agricultural Crop Management* 20(1): 67-84. (In Persian with English Summary)
36. Karimi, R., Hadi, H., and Tajbaksh, M., 2016. Forage yield of sorghum under water deficit and foliar application of zinc sulphate and salicylic acid. *Agricultural Science and Sustainable Production* 26(2): 169-187. (In Persian with English Summary)
37. karimian, M.A., Galavi, M.; Dahmardeh, M., and Kafi, M., 2014. Effect of drought stress and different levels of potassium on quantitative and qualitative forage yield of Kochia (*Kochia scoparia* L.). *New Findings Agriculture* 8(3): 239-250. (In Persian with English Summary)
38. KaviKishor, P.B., and Sreenivasulu, N., 2014. Is proline accumulation per se correlated with stress tolerance or is proline homeostasis a more critical issue. *Plant, Cell and Environment* 37: 300-311.
39. Kavikishor, P.B., Songam, S., Amrutha, R.N., Sri, Laxmi, P., Naidu, K.R., Ruo, K.R.S.S., Rao, S., Reddy, K.J., Theriappan, P., and Steenivasulu, N., 2005. Regulation of praline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants, its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. *Current Science* 88(3): 424-438.
40. Khan, W., Prithiviraj B., and Smith, D.L., 2003. Photosynthetic response of corn and soybean to foliar application of salicylates. *Journal of Plant Physiology* 160: 485-492.
41. Khodary, S.E.A., 2004. Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt stressed maize plants. *International Journal of Agriculture and Biology* 6: 5-8.
42. Kramer, P.J., 1983. *Water relations of plants*. New York Academic Press, New York. pp: 488.
43. Lewis, D.C., and Mc Farlane, J.D., 1986. Effect of foliar applied manganese on the growth of safflower and the diagnosis of manganese deficiency by plant issue and seed analysis. *Australian Journal Agriculture Research* 72(1): 57-59.
44. Linn, J.G., and Martin, N.P., 1993. Forage quality tests and interpretations. Minnesota Extension service. AGFO-2637.
45. Lipiec, J., Doussan, C., Nosalewicz A., and Kondracka, K., 2013. Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review. *International Agrophysics* 27: 463-477.
46. Mehrabian Moghaddam, N., Arvin, M.J., Khajuee Nezhad, G., and Maghsoudi, K., 2011. Effect of salicylic acid on growth and forage and grain yield of maize under drought stress in field conditions. *Seed and Plant Production* 27(1): 41-55. (In Persian with English Summary)
47. Mittler, R., 2006. Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in Plant Science* 11: 15-19.
48. Mohamed, A., and Ahmed, L., 2010. Response of wheat cultivars to drought and salicylic acid. *American-Eurasian Journal of Agronomy* 3(1): 1-7.
49. Mohammadkhani, N., and Heidari, R., 2008. Drought-induced accumulation of soluble sugars and proline in two maize varieties. *World Applied Sciences Journal* 3: 448-453.
50. Nakhoda, B., Hashemi Dezfouli, A., and Banisadr, N., 2000. Water stress effects on forage yield and quality of pearl millet (*Pennisetum americanum* L. Leek. Var. Nutrifed). *Iranian Journal of Agricultural Science* 31(4): 701-712. (In Persian with English Summary)
51. Nemeth, M., Janda, T., Hovarth, E., Paldi, E., and Szali, G., 2002. Exogenous salicylic acid increases polyamine content but may decrease drought tolerance in maize. *Plant Science* 162: 569-574.
52. Pancheva, T.V., Popova, L.P., and Uzunova, A.M., 1996. Effect of salicylic acid on growth and photosynthesis in barley plants. *Journal of Plant Physiology* 149: 57-63.
53. Paygozar, Y., Ghanbari, A., Heydari, M., and Tavassoli, A., 2009. Effect of foliar application of micronutrients on qualitative and quantitative characteristics of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) under drought stress. *Journal of Corp Ecophysiology Agriculture Science* 3(10): 67-79. (In Persian with English Summary)
54. Raei, Y., Jorat, M., Moghaddam, H., Chaichi, M.R., and Weisany, V., 2013. Effect of density on connotative and collective yield of forage sorghum under water limitation. *Agricultural science and sustainable production* 23(4.1): 51-65. (In Persian with English Summary)
55. Rahbari, A., Masood Sinaki, J., and Zarei, M., 2014. Effects of phosphate fertilizer and less irrigation on grain yield of the forage millet. *Journals of Agronomy Sciences* 5(10): 27-38. (In Persian with English Summary)
56. Ranjan, R., Bohra, S.P., and Jeet, A.M., 2001. *Book of plant senescence*. Jodhpur, Agrobios New York. pp. 18-42.
57. Rashnoo, M.H., Tahmasbi Sarvestani, Z., Heydari Sharifabad, H., Modares Sanavi, S.A.M., and Tavakkol Afshari,

- R., 2013. Effects of drought stress and foliar application of iron and zinc on quantitative and qualitative characteristics of two species of annual medics. Journal of Crop Production 6(1): 125-148. (In Persian with English Summary)
58. Raskin, I., 1992. Role of Salicylic acid in plants. Annual review of plant physiology. Plant Molecular Biology 43: 439-463.
59. Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., and Vivekanandan, M., 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology 161: 1189-1202.
60. Reza, S., Heidari, R., Zare, S., and Norastehnia, A., 2006. Antioxidant response of two salt-stressed barley varieties in the presence or absence of exogenous proline. General and Applied Plant Physiology 32(3-4): 233-251.
61. Sabaghpour, S.H., 2003. Mechanism of drought tolerance in crops. Agricultural aridity and drought scientific and extension quarterly of jahad agriculture, N0.10 winter 2004. pp. 21-32.
62. Safari, F., 2007. The effect of planting date and shrub density on forage foxtail millet, M.Sc. Dissertation, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Gorgan, Gorgan, Iran. (In Persian with English Summary)
63. Sasani, S., Jahansooz, M.R., and Ahmadi, A., 2004. The effects of deficit irrigation on water- use efficiency, yield and quality of forage pearl millet. Proceedings of the 4th international crop science congress. Brisbane, Australia, 26 sep –1 oct.
64. Senaranta, T., Touchell, D., Bumm, E., and Dixon, K., 2002. Acetylsalicylic (aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. Plant Growth Regulation 30: 157-161.
65. Shakirova, F.M., Sakhabutdinova, A.R., Bezrukova, M.V., and Fatkhutdinova, D.R., 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedling induced by salicylic acid and salinity. Plant Science 164: 317-322.
66. Singh, B., and Usha, K., 2003. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. Plant Growth Regulation 39: 137-141.
67. Tolera, A., and Sundstol, F., 1999. Morphological fractions of maize stover harvested at different stages of grain maturity and nutritive value of different fractions of the stover. Animal Feed Science and Technology 81(1-2): 1-16.
68. Torknejad, A., 1999. Evaluation of annual medics ecological in Iran. Ph.D. Thesis of Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran. (In Persian)
69. Umebese, C.E., Olatimilehin, T.O., and Ogunsusi, T.A., 2009. Salicylic acid protects nitrate reductase activity, growth and proline in amaranth and tomato plants during water deficit. American Journal of Agricultural and Biological Sciences 4: 224-229.
70. Verma, S., and Dubey, R.S., 2001. Effect of cadmium on soluble sugars and enzymes of hair metabolism in rice. Biologia Plantarum 1: 117-123.
71. Wilson, J.R., 1983. Effect of water stress on *in vitro* dry matter digestibility and chemical composition of herbage of tropical pasture species. Australian Journal Agriculture Research 34: 377-390.
72. Yazdanpanah, S., Abasi, F., and Baghzadeh, A., 2010. Effect of salicylic acid and ascorbic acid on proline, sugar and protein content in *Satureja hortensis* L. under aridity stress. Proceeding of the First National Conference of Environmental Stress in Agricultural Science 28-29 June 2010. The University of Birjand, Iran. (In Persian)
73. Yuan, S., and Lin, H.H., 2008. Role of salicylic acid in plant abiotic stress. Zeitschrift fur Naturforschung 63: 313-320.
74. Zabet, M., Bahamin, S., Ghoreishi, S., Sadeghi, H., and Moosavi, S.G., 2014. Effect of deficit irrigation and nitrogen fertilizer on quantitative yield of aboveground part of forage pear millet (*Pennisetum glaucum*) in Birjand. Environmental Stresses in Crop Sciences 7(2): 187-194. (In Persian with English Summary)



Effects of Drought Stress Levels and Salicylic Acid Concentrations on Quantity and Quality Forage Traits of Foxtail Millet (*Setaria italica* L.) Bastan Cultivar in Sistan Climatic Conditions

M.A. Karimian^{1*} and M. Forozandeh¹

Submitted: 23-02-2019

Accepted: 22-09-2019

Karimian, M.A., and Forozandeh, M., 2020. Effects of drought stress levels and salicylic acid concentrations on quantity and quality forage traits of foxtail millet (*Setaria Italica* L.) Bastan cultivar In Sistan climatic conditions. Journal of Agroecology. 12(2):195-209.

Introduction

Forage millet is a crop of tropical and subtropical regions which is considered due to abundant tillering, rebuilding ability, resistance to environmental stresses and diseases, high yield in poor soils and absence of prussic acid. Low amount of available water to plants results in drought stress and inappropriate morphological and physiological changes in the plant. Plants under environmental stress conditions accumulate low molecular weight organic solutions such as amino acids and sugars. Plant hormones affect plant growth in multifarious ways affecting a number of physiological and biochemical processes in plants subjected to biotic and abiotic stresses. Salicylic acid (SA) is one such plant growth regulators, which participates in the regulation of a number of physiological events in plants. The use of salicylic acid in wheat increased the photosynthesis rate, protein and sugar content of shoots, roots and leaf chlorophyll under drought stress conditions. Tomato and amaranth treatment with salicylic acid in different stages of growth during drought stress prevents reducing the production of dry matter of the plant.

Materials and Methods

To evaluate the quantity and quality fodder traits of foxtail millet Bastan cultivar under the influence of drought stress levels and salicylic acid concentrations in Sistan climate, a field experiment was conducted as split plot based on a randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Institute of Zabol University during 2017. Treatments included three irrigation levels as main plot (45, 65 and 85 percent humidity of field capacity) and sub plot including salicylic acid in four levels (0, 0.75, 1.5 and 3 mM). Spray application was considered for salicylic acid. Dry forage yield, dry matter digestibility, water soluble carbohydrates, crude protein, crude fiber, insoluble fiber in acid detergent, insoluble fiber in neutral detergent and ash were measured. Measurement of forage quality characteristics in the Research Institute of Forests and Rangelands was performed with NIRS device made in Sweden.

Results and Discussion

Results revealed that drought stress caused significant differences on dry forage yield, dry matter digestibility, water soluble carbohydrates, crude protein, insoluble fiber in acid detergent and insoluble fiber in neutral detergent at 1% significance level and on ash at 5% significance level. Drought stress increases water soluble carbohydrate, insoluble fiber in acid detergent and insoluble fiber in neutral detergent and decreases dry forage yield, dry matter digestibility, crude protein, crude fiber and ash. The effect of salicylic acid on dry matter digestibility, water soluble carbohydrates, crude protein, crude fiber and insoluble fiber in acid detergent at 1% significance level and on dry forage yield and insoluble fiber in neutral detergent were significant at 5% level. The interaction effects of drought stress and salicylic acid on dry forage yield, dry matter digestibility, water soluble carbohydrates, crude protein, crude fiber, insoluble fiber in acid detergent and insoluble fiber in neutral detergent were significant at 1% probability level. Maximum dry forage yield (12.34 t.ha⁻¹), dry matter digestibility (68.85%) and crude fiber (40.79%) were obtained from full irrigation and application of 3 mM salicylic acid treatments. The highest water soluble carbohydrates (13.81%) and crude protein (18.93%) were

1- Instructor, Agricultural Research Institute, University of Zabol, Zabol, Iran.

(*- Corresponding Author Email: Mohammadkarimain1350@gmail.com)

Doi:10.22067/jag.v12i2.79369

obtained from intense tension $\times$ 1.5 mM salicylic acid and control $\times$ 1.5 mM salicylic acid, respectively. The highest insoluble fiber in acid detergent (41.31%) and insoluble fiber in neutral detergent (81.51%) were observed under severe drought stress conditions without salicylic acid.

Conclusion

The results of this study represent the adverse impact of drought stress on the quantity and quality traits of foxtail millet Bastan. Application of salicylic acid has a positive role in modulating the effects of drought and improves quantity and quality forage. Therefore, can be expressed that irrigation of 85% moisture filed capacity and spraying 3 mM salicylic acid as growth regulator can produce quantity and quality desirable performance in Sistan climatic conditions.

Keywords: Acid detergent fiber, Crude protein, Dry matter digestibility, Growth regulator, Irrigation regimes



مقاله علمی - پژوهشی

ارزیابی اثر کودهای آلی بر ویژگی‌های کمی و کیفی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) در کشت مخلوط با لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.)

سیمین دخت ریگی^۱، مهدی دهمرده^{۲*}، عیسی خمیری^۳ و سید محسن موسوی نیک^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۰۹

ریگی، س.، دهمرده، م.، خمیری، ع.، و موسوی نیک، س.م.، ۱۳۹۹. ارزیابی اثر کودهای آلی بر ویژگی‌های کمی و کیفی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) در کشت مخلوط با لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۲(۲): ۲۲۶-۲۱۱.

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کاربرد سطوح و نوع کود آلی بر ویژگی‌های کمی و کیفی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) و لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) در کشت مخلوط جایگزینی، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در سال زراعی ۱۳۹۵ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل تیمار کودی به عنوان عامل اصلی در سه سطح شاهد، کود گاوی (۳۰ تن در هکتار) و ورمی کمپوست (۱۵ تن در هکتار) و کشت مخلوط در پنج سطح شامل ۱۰۰ درصد چای ترش، ۱۰۰ درصد لوبیا چشم‌بلبلی، ۵۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد لوبیا چشم‌بلبلی، ۲۵ درصد لوبیا چشم‌بلبلی + ۷۵ درصد چای ترش و ۷۵ درصد لوبیا چشم‌بلبلی + ۲۵ درصد چای ترش به عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد که اثر متقابل کودهای آلی و کشت مخلوط بر تمامی صفات مورد مطالعه (ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد شاخه فرعی، تعداد غوزه در بوته، عملکرد بیولوژیک، وزن تر کاسبرگ و عملکرد اقتصادی) در گیاه چای ترش و تمامی صفات مورد مطالعه (تعداد دانه در نیام، تعداد نیام در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و کلروفیل کل) به جز ارتفاع بوته، کلروفیل a و کلروفیل b در لوبیا چشم‌بلبلی معنی‌دار بود. بالاترین عملکرد اقتصادی چای ترش از تیمار ورمی کمپوست و کشت مخلوط ۵۰ درصد چای ترش به علاوه ۵۰ درصد لوبیا چشم‌بلبلی به دست آمد. مقایسه میانگین تیمارها در صفات مورد بررسی لوبیا چشم‌بلبلی نشان داد که کودهای آلی و کشت مخلوط بر تمامی صفات مورد مطالعه اثر بسیار معنی‌داری داشتند. نتایج نشان داد که کشت مخلوط در گیاه لوبیا چشم‌بلبلی و چای ترش به دلیل اثرات متقابل معنی‌دار و مفید نسبت به تک‌کشتی سودمندتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد اقتصادی، کشت مخلوط، نسبت برابری زمین، ورمی کمپوست

مقدمه

برای افزایش تولید در کشاورزی پیشرفته پیشنهاد شده است (Brummer, 1998). در این راستا، انتخاب گیاهانی که کمترین رقابت را در یک آشیان اکولوژیک ثابت چه از نظر عوامل محیطی و چه از نظر زمان با هم ایجاد می‌کنند، عامل عمده‌ای محسوب می‌شود (Rahimian et al., 1992). کشت مخلوط به دلیل استفاده بهتر از منابع محیطی موجب شده تا این نوع نظام‌های زراعی در کشاورزی معیشتی نقش مهمی در تأمین مواد غذایی داشته باشند و جایگاه خاصی را در طراحی بوم نظام‌های زراعی پایدار به خود اختصاص دهند (Najafi et al., 2013; Wang et al., 2017). برتری عملکرد در کشت مخلوط در اثر تلفیقی از عوامل مختلف همچون استفاده

کشت مخلوط به عنوان یکی از مهم‌ترین سیستم‌های کشاورزی قابل اجرا در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته شناخته شده است که به جهت تنوع محصولات و افزایش سود حاصله در واحد سطح و زمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در واقع، کشت مخلوط با افزایش تعداد گونه‌ها در واحد سطح به عنوان یک راه حل

۱- دانش‌آموخته سابق کارشناسی ارشد اکرواکولوژی دانشگاه زابل، ایران.
۲، ۳ و ۴- دانشیار، استادیار و استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی زابل، ایران.
(*) نویسنده مسئول: Email: dahmard@gmail.com
Doi: 10.22067/jag.v12i2.80655

عملکرد، غلظت و جذب کل نیتروژن، فسفر و پتاسیم در ذرت (*Zea mays* L.) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.

ورمی کمپوست متشکل از ورمی (کرم خاکی) و کمپوست (کود آلی) به‌معنای نوعی کود آلی است که از فعالیت کرم خاکی حاصل می‌گردد. استفاده از ورمی کمپوست نه تنها بر عملکرد گیاه تأثیرگذار است بلکه بر ساختار و اصلاح خاک نیز به‌صورت چشم‌گیری مؤثر است. استفاده از ورمی کمپوست تخلخل خاک و میزان جذب آب آن را بالا می‌برد و خصوصیات فیزیکی خاک را بهبود می‌بخشد. میزان کربن آلی خاک را افزایش و وزن مخصوص ظاهری آن را کاهش می‌دهد (Joseph, 1991).

چای ترش با نام علمی *Hibiscus sabdariffa* L. متعلق به خانواده Malvaceae است و عمدتاً کاسبرگ آن به‌عنوان دارو قابلیت استفاده دارد. کاسبرگ‌ها دارای اسیدهای آلی اگزالیک، سیتریک و تارتاریک و همچنین، ویتامین C، پروتئین، مواد معدنی و آنتوسیانین می‌باشند (Ahmad et al., 2011). لوبیا چشم‌بلبلی نیز گیاهی علفی و یک‌ساله است. این گیاه توانایی تثبیت نیتروژن در خاک‌های فقیر را دارد و در خاک‌های فقیر از لحاظ میزان فسفر، به‌خوبی رشد می‌کند (Kolawale et al., 2000). لوبیا یکی از گیاهان لگوم با ارزش محسوب می‌شود که به‌صورت دانه، سبزیجات، علوفه سبز، علوفه خشک، چرای دام و به‌عنوان گیاه پوششی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Manivannan et al., 2009). با توجه به اهمیت الگوی کشت مناسب و تعیین سیستم تغذیه بهینه در سیستم‌های کشاورزی، این تحقیق با هدف ارزیابی سیستم کشت مخلوط (چای ترش و لوبیا چشم‌بلبلی) توأم با سطوح مختلف کود آلی (ارگانیک) و معرفی بهترین الگوی کشت و مقدار کود بهینه در شرایط آب‌وهوایی زابل انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۵ در مزرعه آموزشی - پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل (چاه‌نیمه) با عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی با ارتفاع ۴۸۰ متر از سطح دریا اجرا گردید. این منطقه دارای اقلیمی بیابانی (گرم‌وخشک) با تابستان بسیار خشک و زمستان ملایم است. میانگین دمای سالانه ۲۱/۷، حداکثر مطلق دما ۴۹، حداقل مطلق آن ۷- درجه سانتی‌گراد و ارتفاع منطقه ۴۸۰ متر از

بهتر از رطوبت خاک، نور و عناصر غذایی می‌باشد (Li-Li Mao et al., 2015; Rajaii & Dahmardeh, 2014). افزایش تولید در کشت مخلوط را می‌توان به کاهش رشد علف‌های هرز، کاهش خسارت آفات و بیماری‌ها و استفاده بهینه‌تر از منابع نسبت داد. یکی از دلایل اصلی که کشاورزان در سرتاسر جهان کشت مخلوط را بر کشت خالص ترجیح می‌دهند، این است که در اغلب موارد تولید بیشتری از کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص از همان مقدار زمین به‌دست می‌آید (Yang et al., 2009). نتایج برخی بررسی‌های انجام شده در زمینه کشت مخلوط و اندازه‌گیری نسبت برابری زمین در مخلوط لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata*)، سورگوم دانه‌ای (*Sorghum bicolor* L.) (Zand & Ghafarikhaligh, 2002)، سویا (*Glycine max*) و کاساوا (*Manihot esculenta*) (Mbah et al., 2008) بیانگر بهبود کمی و کیفی محصولات مورد بررسی و افزایش نسبت برابری سطح زمین است.

کشاورزی اکولوژیک یک سیستم تلفیقی کشاورزی بر پایه اصول اکولوژیکی و به‌عبارتی مدیریت پایدار خاک است که از کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و تنظیم‌کننده‌های رشد استفاده نمی‌شود و به‌جای آن از تناوب زراعی با گیاهان خانواده بقولات، بقایای گیاهی، کودهای دامی، سنگ‌های حاوی عناصر معدنی، کودهای آلی و کنترل بیولوژیک آفات استفاده می‌شود، تا ضمن ذخیره عناصر غذایی در خاک و افزایش باروری آن، علف‌های هرز و حشرات و آفات کنترل‌شده و سبب توسعه تنوع زیستی در مزارع می‌گردد (Griffe et al., 2003). کودهای آلی مانند ورمی کمپوست و کود حیوانی با افزایش فراهمی رطوبت و عناصر غذایی قابل دسترس گیاهان، و به‌دنبال آن افزایش ماده آلی خاک سبب بهبود عملکرد گیاهان می‌شوند (Asadi, et al., 2013; Manivannan et al., 2009). در یک تحقیق در ژاپن اثر کاربرد متوالی کود دامی و شیمیایی باعث رشد زیاد گیاهان و افزایش عملکرد علوفه شده است (Miyazawa & shiozaki, 2000). شریفی و همکاران (Sharifi et al., 2005) با بررسی مقادیر مختلف کودهای دامی، شیمیایی و کاربرد توأم آن‌ها در مورد گیاه رازیانه اظهار داشت کاربرد کود دامی موجب افزایش ۷۸ درصد و کودهای شیمیایی ۶۴ درصد عملکرد رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) شدند، درحالی‌که به‌کارگیری توأم آن‌ها عملکرد را به‌مقدار بیشتری افزایش داد. دایها و همکاران (Dahiya et al., 2007) گزارش کردند که با افزایش کود دامی،

که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است.

سطح دریا آزاد می‌باشد. جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از عمق ۳۰-۵۰ سانتی‌متری خاک محل آزمایش نمونه‌برداری شد

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

بافت Texture	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	نیترژن کل Total N (%)	کربن آلی Organic C (%)	سدیم Na (ppm)	مگنیزیم Mg (ppm)	پتاسیم قابل دسترس P (ppm)	کلسیم قابل دسترس Ca (ppm)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH
لوم-شنی Sandy loam	70	17	13	0.060	0.72	57.56	15.63	280	10.80	2.93	7.80

میزان کلروفیل a و b و کل اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل از روش آرنون استفاده شد (Arnon, 1967). بدین منظور، پس از قرائت جذب محلول‌ها در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر توسط اسپکتوفتومتر (مدل Unico UV-2100، غلظت کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه توسط معادله‌های زیر (۱ و ۲) به‌دست آمد (Arnon, 1965).

معادله (۱) $\text{Chlorophyll a} = (11.75 A_{664} - 2.350 A_{645})$

معادله (۲) $\text{Chlorophyll b} = (18.61 A_{645} - 3.960 A_{664})$

با رسیدن محصول لوبیا به مرحله بلوغ فیزیولوژیکی (قهوه‌ای شدن نیام‌ها) نیز ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک در هکتار، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در هکتار اندازه‌گیری شد. با به‌دست آوردن عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در هر کرت، شاخص برداشت از نسبت عملکرد اقتصادی به بیولوژیکی محاسبه گردید.

جهت تعیین شاخص نسبت برابری زمین (LER) عملکرد نسبی هر جزء محاسبه شد و مجموع آن‌ها میزان LER را نشان می‌دهد (Vandermeer, 1992):

$$\text{LER} = Y_{ab}/Y_{ba} + Y_{ba}/Y_{bb}$$

که در آن، Y_{ab} : عملکرد گونه a در کشت مخلوط، Y_{ba} : عملکرد گونه b در کشت مخلوط، Y_{aa} : عملکرد گونه a در کشت خالص و Y_{bb} : عملکرد گونه b در کشت خالص می‌باشند.

در نهایت، تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد بررسی شد.

بذر مورد استفاده چای ترش و لوبیا از پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل (چاه‌نیمه) تهیه شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل تیمار کودی به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح شاهد (F_1)، کود گاوی (F_2) (F_3) تن در هکتار) و ورمی‌کمپوست (۱۵ تن در هکتار) و سطوح مختلف کشت مخلوط در پنج سطح شامل ۱۰۰٪ چای ترش (I_1)، ۱۰۰٪ لوبیا چشم‌بلبلی (I_2)، ۵۰٪ چای ترش + ۵۰٪ لوبیا چشم‌بلبلی (I_3)، ۲۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی + ۷۵٪ چای ترش (I_4) و ۷۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی + ۲۵٪ چای ترش (I_5) به‌عنوان عامل فرعی بودند. کاشت گیاه لوبیا در تاریخ ۲۰ فروردین ماه و کاشت گیاه چای ترش در تاریخ پنجم اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۵ صورت گرفت. بدین منظور سه تا چهار بذر در هر کپه با عمق سه سانتی‌متر به‌روش جوی پشته در چهار ردیف چهار متری با فاصله ۷۵ سانتی‌متر بین ردیف و ۴۰ سانتی‌متر روی ردیف کشت شدند. تراکم دو گیاه در هر مترمربع ۳،۳ بوته انتخاب شد. آبیاری بر اساس نیاز هر دو گیاه به‌صورت جوی و پشته به‌طور متوسط هر هفت روز یک‌بار انجام شد. در مرحله چهار الی شش برگی عملیات تنک برای رسیدن به تراکم مناسب انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی (وجین با استفاده از فوکا) در سه مرحله (پنج الی شش برگی، ساقه‌دهی، شاخه‌دهی جانبی) صورت گرفت. برداشت در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک برای لوبیا در پایان مردادماه و برای چای ترش در پایان آبان‌ماه انجام شد. بدین منظور پس از حذف دو خط کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای خطوط، پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب شدند و اندازه‌گیری صفات کمی و کیفی آن‌ها صورت گرفت. با رسیدن محصول چای ترش به مرحله گل‌دهی کامل صفاتی همچون ارتفاع بوته با استفاده از متر، قطر ساقه به‌وسیله کولیس، تعداد شاخه فرعی در بوته، میانگین عملکرد بیولوژیک در هکتار، تعداد غوزه در بوته، وزن تر کاسبرگ، عملکرد اقتصادی و

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده کود بر قطر ساقه، عملکرد بیولوژیک، وزن تر کاسبرگ و عملکرد اقتصادی و همچنین اثر ساده کشت مخلوط بر کلیه صفات مورد بررسی در چای ترش (ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد شاخه فرعی، عملکرد بیولوژیک، تعداد غوزه در بوته، وزن تر کاسبرگ و عملکرد اقتصادی) اثر معنی‌دار آماری داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۱۲۲/۶ سانتی‌متر) از تیمار کود ورمی‌کمپوست در سیستم کشت مخلوط ۵۰٪ چای ترش + ۵۰٪ لوبیا چشم‌بلبلی و بیشترین قطر ساقه (۱/۵۰ سانتی‌متر) از تیمار کود ورمی‌کمپوست در سیستم کشت خالص چای ترش به‌دست آمد (جدول ۳). احتمالاً دلیل بیشتر بودن قطر ساقه در کشت خالص چای ترش می‌تواند ناشی از جذب بیشتر نور خورشید توسط آن باشد که باعث فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی بیشتر و به‌دنبال آن وجود عناصر آوندی بیشتر جهت انتقال سریع مواد پرورده به سایر اندام‌های گیاه می‌شود. این نتیجه با نتایج محققان دیگر در رابطه با قطر ساقه هم‌خوانی دارد (Mortvedt, 2003). تونا و اراک (Tuna & Orak, 2007) در مطالعه‌ای روی کشت مخلوط ماشک (*Vicia sativa* L.) با یولاف (*Avena sativa* L.) گزارش کرده‌اند که کاهش یا افزایش ارتفاع بوته گیاهان به شدت رقابت بین دو گیاه بستگی دارد. اختلاف میان کمترین و بیشترین ارتفاع بوته در کشت مخلوط ناشی از رقابت برون‌گونه‌ای است. دهمرده (Dahmardeh, 2010) در بررسی کشت مخلوط ذرت و لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna sinensis* L.) گزارش کرد ارتفاع ذرت تحت تأثیر سیستم‌های کاشت قرار گرفت. مقایسه میانگین اثرات متقابل تعداد شاخه فرعی نشان داد که بیشترین تعداد شاخه فرعی (نه عدد) از تیمار کود ورمی‌کمپوست در سیستم کشت مخلوط ۲۵٪ چای ترش + ۷۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی به‌دست آمد (جدول ۳). به نظر می‌رسد بالاتر بودن وزن کاه و کلش بوته در نتیجه رشد رویشی ناشی از کاربرد نیتروژن حاصل شده است و در این شرایط بالاتر بودن ارتفاع بوته، قطر ساقه و تعداد شاخه فرعی دلیل افزایش وزن کاه و کلش در هر بوته بوده‌اند. کود دامی نیز ضمن فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، باعث افزایش محتوای آب در دسترس گیاه شده و

موجبات افزایش رشد پیکره رویشی و تولید زیست‌توده را فراهم می‌کنند (Singer et al., 2007).

مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک از تیمار کود ورمی‌کمپوست (۲۲۱۵۸ کیلوگرم در هکتار) در سیستم کشت مخلوط ۲۵٪ چای ترش + ۷۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی (۲۱۹۳۸ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (جدول ۳). می‌توان این‌طور بیان کرد که افزایش قابلیت دسترسی گیاه به عناصر غذایی با مصرف کودهای آلی و افزایش رشد و فتوسنتز به‌دلیل افزایش سطح برگ گیاه از عوامل افزایش عملکرد در تیمار تغذیه گیاه با ورمی‌کمپوست می‌باشد. روغنیان (Roghanian, 2004) در بررسی تأثیر شیرابه زباله و کود کمپوست بر پاسخ‌های گیاه ذرت نشان داد که استفاده از کمپوست در هر سه سطح ۱۵، ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار باعث افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک گیاه گردید. برخی از گزارش‌ها افزایش تولید در کشت مخلوط را به‌سرعت رشد بیشتر و استفاده بهتر از منابع در دسترس به‌دلیل تفاوت گونه‌ها نسبت دادند (Gustave et al., 2008). گزارش شده است که در کشت مخلوط ارزن و ذرت عملکرد بیولوژیک به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Shaygan et al., 2008). شریفی و همکاران (Sharifi et al., 2005) در بررسی تأثیر نسبت اختلاط و تراکم بوته بر تولید علوفه در کشت مخلوط سورگوم با لوبیا چشم‌بلبلی به این نتیجه رسیدند که عملکرد بیولوژیک سورگوم به‌موازات کاهش سهم آن در مخلوط به‌طور معنی‌داری کم شده است. بررسی‌های انجام شده در مورد برتری عملکرد کشت‌های مخلوط نسبت به خالص نشان داده است که افزایش عملکرد ممکن است ناشی از افزایش جذب یا تسخیر منابع، افزایش کارایی مصرف منابع یا هر دو مورد به‌صورت توأم باشد (Tsubo et al., 2011). در کشت مخلوط تأخیری گندم (*Triticum aestivum* L.) و پنبه (*Gossypium herbaceum* L.) مشخص شد که تولید بیشتر ماده خشک مخلوط‌ها ناشی از جذب بهتر نیتروژن و نور بوده است (Zhang et al., 2008).

مقایسه میانگین تعداد غوزه در بوته نشان داد که بیشترین تعداد غوزه در بوته (۴۹/۳۳ عدد) از سیستم کشت مخلوط ۵۰٪ چای ترش + ۵۰٪ لوبیا چشم‌بلبلی به‌دست آمد (جدول ۳).

جدول ۲- نتایج آنالیز واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر صفات کمی چای ترش در کشت مخلوط با لوبیا چشم‌بلبل
Table 2- Analysis of variance of the effect of treatments on the quantitative traits of intercropped Roselle with cowpea

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares (MS)						
		عملکرد کاسبرگ Sepal yield	وزن تر کاسبرگ Sepal fresh weight	تعداد غوزه در بوته Pods No. plant ⁻¹	عملکرد بیولوژیک Biological yield	تعداد شاخه فرعی Branches No. plant ⁻¹	قطر ساقه Stem diameter	ارتفاع بوته Plant height
بلوک Block	2	7788.43ns	26065.46**	42.19ns	11266921.6ns	0.250ns	0.0067**	23.52ns
کود Manure	2	163856.20**	196165.94**	9.52ns	68730999.2*	0.583ns	0.2852**	37.52ns
خطای اصلی Main error	4	3004.14	5129.84	14.65	13214015.3	0.583	0.0007	29.86
کشت مخلوط Intercropping ratios	3	139365.80**	65791.27**	82.54*	35757006.5*	3.111*	0.0128**	105.36*
کود×کشت مخلوط Manure×intercropping	6	157158.48**	27675.35**	18.15*	14306953.9**	9.250**	0.2254*	242.97*
خطای فرعی Sub error	18	7448.13	3714.05	25.20	11679882.5	0.620	0.0008	23.82
ضریب تغییرات C.V (%)	-	11.66	6.96	10.71	17.24	11.25	2.62	4.41

ns: غیر معنی‌دار، * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

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

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح کشت مخلوط و سطوح کودی بر صفات چاقی ترش

تیمارهای آزمایشی Experimental treatments	مخلوط اقتصادی Interactions of Inter-cropping and fertilizer levels on the traits of Roselle					تعداد شاخه فرعی Branches number	قطر ساقه ساقیترو Diameter(cm)	ارتفاع بوته ساقیترو Height(cm)
	کلروفیل کل Total chlorophyll(mg/gr.wet weight)	کلروفیل b Chlorophyll b(mg/gr.wet weight)	کلروفیل a Chlorophyll a(mg/gr.wet weight)	کیلوگرم در هکتار Economic performance (kg/ha)	وزن تر کاسبرگ کیلوگرم در هکتار Fresh weight parsley(kg/ha)			
شاهد + ۱۰۰٪ چای ترش Control+Roselle 100%	11.58abc	6.40bcd	4.38abc	696.95bc	784.44def	5.66ef	0.95fg	103.33de
شاهد + ۵۰٪ چای ترش + لوبیا محلی Control+ Roselle 50% + Bean 50%	11.46abc	6.14d	4.45abc	745.77b	718.88ef	5f	0.91gh	109.33cd
شاهد + ۷۵٪ چای ترش + لوبیا محلی + Roselle 75% Control+ Bean25%+ Roselle 75%	11.35abc	5.90d	4.57abc	733.73bc	691.11f	6def	0.85hi	106cde
شاهد + ۷۵٪ چای ترش + لوبیا محلی + Roselle 75% Control+ Bean25%+ Roselle 75%	11.63abc	6.25cd	4.44abc	696.57bc	781.1def	5.33f	0.79i	103.33de
کود گاوی + ۱۰۰٪ چای ترش Cow fertilizer+Roselle 100%	10.72abc	6.96abc	3.84c	525.80d	852.22cde	7cde	1.26c	109cd
کود گاوی + ۵۰٪ چای ترش + لوبیا محلی Cow fertilizer+ Roselle 50% + Bean 50%	10.25bc	6.60abcd	4.20bc	674.67bc	837.78cde	7cde	1.16d	115abc
کود گاوی + ۷۵٪ چای ترش + لوبیا محلی + Roselle 75% Cow fertilizer+ Bean25%+ Roselle 75%	10.23c	6.59abcd	4.28bc	583.95cd	807.77def	7.33bcd	1.06e	112bcd
کود گاوی + ۷۵٪ چای ترش + لوبیا محلی + Roselle 75% Cow fertilizer+ Bean25%+ Roselle 75%	10.89abc	6.67abcd	4.09bc	368.80e	847.77cde	6def	0.97f	111.66bcd
ورمی کمپوست + ۱۰۰٪ چای ترش Vermi compost + Roselle 100%	11.84ab	7.39a	4.82abc	784.60b	1227.78a	8.66ab	1.50a	97.33e
ورمی کمپوست + ۵۰٪ چای ترش + لوبیا محلی Vermi compost+ Roselle 50% + Bean 50%	11.73abc	7.15ab	5.38ab	1170.58a	977.77bc	8.33abc	1.43b	122.66a
ورمی کمپوست + ۷۵٪ چای ترش + لوبیا محلی + Roselle 75% Vermi compost+ Bean25%+ Roselle 75%	11.70abc	7.14ab	5.60a	1138.87a	923.33bcd	9a	1.40b	119.33ab
ورمی کمپوست + ۷۵٪ چای ترش + لوبیا محلی + Roselle 75% Roselle 25%+Bean75%+Vermi compost	12.27a	7.26a	5.11abc	758.20b	1054.44b	8.66ab	1.30c	118.66ab

Means within each column of each section followed by the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test.
در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

در نتیجه تحقیقی گزارش داده شد که افزایش تعداد دانه در بلال در سیستم کشت مخلوط می‌تواند ناشی از بلندتر شدن طول بلال به علت کاهش رقابت برون‌گونه‌ای و افزایش نفوذ نور به داخل کانوپی و دریافت تشعشع توسط برگ‌ها و در نتیجه، افزایش تعداد اندام‌های زایشی باشد (Fathi, 2006). مقایسه میانگین اثرات متقابل وزن تر کاسبرگ نشان داد که بیشترین وزن تر کاسبرگ (۱۲۲۷۷/۷۸ گرم در بوته) از تیمار کود ورمی‌کمپوست در سیستم کشت خالص چای ترش به‌دست آمد (جدول ۴). علت افزایش وزن کاسبرگ در تیمار کشت خالص احتمالاً ناشی از بالاتر بودن تعداد بوته در واحد سطح بود. از سویی دیگر، مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیشترین عملکرد اقتصادی (۱۱۷۰/۵۸ کیلوگرم در هکتار) از تیمار کود ورمی‌کمپوست در سیستم کشت مخلوط ۵۰٪ چای ترش + ۵۰٪ لوبیا چشم‌بلبلی به‌دست آمد (جدول ۴).

نتایج مشابهی در کشت مخلوط ذرت-لوبیا، ذرت-سویا، ذرت-نخود (*Cicer arietinum* L.) و ذرت-سویا-لوپین (*Lupinus polyphyllus* L.) توسط محققان مختلفی گزارش گردید (Mbah Carruthers et al., 2008; & Muoneke, 2007; al., 2000; Chiftchi et al., 2006). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیشترین غلظت کلروفیل (۱۲/۲۷ میلی‌گرم بر گرم) از تیمار کود ورمی‌کمپوست در سیستم کشت مخلوط ۷۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی + ۲۵٪ چای ترش به‌دست آمد (جدول ۳).

مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک (۲۱۲۸۹ کیلوگرم در هکتار) از تیمار کود گاوی در سیستم کشت خالص ۱۰۰٪ لوبیا چشم‌بلبلی به‌دست آمد (جدول ۳). بررسی‌های انجام شده در مورد برتری عملکرد کشت‌های مخلوط نسبت به خالص نشان داده است که افزایش عملکرد ممکن است ناشی از افزایش جذب یا تسخیر منابع، افزایش کارایی مصرف منابع یا هر دو مورد به‌صورت توأم باشد (Tsubo et al., 2011). در کشت مخلوط ذرت سویا، بیشترین عملکرد از مخلوط ۲۵ درصد سویا و ۷۵ درصد ذرت به‌دست آمد (Danaeifar et al., 2001). در کشت مخلوط تأخیری گندم و پنبه مشخص شد که تولید بیشتر ماده خشک مخلوط-ها ناشی از جذب بهتر نیتروژن و نور بوده است (Zhang et al., 2008).

با توجه به نتایج اثر ساده کود بر ارتفاع، عملکرد بیولوژیک، تعداد

نیام در بوته، عملکرد دانه، شاخص برداشت، کلروفیل a و کلروفیل b و اثر ساده نوع کشت مخلوط بر ارتفاع، عملکرد بیولوژیک، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام، عملکرد دانه، شاخص برداشت، کلروفیل a و کلروفیل کل تأثیر معنی‌دار آماری داشت. این در حالی بود که اثر متقابل نوع کود و کشت مخلوط بر کلیه صفات مورد بررسی لوبیا چشم‌بلبلی به‌جز ارتفاع بوته، کلروفیل a و کلروفیل b اثر معنی‌داری داشت (جدول ۴). با افزایش نسبت ورمی‌کمپوست در خاک، اجزای زیست‌توده گونه‌های گیاهی افزایش یافته و عملکرد میوه نیز افزایش قابل توجهی را نشان داد (جدول ۵). احتمالاً دلیل کاهش تعداد نیام در بوته در کشت خالص، رقابت بیشتر بوته‌ها برای دسترسی به منابع و استفاده بهینه از این منابع محیطی می‌باشد. رضایی چپانه و همکاران (Rezaei Chianeh et al., 2011) نیز به نتایج مشابه با آزمایش حاضر رسیدند. مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیشترین تعداد دانه در نیام (۱۳/۱۶ عدد) از تیمار کود ورمی‌کمپوست در سیستم کشت مخلوط ۲۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی + ۷۵٪ چای ترش به‌دست آمد (جدول ۵). نتایج تحقیقی نشان داد که پسماندهای آلی از جمله کمپوست به‌دلیل دارا بودن مقادیر زیاد ترکیبات آلی می‌توانند نقش بسزایی در تأمین ماده آلی خاک و نیز کاهش زبان‌های ناشی از کمبود این مواد در خاک داشته باشند (Delgado et al., 2002). این ترکیبات علاوه بر مواد آلی، معمولاً دارای عناصر مورد نیاز گیاه به‌ویژه فسفر و نیتروژن می‌باشند (Singh & Agrawal, 2008). با بررسی تأثیر کاربرد کمپوست در سطح خاک مشخص شد که کمپوست تنها بر تغذیه خاک مؤثر نبوده، بلکه موجب جلوگیری از تشکیل سله در سطح خاک و کاهش هدررفت آب از طریق تبخیر می‌شود (Bresso et al., 2001). احتمالاً علت افزایش تعداد دانه در نیام در تیمار کاشت مخلوط ناشی از بالاتر بودن شاخص سطح برگ در روزهای پس از تشکیل گل و بالاتر بودن تولید مواد پرورده فتوسنتزی در این سیستم کاشت نسبت به دیگر سیستم‌های کاشت باشد. زیرا طی این مدت مواد پرورده تولید شده در سنتز ترکیبات ذخیره‌ای بذر مصرف می‌شود و هر چه مقدار مواد پرورده تولید شده بیشتر باشد، سنتز ترکیبات ذخیره‌ای بذر نیز افزایش می‌یابد.

مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه (۱۷۸/۳۳ گرم) از تیمار کود ورمی‌کمپوست در سیستم کشت مخلوط ۵۰٪ لوبیا چشم‌بلبلی + ۵۰٪ چای ترش دست آمد (جدول ۵).

با توجه به اینکه وزن هزار دانه به‌عنوان یکی از اجزای مؤثر در عملکرد دانه می‌باشد، این صفت می‌تواند در افزایش عملکرد گیاه لوبیا مؤثر باشد. مصرف کودهای گاو و ورمی‌کمپوست با آزادسازی عناصر غذایی به‌صورت تدریجی باعث بهبود رشد رویشی و اجزای عملکرد، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در نیام و وزن هزار دانه می‌شود. برخی از محققان نیز به نتایج مشابهی در ذرت دست یافتند (Aram et al., 2009). آن‌ها همچنین تأکید کردند که با افزایش کود دامی وزن هزار دانه نیز افزایش پیدا کرد و کمترین مقدار وزن هزار دانه مربوط به شاهد بود. استفاده از کود دامی باعث افزایش میزان عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک و یافت گیاهی شده که خود باعث افزایش فتوسنتز در گیاهان زراعی می‌شود (Liang et al., 2005). گزارش شده است که مصرف کودهای آلی سبب افزایش عملکرد دانه و وزن هزار دانه می‌شود (Roshan Zamir et al., 2007). برخی محققان نیز در بررسی کشت مخلوط اثر تراکم چاودار بر صفات زایشی گندم نتایج مشابهی را گزارش نمودند (Harivandy et al., 2005).

مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۲۴۱۸/۳ کیلوگرم در هکتار) از تیمار کود ورمی‌کمپوست در سیستم کشت مخلوط ۲۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی + ۷۵٪ چای ترش به‌دست آمد (جدول ۵). نتایج مشابهی در کشت مخلوط ذرت- نخود و ذرت- سویا- لوپین توسط (Carruthers et al., Lingaraju et al., 2008) در سال ۲۰۰۰ گزارش گردید. علاوه بر عناصر غذایی و مواد آلی، کمپوست و ورمی‌کمپوست دارای مقادیر زیادی مواد هیومیکی می‌باشد، که این مواد از طریق بهبود زیست‌فراهمی عناصر غذایی خاص، به‌ویژه آهن و روی (Chen et al., 2004) و اثر مستقیم بر متابولیسم گیاهی (Nardi et al., 2002) باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه (Tartoura, 2010) می‌گردند. محققان طی آزمایش چند ساله روی سه گیاه ذرت، سویا و گندم به این نتیجه رسیدند که در سال اول عملکرد این گیاهان تحت تأثیر کمپوست تغییر پیدا نکرد، در صورتی که در سال‌های بعد عملکرد افزایش یافت (Singer et al., 2004). برخی نیز اثر کمپوست را روی افزایش تولید برخی گیاهان دارویی از جمله اسفرزه (*Plantago ovata* L.) و منداب (*Eruca vesicaria* ssp. *Sativa*) مطالعه کردند (Singh et al., 2003).

مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیشترین شاخص برداشت (۲۶/۶۵ درصد) از تیمار کود ورمی‌کمپوست در سیستم کشت مخلوط ۲۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی + ۷۵٪ چای ترش به‌دست آمد (جدول ۵). احتمالاً دلیل افزایش شاخص برداشت در سیستم کشت مخلوط ۲۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی + ۷۵٪ چای ترش نسبت به کشت خالص لوبیا چشم‌بلبلی این باشد که چای ترش در این شرایط از تشعشع و سایر منابع در جهت افزایش و بهبود اجزای عملکرد، بیشتر از دیگر تیمارها استفاده کرده و همین عامل سبب افزایش شاخص برداشت در این تیمار نسبت به دیگر تیمارها شده است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین غلظت کلروفیل کل از تیمار کود گاو (۲۲/۰۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در سیستم کشت مخلوط ۲۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی + ۷۵٪ چای ترش (۲۲/۲۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) به‌دست آمد (جدول ۵). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیشترین غلظت کلروفیل a (۱۹/۰۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از تیمار کود گاو در سیستم کشت مخلوط ۲۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی + ۷۵٪ چای ترش به‌دست آمد (جدول ۵).

یکی از رایج‌ترین روش‌های استفاده شده برای ارزیابی سودمندی عملکرد در کشت مخلوط نسبت برابری زمین (LER) است. به‌وسیله این شاخص معلوم می‌شود که چه مقداری زمین به‌صورت تک‌کشتی مورد نیاز است و همان مقدار محصول به‌صورت مخلوط به‌دست آید (Tsubo et al., 2004). نتایج نشان داد که سیستم‌های مختلف کاشت دارای اثر معنی‌داری بر نسبت برابری زمین در سطح احتمال یک درصد بود (داده‌ها نشان داده نشده است). مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیشترین نسبت برابری زمین (۵/۳۷) از تیمار کود ورمی‌کمپوست در سیستم کشت مخلوط ۲۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی + ۷۵٪ چای ترش به‌دست آمد (جدول ۶)، بیان شده است که بیشترین نسبت برابری زمین (۱/۳۶) از تیمار کشت مخلوط ۱۰۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد بادام زمینی به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار کشت مخلوط ۵۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد بادام زمینی داشت (Dehmardeh, 2010).

جدول ۴- نتایج آنالیز واریانس اثر تیمارهای آزارش بر صفات کمی و کیفی لوبیا چشم‌بلبلی در کشت مخلوط چای ترش
Table 4- Analysis of variance for quantitative and qualitative traits of intercropped cowpea with roselle

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares (MS)									
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Seed yield dane	وزن هزار دانه 1000-seeds weight	تعداد دانه در نیم Seeds number per pod	تعداد نیم در بوته Pod numbers per plant	عملکرد بیولوژیک Biological yield	ارتفاع بوته plant Height
بلوک Block	2	8.32 ^{ns}	0.029 ^{ns}	9.35 ^{ns}	2.49 ^{ns}	130219.4 ^{ns}	523.08 ^{ns}	3.31 ^{ns}	0.203 ^{ns}	5303685.4 ^{ns}	1.36 ^{ns}
کود Manure	2	24.07*	3.69*	9.24 ^{ns}	23.12**	996550.6**	706.08 ^{ns}	1.47 ^{ns}	43.78**	59639340.4**	159.36**
خطای اصلی Main error	4	6.27	1.34	2.72	1.33	46716.3	1451.41	12.99	0.958	2060683.8	6.19
کشت مخلوط Intercropping ratios	3	23.11*	0.159 ^{ns}	24.07**	148.24**	359112.03*	589.37 ^{ns}	9.97*	46.23**	52232096.9**	110.02**
کود×کشت مخلوط Intercropping manure×	6	15.79 ^{ns}	0.974 ^{ns}	11.06*	174.25**	1512209.9**	1043.67*	11.44**	44.80**	91989201.3**	29.69 ^{ns}
خطای فرعی Sub error	18	6.27	1.024	3.025	1.840	105390.51	379.93	2.63	5.081	1529892.6	16.91
ضرب تغییرات C.V (%)	-	12.19	19.73	11.28	10.15	27.24	12.61	15.51	17.14	12.27	13.49

ns، * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.
ns, * and **: are non-significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح کودی بر صفات کمی و کیفی لوبیا چشم‌پنبلی در کشت مخلوط با چای ترش
Table 5- Mean comparisons of the interaction effect fertilizer levels on the quantitative and qualitative traits of intercropped cowpea with roselle

نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index (%)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)	وزن هزار دانه 1000 seeds weight (g)	تعداد دانه در نیام Seeds number in pod	تعداد نیام در بوته pods numbers per plant	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha ⁻¹)
شاهد + ۱۰۰٪ چای ترش Control + roselle 100%	12.68 ^a	10.32 ^{de}	1133.3 ^{cd}	156.67 ^{ab}	10.16 ^{ab}	10.50 ^{cd}	6703 ^f
بدون کود + ۵۰٪ چای ترش + لوبیا چشم‌پنبلی Control + roselle 50% + cowpea 50%	13.43 ^{bc}	11.69 ^{cd}	1090 ^{cd}	161.67 ^{ab}	10.66 ^{ab}	7.66 ^d	5647 ^f
بدون کود + ۷۵٪ لوبیا چشم‌پنبلی + ۲۵٪ چای ترش Control + cowpea 25% + roselle 75%	13.43 ^{bc}	13.75 ^c	1266.7 ^c	156.67 ^{ab}	11 ^{ab}	8 ^d	5133 ^f
بدون کود + ۷۵٪ لوبیا چشم‌پنبلی + ۲۵٪ چای ترش Control + cowpea 25% + roselle 75%	12.68 ^c	11.28 ^{de}	1066.7 ^{cd}	156.67 ^{ab}	10.83 ^{ab}	11.16 ^{cd}	5207 ^f
کود گاوی + ۱۰۰٪ چای ترش Cow fertilizer + roselle 100%	16.87 ^{ab}	5 ^f	601.7 ^{de}	133.33 ^{ab}	7.66 ^b	13 ^c	21289 ^a
کود گاوی + ۵۰٪ چای ترش + ۵۰٪ لوبیا چشم‌پنبلی Cow fertilizer + roselle 50% + cowpea 50%	19.07 ^a	9.009 ^e	583.3 ^{de}	148.33 ^{ab}	8.50 ^b	11.66 ^c	16060 ^b
کود گاوی + ۷۵٪ لوبیا چشم‌پنبلی + ۲۵٪ چای ترش Cow fertilizer + cowpea 25% + roselle 75%	19.07 ^a	9.08 ^e	636.7 ^{de}	131.67 ^{ab}	8.83 ^b	12.16 ^c	11660 ^{cd}
کود گاوی + ۷۵٪ لوبیا چشم‌پنبلی + ۲۵٪ چای ترش Cow fertilizer + cowpea 25% + roselle 75%	16.13 ^{abc}	5.32 ^f	401.7 ^e	125 ^b	8.78 ^b	13.83 ^{bc}	13933 ^{bc}
ورمی کمپوست + ۱۰۰٪ چای ترش Vermi compost + roselle 100%	15.40 ^{bc}	16.76 ^b	1933.3 ^{ab}	172.33 ^a	11.33 ^{ab}	18.16 ^a	11257 ^d
ورمی کمپوست + ۵۰٪ چای ترش + ۵۰٪ لوبیا چشم‌پنبلی Vermi compost + roselle 50% + cowpea 50%	15.52 ^{bc}	24.44 ^a	1548.3 ^{bc}	178.33 ^a	11.33 ^{ab}	14.16 ^{bc}	9570 ^{de}
ورمی کمپوست + ۷۵٪ لوبیا چشم‌پنبلی + ۲۵٪ چای ترش Vermi compost + cowpea 25% + roselle 75%	15.52 ^{bc}	26.65 ^a	2418.3 ^a	170 ^{ab}	13.16 ^a	17 ^{ab}	6930 ^f
ورمی کمپوست + ۷۵٪ لوبیا چشم‌پنبلی + ۲۵٪ چای ترش Vermi compost + cowpea 25% + roselle 75%	15.07 ^{bc}	16.94 ^b	1616.7 ^{bc}	163.33 ^{ab}	13.16 ^a	20.41 ^a	7553 ^{ef}

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
* Means within each column of each section followed by the same letter are not significantly different at $P \leq 0.05$ by Duncan's multiple range test.

کود گاوی: ۳۰ تن در هکتار؛ - ورمی کمپوست ۷۵ تن در هکتار؛ ۱۵ t.ha⁻¹ Vermi compost - Cow manure: 30t.ha⁻¹

عملکرد به‌دست آمده را می‌توان به استفاده بهتر از منابع موجود توسط دو گیاه و اختلاف مورفولوژیک بین آن‌ها و کمتر بودن علف‌هرز در سیستم کشت مخلوط نسبت داد. زانگ و همکاران (Zhang 2003) et al., در بررسی تأثیر الگوی کاشت بر سودمندی کشت مخلوط ذرت و یونجه از طریق شاخص‌های رقابتی دو گونه دریافتند که کشت مخلوط ذرت و یونجه با ترکیب کاشت دو به پنج از بالاترین نسبت برابری زمین (۱/۲۴) برخوردار بود.

نخزری‌مقدم و همکاران (Nakhzari Moghadam et al., 2009) نیز بیشترین میزان LER را در مخلوط ۱۰۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد ماش به‌مقدار ۱/۴۳ گزارش کردند. آن‌ها بیان کردند که تیمارهای مخلوط افزایشی از LER بالاتری نسبت به تیمارهای مخلوط جایگزینی برخوردار بودند و دلیل آن را انتقال بهتر نیتروژن از ماشک به جو ذکر نمودند. کشت مخلوط زمانی سودمند است که عملکرد دانه مخلوط، بیشتر از حداکثر محصول تک‌کشتی باشد. اضافه

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح کشت مخلوط و سطوح کودی بر نسبت برابری زمین (LER)

Table 6- Comparison of interaction effects of the roselle and cowpea intercropping on LER

تیمارهای آزمایشی Experimental treatments	نسبت برابری زمین چای ترش Roselle land equal ratio	نسبت برابری زمین لوبیا چشم‌بلبلی cowpea land equivalent ratio	نسبت برابری زمین کل Total land equal ratio
بدون کود + ۵۰٪ چای ترش + ۵۰٪ لوبیا چشم‌بلبلی Control + roselle 50% + cowpea 50%	2.25 ^{c*}	0.73 ^{de}	1.37 ^{abc}
بدون کود + ۲۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی + ۷۵٪ چای ترش Control + cowpea 25%+ roselle 75%	2.37 ^c	0.79 ^d	1.16 ^{abc}
بدون کود + ۷۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی + ۲۵٪ چای ترش Control + cowpea 25%+ roselle 75%	1.46 ^d	0.68 ^{de}	1.08 ^{bc}
کود گاوی + ۵۰٪ چای ترش + ۵۰٪ لوبیا چشم‌بلبلی Cow fertilizer + roselle 50% + cowpea 50%	1.33 ^d	0.38 ^{ef}	1.05 ^{bc}
کود گاوی + ۲۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی + ۷۵٪ چای ترش Cow fertilizer + cowpea 25%+ roselle 75%	1.39 ^d	0.41 ^{def}	0.97 ^{cd}
کود گاوی + ۷۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی + ۲۵٪ چای ترش Cow fertilizer + cowpea 25%+ roselle 75%	1.31 ^d	0.26 ^f	0.53 ^d
ورمی کمپوست + ۵۰٪ چای ترش + ۵۰٪ لوبیا چشم‌بلبلی Vermi compost + roselle 50% + cowpea 50%	4.96 ^a	3.58 ^b	1.68 ^a
ورمی کمپوست + ۲۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی + ۷۵٪ چای ترش Vermi compost + cowpea 25%+ roselle 75%	5.37 ^a	4.20 ^a	1.52 ^{ab}
ورمی کمپوست + ۷۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی + ۲۵٪ چای ترش Vermi compost + cowpea 75%+ roselle 25%	3.24 ^b	1.87 ^c	1.38 ^{abc}

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means within each column of each section followed by the same letter are not significantly different at $P \leq 0.05$ by duncan's multiple range test.

کود گاوی: ۳۰ تن در هکتار 30t.ha⁻¹ -ورمی کمپوست ۱۵ تن در هکتار: 15 t.ha⁻¹ Vermi compost

نتیجه‌گیری

ورمی کمپوست به‌دست آمد. از سویی دیگر، بیشترین عملکرد بیولوژیک چای ترش در سیستم کشت مخلوط ۷۵٪ چای ترش + ۲۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی (۲۱۹۳۸ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. بیشترین عملکرد اقتصادی در سیستم کشت مخلوط ۵۰٪ چای ترش + ۵۰٪ لوبیا چشم‌بلبلی حاصل گردید. بیشترین غلظت کلروفیل در

نتایج آزمایش بیشترین عملکرد بیولوژیک چای ترش (۲۲۱۵۸ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد اقتصادی (۱۱۷۰/۵۸ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین غلظت کلروفیل (۱۲/۲۷ میلی‌گرم بر گرم) از تیمار کود

در هکتار)، بیشترین شاخص برداشت (۲۶/۶۵ درصد) و بیشترین غلظت کلروفیل کل در سیستم کشت مخلوط ۲۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی + ۷۵٪ چای ترش (۲۲/۲۱ میلی گرم بر گرم وزن تر) به دست آمد. در مجموع، الگو کشت مخلوط توأم با ورمی کمپوست ۵۰٪ چای ترش + ۵۰٪ لوبیا چشم‌بلبلی (بیشترین عملکرد کاسبرگ چای ترش) و الگو کشت مخلوط توأم با ورمی کمپوست ۲۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی + ۷۵٪ چای ترش (بیشترین عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی) برترین الگو پژوهش در شرایط خاک‌های فقیر سیستان بودند.

سیستم کشت مخلوط ۷۵٪ لوبیا چشم‌بلبلی + ۲۵٪ چای ترش بود. مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک لوبیا چشم‌بلبلی (۲۱۲۸۹ کیلوگرم در هکتار) و همچنین بیشترین غلظت کلروفیل کل از تیمار کود گاوی (۲۲/۰۳ میلی گرم بر گرم وزن تر) گزارش گردید. این در حالی بود که بیشترین عملکرد دانه (۲۴۱۸/۳ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین شاخص برداشت (۲۶/۶۵ درصد) از تیمار کود ورمی کمپوست به دست آمد. همچنین، بیشترین عملکرد بیولوژیک لوبیا چشم‌بلبلی در سیستم کشت خالص ۱۰۰٪ لوبیا چشم‌بلبلی به دست آمد. بیشترین عملکرد دانه (۲۴۱۸/۳ کیلوگرم

References

- Ahmad, Y.M. Shahlabi, E.A., and Shnan, N.T., 2011. The use of organic and inorganic cultures in improving vegetative growth, yield characters and antioxidant activity of roselle plants (*Hibiscus sabdarifa* L.). Journal of Biotechnology 10: 1988-1996
- Aram, S., Faramarzi, A., Farbodi, M., and Khorshidi benam, M.B., 2009. Effect of livestock manure levels and planting date on yield and yield components of sweet corn in middle zone. Scientific Journal of Agricultural Sciences, Islamic Azad University, Tabriz Branch 12: 2-11. (In Persian with English Summary)
- Arnon, A.N., 1965. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal 23: 112-121.
- Asadi, GH.A., Momen, A., Nourzadeh Nameghi, M., and Khorramdel, S., 2013. Effect of different levels of organic and chemical fertilizers on performance and nitrogen Performance Indices in psyllium (*Plantago ovata* Forsk.). Journal of Agricultural Science 4(5): 373-382. (In Persian with English Summary)
- Bresso, L.M., Koch, C., Le Bissonnais, Y., Barriuso, E., and Lecomte, V., 2001. Soil surface structure stabilization by municipal waste compost application. Soil Science Society of America Journal 65:1804-1811.
- Carruthers, K., Prithiviraj, B., Fe, Q., Cloutier, D., Martin, R.C., and Smith, D.L., 2000. Intercropping corn with soybean, lupin and forages: yield component responses. European Journal of Agronomy 12: 103-115.
- Chen, C., Westcott, M., Neill, K., Wichman, D., and Knox, M., 2004. Row configuration and nitrogen application for barley-pea intercropping in Montana. Agronomy Journal 96:1730-1738.
- Chiftchi, V., Togay, N., Togay, Y., and Dogan, Y., 2006. The effects of intercropping sowing systems with dry bean and maize on yield components. Journal of Agronomy 5: 53-56.
- Dahiya, S.S., Antilands, R.S., and Arwasra, P.S.K., 2007. Effect of formyard manure and cadmium on the dry matter yield and nutrient uptake by Maize. Journal Indian Society Soil Science 32: 275-278.
- Danaeifar, E.A., Kashani, G., Nourmohammadi, D., Nabati Ahmadi, A., and Siadat, A., 2001. Effects of plant density and sowing compounds on forage yield and quality in Ahvaz weather conditions. Pazhouhesh va Sazandegi 51: 50-53 (In Persian with English Summary)
- Dehmardeh, M., 2010. Investigation of ecophysiological aspects of maize and bean pollen cultivars on the quality and quantity of single maize corn crops 704. Ph.D. Thesis in Agriculture. Faculty of Agriculture, University of Zabol, Iran. (In Persian with English Summary)
- Delgado, M., Porcel, M., Miralles de-Imperial, R., Beltran, M., Beringola L., and Martin Sanchez, J., 2002. Sewage sludge compost fertilizer effect on maize yield and soil heavy metal concentration. Reviewed International Contaminated Ambient 18(3): 147- 150.
- Fathi, G.A., 2006. Effects of planting pattern and population density on light extinction coefficient, light interception and grain yield of Sweet Corn (Hybrid SC402). Journal of Agriculture Science and Natural Resource 12(5): 131-143. (In Persian with English Summary)
- Griffe, P., Metha, S., and Shankar, D., 2003. Organic production of medicinal, aromatic and dye yielding plants (MADPs): forward, preface and introduction. Food and Agriculture Organization 2:52-63.
- Gustave, N.M., Jean, F., Ois, L., and Xavier, D., 2008. Shoot and root competition in potato/maize intercropping,

- Effects on growth and yield. *Environmental and Experimental Botany* 64: 180-188.
16. Harivandy, M.R., Latifi, N., Zeinali, E., Feizabadi, A., and Shojaei, K., 2005. A study of the effect of rye population on reproductive characteristics and grain yield in wheat. *Iranian Journal of Agriculture Science* 36(1): 38-51. (In Persian with English Summary)
 17. Kolawale, G.O., Tian, G., and Singh, B.B., 2000. Differential response of cowpea varieties to aluminum and phosphorus application. *Journal of Plant Nutrition* 23:731-740.
 18. Liang, Y., Si, J., Nikolic, M., Peng, Y., Chen, W., and Jiang, Y., 2005. Organic manure stimulates biological activity and barley growth in soil subject to secondary salinization. *Soil Biology and Biochemistry* 37: 1185-1195.
 19. Lingaraju, B.S., Marer, B.S.S., and Chandrashekar, S.S., 2008. Studies on intercropping of maize and pigeon pea under rain fed conditions in northern transitional zone of Karnataka. *Journal of Agricultural Science* 21: 1-3.
 20. Li-li, M., Li-zhen, Z., Si-ping, Z., Jochem, B.E., and Spiertz, H., 2015. Resource use efficiency, ecological intensification and sustainability of intercropping systems. *Journal of Integrative Agriculture* 14(8): 1542-1550.
 21. Li, H., Feng, W.T., He, X.H., Zhu, P., Gao, H.J., Sun, N., and XU, M.G., 2017. Chemical fertilizers could be completely replaced by manure to maintain high maize yield and soil organic carbon (SOC) when SOC reaches a threshold in the Northeast China Plain. *Journal of Integrative Agriculture* 16(4): 937-946.
 22. Manivannan, S., Balamurugan, M., Parthasarathi, K., Gunasekaran, G., and Ranganathan, L.S., 2009. Effect of vermicompost on soil fertility and crop productivity-Beans (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Environmental Biology* 30: 275-281.
 23. Mbah, E.U., and Muoneke, C.O., 2007. Effect of compound fertilizer on the yield and productivity of soybean and maize in soybean/ maize intercrop in southeastern Nigeria. *Trop. and subtrop. Agro-ecosystems* 7: 87-95.
 24. Mbah, E.U., Muoneke, C.O., and Okpara, D.A., 2008. Evaluation of cassava (*Manihot esculenta*) planting methods and soybean (*Glycine max*) sowing dates on the yield performance of the component species in cassava/soybean intercrop under the humid tropical lowlands of southeastern Nigeria. *African Journal of Biotechnology* 8(1): 42-47.
 25. Miyazawa, K., and shiozaki, H., 2000. The optimum amount of manure for long term application and adjustment of fertilizer use in thick high-humic andosolos in the south-west warm region of Japan. *Bulletin of the Kyushu Nathan Agricultural Experiment Station* 26(3): 187-220.
 26. Mortvedt, J.J., 2003. Research techniques with micronutrient fertilizers for use in deficient crop production, National Fertilizer and Environmental Research Center Tennessee USA, 267-275.
 27. Nakhzari Moghadam, A., Chaich, M.R., Mazaheri, D., Rahimian Mashhadi, H., Majnoon Hosseini, N., and Noriani, A.A., 2009. The Effects of Corn (*Zea mays*) and Green Gram (*Vigna radiata*) Intercropping on some quantity characteristics of forage and weed biomass. *Iranian journal of field crop science* 40(4): 113-121. (In Persian with English Summary)
 28. Najafi, N., Mostafaei, M., Dabbagh, A., and Oustan, S., 2013. Effect of intercropping and farmyard manure on the growth, yield and protein concentration of corn, bean and bitter vetch. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 23(1): 99-115. (In Persian with English Summary)
 29. Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., and Vianello, A., 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biological Biochemistry* 34: 1527-1536.
 30. Rahimian, H., Salahi Moghadam, M., and Golvi, M., 1992. Potato intercropping with corn and sunflower. *Collection of Journals of Agricultural Science and Industry* 6: 45-85. (In Persian with English Summary)
 31. Rajaii, M., and Dahmardeh, M., 2014. The evaluation of corn and peanut intercropping on efficiency of use the environmental resource and soil fertility. *Journal of Agricultural Science* 6(4): 99-108.
 32. Rezaei Chianeh, E., Dabbagh Mohammadi Nassab, M., Ghassemi-Golezani, K., and Aharizad, S., 2011. Study of some agronomical characteristics of maize in intercropping with faba bean. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 2(21): 1-16. (In Persian with English Summary)
 33. Roghanian, S., 2004. Studying the effects of garbage waste water and compost on some soil chemical properties and corn responses. *Iranian Journal of Field Crop Science* 1: 531-556. (In Persian with English Summary)
 34. Roshan Zamir, F., Golvi, M., and Kamaraki, H., 2007. Effect of organic matter on yield and yield components of safflower cultivars. *Proceedings of the Congress of Agronomy and Plant Breeding in Tehran, Tehran, Iran*. p. 277 (In Persian with English Summary)
 35. Sharifi, Y., Agha Alikhani, M., Modares Sanavi, A., and Soroush Zadeh, A., 2005. Effect of mixing ratio and plant density on forage production in mixed crop sorghum with blubber beans. *Twelfth Iranian Congress of Agronomy*

- and Plant Breeding. p. 352 (In Persian with English Summary)
36. Shaygan, M., Mazaheri, D., Rahimian Mashhadi H., and Peyghambari, S.A., 2008. Effect of planting date and intercropping maize (*Zea mays* L.) and foxtail millet (*Setaria italica* L.) on their grain yield and weeds control. Iranian Journal of Crop Sciences. 10(1): 31-46. (In Persian with English Summary)
37. Singer, J.W., Kohler, K.A., Liebman, M., Richard, T.L., Cambardella, C.A., and Buhler, D.D., 2004. Tillage and compost affect yield of corn, soybean and wheat and soil fertility. Agronomy Journal 96: 531-537.
38. Singer, W.J., Sally, S.D., and Meek, D.W., 2007. Tillage and compost effects on corn growth, nutrient accumulation, and grain yield. Agronomy Journal 99:80-87.
39. Singh, D., Chand, S., Anvar, M., and Patra, D., 2003. Effect of organic and inorganic amendment on growth and nutrient accumulation by isabgol (*Plantago ovata*) in sodic soil under greenhouse conditions. Aromat Plant Science 25: 414-419.
40. Singh, R.P., and Agrawal, M., 2008. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. Waste Management 28: 347-358.
41. Tartoura, A.H., 2010. Alleviation of oxidative-stress induced by drought through application of compost in wheat (*Triticum aestivum* L.) plants. American-Eurasian Journal Agriculture Environment Science 9(2): 208-216.
42. Tsubo, M., Mukhala, E., Ogindo, H., and Walker, S., 2004. Productivity of maize-bean intercropping in a semi-arid region of South Africa. Water SA. 29: 381-388.
43. Tsubo, M., Walker, S., and Mukhala, E., 2011. Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations. Field Crops Research 71: 17-29.
44. Tuna, C., and Orak, A., 2007. The role of intercropping on yield potential of common vetch / oat cultivated in pure stand and mixtures. Journal of Agriculture Biological Science 2: 14-19.
45. Vandermeer, J., 1992. The ecology of intercropping. Great Britain at the University Press. Cambridge. p. 222.
46. Wang, X.C., Deng, X.Y., Pu, T., Song, C., Yong, T.W., Yang, F., Sun, X., Liu, W.G., Yan, Y.H., Du, J., Liu, J., Su, K., and Yang, W.Y., 2017. Contribution of interspecific interactions and phosphorus application to increasing soil phosphorus availability in relay intercropping systems. Field Crops Research 204: 12-22.
47. Yang, G., Aiwang, D., Jingsheng, S., Fusheng, L., Zugui, L., Hao, L., and Zhandong, L., 2009. Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. Field Crop Research 111: 65-73.
48. Zand, B., and Ghaffari Khaliq, H., 2002. Evaluation of grain sorghum-cowpea intercropping under different planting patterns. Proceeding of the 7th Iranian Congress of Crop Sciences, Karaj, Iran, 24-26 Aug. 2001. (In Persian with English Summary)
49. Zhang, F.S., and Li, L., 2003. Using competitive and facilitative interactions in intercropping system enhance crop productivity and nutrient use efficiency. Plant and Soil 248: 305-312.
50. Zhang, L., Spiertz, J.H.J., Zhang, S., Li, B., and Van Der Werf, W., 2008. Nitrogen economy in relay intercropping systems of wheat and cotton. Plant and Soil 303: 55-68.



Evaluation of Organic Fertilizers on Yield and Yield Components in Intercropping of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) and Cow Pea (*Vigna unguiculata* L.)

S.D. Rigi¹, M. Dahmardeh^{2*}, I. Khammari³ and S.M. Moosavi Nik⁴

Submitted: 12-05-2019

Accepted: 31-08-2019

Rigi, S.D., Dahmardeh, M., Khammari, I., and Moosavi Nik, S.M., 2020. Evaluation of organic fertilizers on yield and yield components in intercropping of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) and cow pea (*Vigna unguiculata* L.). Journal of Agroecology. 12(2):211-226.

Introduction

Intercropping due to better use of environmental resources, has led to this type of agronomic system in livelihoods farming having an important role in providing food and has a special place in the design of sustainable agro-ecosystems. The superiority of yield in intercropping cultivation is due to the combination of various factors such as better use of soil moisture, light and nutrients. Organic fertilizers such as vermi compost and animal manure lead to improve the performance of plant by increasing the availability of moisture and nutrients available to plants, and consequently increase soil organic matter. Considering the importance of suitable cropping pattern and determining the optimal feeding systems agricultural systems, the current study aimed to evaluate intercropping systems of Roselle and cowpea with organic fertilizers and the introduction of best cultivation model as well as the optimal amount of fertilizer. The experiments were carried out in the Sistan region.

Materials and Methods

In order to investigate the effects of vermicompost and cow manure on morphological characteristics in Roselle and cowpea, the experiments conducted at the Research Institute of Zabol University during growing season of 2016. Treatments experiment included three levels of organic fertilizers as the main plot including cow fertilizer (30 t.ha⁻¹), vermicompost fertilizer (15 t.ha⁻¹) and control as well as 5 levels of intercropping patterns including (100% Roselle, 100% cowpea, 50% Roselle+ 50% cowpea, 25% Roselle+ 75% cowpea and 75% Roselle+ 25% cowpea). As subplot agent, from the middle of each plot five plants were harvested randomly at the end of the growing season to determine yield. Finally, data analysis was performed using SAS version 9.1. Comparison of mean treatments was performed using Duncan's multiple range test at 5% probability level. Irrigation was performed every day (7 days) on average according to the requirement of both plants. Relative performance of each component was calculated to calculate the Land Equivalent Ratio (LER).

Results and Discussion

The results of variance analysis showed that the interaction of organic fertilizers and intercropping except for the traits of stem height and chlorophyll content (a,b) of cowpea, is significant for all traits measured Roselle and cowpea. The highest dry sepal yield Roselle (1170.58 kg.ha⁻¹) was obtained in vermicompost and 50% Roselle and 50% cowpea and highest Seed yield of cowpea (2418.3 kg.ha⁻¹) was for vermicompost+ cowpea 25%+ Roselle 75%. The use of organic fertilizers improves vegetative growth and yield components by releasing nutrients gradually. Intercropping is useful when the yield of the intercropping product is greater than the maximum single crop product. Yield increment can be attributed to the better use of the available resources by the two plants, the morphological differences between them and the lower weed in the intercropping system. The

1- M.Sc. Student of Agroecology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Iran.

2, 3 and 4- Associate Professor, Assistants Professor and Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Iran.

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

Doi:10.22067/jag.v12i2.80655

results showed that plant systems have a significant effect on the Land Equivalent Ratio (LER). The highest LER (5.37) of Treatment Vermicompost+ cowpea 25% + Roselle 75%, showed the advantage of intercropping over sole crop. Concerning the superiority of intercropping to sole crop, it can be argued that increasing yield is due to increased resource efficiency in intercropping system.

Conclusion

In the present study the highest sepal yield of Roselle was obtained in intercropping system with vermicompost with 50% Roselle and 50% cowpea and highest seed yield of cowpea was observed in intercropping system with vermicompost with cowpea 25%+ Roselle 75%. The results of the experiment indicate that the performance of both species was influenced by different ratios of cultivation and fertilization. Intercropping cultivation in Roselle and cowpea is much more profitable than single cultivation, because of the significant and beneficial interactions that make use of environmental resources (such as water, nutrients, and sun light).

Keywords: Economic yield, Intercropping, Land equivalent ratio, Vermicompost



مقاله علمی - پژوهشی

ارزیابی عملکرد کمی و کیفی اکوتیپ‌های زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) در واکنش به تاریخ‌های کاشت در شرایط آب‌وهوایی سبزوار

حسن ریوندی^۱، شهرام رضوان^{۲*}، متین جامی معینی^۳، جعفر مسعود سینیکی^۴، علی دماوندی^۵ و سارا سنجانی^۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۰۵

ریوندی، ح.، رضوان، ش.، جامی معینی، م.، سینیکی، ج.م.، دماوندی، ع. و سنجانی، س.، ۱۳۹۹. ارزیابی عملکرد کمی و کیفی اکوتیپ‌های زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) در واکنش به تاریخ‌های کاشت در شرایط آب‌وهوایی سبزوار. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۲(۲): ۲۲۷-۲۴۰.

چکیده

زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) از مهم‌ترین گیاهان دارویی اهلی در ایران و یکی از قدیمی‌ترین دانه‌های ادویه‌ای بوده که توسط بشر استفاده می‌شده است. جهت بررسی اثر تاریخ کاشت بر ویژگی‌های کمی و کیفی اکوتیپ‌های مختلف زیره سبز، آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان سبزوار در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. سه تاریخ کاشت ۳۰ دی‌ماه، ۲۰ بهمن‌ماه و ۱۰ اسفند ماه و چهار اکوتیپ زیره سبز شامل سبزوار، بیرجند، کرمان و بیارجمند به‌ترتیب به‌عنوان عامل کرت‌های اصلی و فرعی مدنظر قرار گرفتند. در این آزمایش صفات ارتفاع بوته، تعداد چتر در بوته، تعداد بذر در چتر، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، عملکرد و درصد اسانس مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بیشترین تعداد چتر در بوته، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و بیولوژیک همچنین درصد اسانس در تاریخ کاشت ۳۰ دی‌ماه به‌دست آمد و تأخیر در کاشت باعث کاهش ویژگی‌های کمی و کیفی زیره سبز گردید. در بین اکوتیپ‌های مورد بررسی، اکوتیپ سبزوار بیشترین تعداد چتر در بوته، ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک و درصد اسانس را دارا بود. بیشترین تعداد بذر در هر چتر، عملکرد دانه و اسانس نیز در اکوتیپ سبزوار و در تاریخ کاشت ۳۰ دی‌ماه تولید گردید. به‌طوری‌که عملکرد دانه و اسانس اکوتیپ سبزوار در تاریخ کاشت ۳۰ دی‌ماه در مقایسه با ۱۰ اسفند ماه به‌ترتیب ۴۷/۵ و ۷۷/۷ درصد افزایش نشان داد. بنابراین، با توجه به پاسخ بهتر اکوتیپ سبزوار در تاریخ کشت ۳۰ دی‌ماه برای منطقه سبزوار، مطالعات بیشتر برای معرفی این اکوتیپ به کشاورزان منطقه توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تعداد چتر در بوته، عملکرد اسانس، عملکرد دانه، گیاه دارویی

مقدمه

خصوصیات دارویی، دارای اسانس روغنی با خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ضدباکتریایی است که در صنایع غذایی، بهداشتی و آرایشی کاربردهای فراوانی دارد. به‌علاوه این گیاه از جهت اشتغال‌زایی نقش قابل توجهی داشته و صادراتی بودن آن نیز باعث ارزآوری برای کشور شده است (Soheili et al., 2010). طبق آمار وزارت جهاد کشاورزی در سال ۱۳۹۳ تقریباً ۱۳۹۴/۳ تن زیره سبز خام صادر شده است که ارزش آن برابر با ۴۱۹۳۰۹۲ دلار می‌باشد (Ministry of Agriculture, 2014). این گیاه به‌دلیل خصوصیات خاص از جمله فصل رشد کوتاه، نیاز آبی کم و انطباق فصل رشد با فصل بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر کرمان از گذشته مورد توجه کشاورزان این منطقه از کشور بوده است (Ghanbari et al., 2014).

زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) به‌عنوان مهم‌ترین گیاه دارویی اهلی در کشور شناخته شده است. این گیاه علاوه بر دارا بودن

۱ و ۴- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار، گروه زراعت، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران.

۲- استادیار، مرکز تحقیقات تولید و فن‌آوری داروهای گیاهی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران.

۳- استادیار گروه زراعت، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران.

۵- استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

(*) نویسنده مسئول: Email: shahramrezvan93@yahoo.com
Doi: 10.22067/jag.v12i2.78488

یکی از مهم‌ترین عوامل مدیریت در تولید محصولات زراعی و دارویی، تاریخ کاشت مناسب می‌باشد (Adamsen & Coffelt, 2005) که تغییر در آن منجر به تغییر عوامل آب‌وهوایی در طی فصل رشد و متعاقباً در تولید محصول می‌شود (Ortiz & Lobell, 2007). با توجه به نقش تعیین‌کننده عوامل اقلیمی بر رشد و نمو و عملکرد گیاهان زراعی، تاریخ کاشت مناسب با انطباق دوره‌های بحرانی عملکرد و اجزای عملکرد با زمانی که منابع محیطی بیشتر در دسترس می‌باشند، می‌تواند منجر به حصول حداکثر عملکرد محصولات زراعی گردد. بنابراین، تغییر در تاریخ کاشت به دلیل تغییر در پارامترهای آب‌وهوایی می‌تواند منجر به ایجاد محیط‌های رشدی متفاوت برای ارقام مختلف گیاهان زراعی باشد (Soleimani et al., 2011). گزارش شده است که نسبت بالایی از کل تغییرات عملکرد مربوط به اثر متقابل ژنوتیپ در تاریخ کاشت است که این امر به شدت می‌تواند انتخاب برای سازگاری وسیع به تاریخ‌های متفاوت کاشت را پیچیده کند (De La Vega et al., 2002). در دیگر مطالعات نیز سهم قابل توجهی از تغییرات را به اثر تاریخ و اثر متقابل ژنوتیپ و تاریخ کاشت نسبت داده‌اند (Ullah et al., 2007). در مطالعه اثر چهار تاریخ کاشت ۲۱ آبان، ۲۱ آذر، ۲ و ۲۷ اسفند بر رشد و عملکرد چهار توده بومی زیره سبز در شرایط آب‌وهوایی مشهد گزارش شد که علی‌رغم برتری اجزای عملکرد در تاریخ کاشت اول نسبت به دیگر تاریخ‌های کاشت، بالاترین عملکرد دانه و بیولوژیک به دلیل عدم وجود تلفات زمستانه، در تاریخ کاشت سوم (دوم اسفند ماه) به دست آمد (Soheli et al., 2010). نظامی و همکاران (Nezami et al., 2009) با بررسی واکنش تعدادی از توده‌های بومی زیره سبز به تاریخ‌های کاشت پاییزه در شرایط آب‌وهوایی مشهد بیان داشتند که با تأخیر در کاشت از ۲۵ مهر به ۲۵ آذر تعداد چتر در بوته و تعداد دانه در چتر کاهش یافت؛ این در حالیست که گیاهان تاریخ کاشت سوم دارای بالاترین درصد بقای زمستانه، عملکرد دانه و بیولوژیک بودند. نتایج مدل مورد استفاده توسط کامکار و همکاران (Kamkar et al., 2007) در سه استان خراسان شمالی، رضوی و جنوبی حاکی از آن است که آذرماه و در شرایطی که امکان کاشت برای این گیاه فراهم باشد، بهمن‌ماه بهترین تاریخ کاشت برای این گیاه است. قانع و همکاران (Ghane et al., 2017) در بررسی اثر پرایمینگ و تاریخ کاشت بر صفات عملکردی و فیزیولوژیکی دو توده زیره سبز بیان داشتند که با تأخیر در کاشت از ۱۰ اسفند به ۲۵ اسفند عملکرد دانه

اکوتیپ‌های زیره سبز نیشابور و سبزوار به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در بررسی اثر تاریخ کاشت بر عملکرد و کمیت اسانس زیره سبز و شنلبله در شرایط آب‌وهوایی مشهد گزارش شده است که این دو گیاه در تاریخ کاشت آبان ماه دارای عملکرد دانه و اسانس بالاتری نسبت به تاریخ‌های کاشت آذر و اسفند بودند (Rezvani Moghaddam & Moradi, 2012). قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2014) بیان نمودند که برای دستیابی به حداکثر عملکرد دانه زیره سبز، کاشت اکوتیپ کرمان در اسفندماه و جهت حصول حداکثر عملکرد اسانس اکوتیپ‌های سمنان و کرمان باتوجه به برتری نسبت به سایر اکوتیپ‌ها، در منطقه کرمان توصیه می‌شود. یکی از مشکلات کشاورزان جهت کاشت زیره سبز در پاییز و زمستان، عدم دسترسی به ژنوتیپ‌های متحمل به سرمای این گیاه می‌باشد. به نظر می‌رسد که شناسایی و معرفی اکوتیپ‌های زیره سبز که در کاشت پاییزه-زمستانه، بتوانند شرایط سرد توأم با یخبندان در زمستان را در ابتدای دوره رشد رویشی تحمل کرده و با شروع فصل بهار رشد رویشی خود را تکمیل و وارد مرحله زایشی شوند، بهبود و ثبات عملکرد در این گیاه را به دنبال خواهد داشت (Soheili et al., 2010).

با توجه به اهمیت گیاه زیره سبز از جمله توجیه اقتصادی بالا و صادراتی بودن این گیاه (Rahimiyan Mashhadi, 1991)، فصل رشد کوتاه، نیاز آبی کم و انطباق فصل رشد با فصل بارندگی از دیرباز مورد توجه کشاورزان منطقه سبزوار بوده است (Barikani et al., 2009). لذا این تحقیق با هدف بررسی پتانسیل عملکرد اکوتیپ‌های زیره سبز در تاریخ‌های متفاوت کاشت و تعیین مناسب‌ترین زمان کاشت برای این گیاه در شرایط آب‌وهوایی سبزوار انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در شهرستان سبزوار با مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۷ درجه و ۸ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۷۹۸ متر از سطح دریا به صورت کرت-های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. عامل اصلی شامل تاریخ کاشت در سه سطح (۳۰ دی‌ماه، ۲۰ بهمن‌ماه و ۱۰ اسفندماه) و عامل فرعی شامل اکوتیپ‌های زیره سبز در چهار سطح (سبزوار، بیرجند، کرمان و بیارجمند) بودند. اطلاعات هواشناسی منطقه مورد مطالعه در طول فصل رشد در جدول ۱ آورده شده است. اقلیم غالب در این مناطق به ترتیب نیمه‌بیابانی

پشته‌ها به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر انجام شد. پس از قرار دادن بذرها در شیارهای روی پشته‌ها، روی بذرها توسط مخلوطی از خاک مزرعه و ماسه بادی پوشانیده شد و اولین آبیاری به‌صورت سیفونی برای تمام کرت‌ها صورت پذیرفت. بذر مصرفی به‌میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار و تراکم نهایی ۱۲۰۰۰۰ بوته زیره سبز در هکتار در نظر گرفته شد (Kafi & Keshmiri, 2016).

گرم، بیابانی گرم، بیابانی سرد و نیمه‌بیابانی سرد می‌باشد. زمین مورد استفاده در پاییز شخم نسبتاً عمیق خورده (۳۵ سانتی‌متر) و در زمستان به‌منظور خرد کردن کلوخه‌ها دیسک زده شد. پس از دیسک، جوی و پشته‌ها با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متری و به‌طول ۳/۵ متر به‌کمک دستگاه شیارساز ایجاد شدند. عملیات کاشت دستی در عمق دو تا سه سانتی‌متری به‌صورت ردیفی انجام شد. چون گیاه زیره سبز به شرایط غرقابی حساس است (Sadeghy, 2002)، بنابراین کاشت بر روی

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی محل انجام آزمایش در طول فصل رشد
Table 1- Meteorological records of experimental site during the growing season

ماه‌ها Months عوامل اقلیمی Climate factors	آذر December	دی January	بهمن February	اسفند March	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June
بیشینه دما Maximum temperature (°C)	12.2	12.04	10.2	17.02	23.2	20.9	37.8
کمینه دما Minimum temperature (°C)	5.1	0.34	0.7	4.25	11.20	16.89	22.97
میانگین دما Mean temperature (°C)	6.8	6.19	5.45	10.63	17.19	24.13	30.4
بارندگی Rainfall (mm)	0.8	0.6	63.8	14	36.8	14.2	0

کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه حذف شد و در سطح باقی‌مانده (از هر کرت مساحتی معادل چهار مترمربع) عملکرد بیولوژیک و دانه اندازه‌گیری شد. قبل از انجام محاسبات مربوطه، وزن ۱۰ بوته نمونه‌برداری شده به وزن بوته‌های برداشت شده از سطح چهار مترمربع اضافه گردید. پنجاه گرم نمونه برداشت شد و برای تعیین درصد اسانس مورد استفاده قرار گرفت. به‌منظور استخراج اسانس از نمونه‌های تهیه شده از روش تقطیر با بخار آب توسط دستگاه کلونجر استفاده شد و درصد اسانس مربوط به هر نمونه تعیین گردید. داده‌ها با نرم‌افزار SAS 9.1 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال یک و پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

تاریخ کشت اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته، تعداد چتر در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، درصد و عملکرد اسانس

بذور توده‌های بومی مورد بررسی در هریک از تاریخ‌های کاشت به‌وسیله دست در طرفین هر پشته داخل شیار ایجاد شده با تراکم نسبتاً زیاد (۱۸۰ تا ۲۰۰ بوته در مترمربع) کاشته شدند. برای رسیدن به تراکم مورد نظر (۱۲۰ بوته در مترمربع) گیاهچه‌های سبز شده در هر یک از تاریخ‌های کاشت، طی دو مرحله شامل ظهور برگ‌های لپه‌ای و به‌ویژه در نقاط بسیار متراکم و عملیات تنک نهایی چند روز بعد جهت حصول تراکم مورد نظر تنک شدند. هم‌زمان با عملیات تنک، نسبت به کنترل مکانیکی علف‌های هرز نیز اقدام گردید. گیاهان مربوط به هریک از تاریخ‌های کاشت، طی سه نوبت (مرحله بعد از کاشت، گل‌دهی و مرحله دانه‌بندی) بر اساس عرف منطقه آبیاری شدند.

برای تعیین اجزای عملکرد در هنگام برداشت ۱۰ بوته به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب و صفات ارتفاع بوته، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در هر چتر و وزن هزار دانه اندازه‌گیری و شمارش شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک و دانه در هر کرت دو ردیف

($P \leq 0/01$) داشت (جدول ۲). نتایج همچنین نشان داد که صفات ارتفاع بوته، تعداد چتر در بوته، تعداد بذر در چتر، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک، درصد اسانس و عملکرد اسانس تحت اثر اکوتیپ

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد ارزیابی در اکوتیپ‌های زیره سبز تحت تأثیر تاریخ کاشت
Table 2- Analysis of variance (mean squares) for the measured traits in cumin ecotype in different planting date

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد چتر در بوته Umbel per plant	تعداد بذر در چتر Seed per umbel	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد اسانس Essential oil yield	درصد اسانس Essential oil percentage
تکرار Replication	2	0.083	0.527	9.36	0.0017	7058	672	0.0068	0.0431
تاریخ کاشت Sowing date	2	70.45**	45.44**	12.86 ns	0.004**	759908**	187428**	2.61**	0.068**
خطای اصلی Main error	4	1.26	0.569	7.81	0.00026	541	272	0.022	0.074
اکوتیپ Ecotype	3	16.75**	26.88**	60.39*	0.001 ns	23425**	5852 ^{ns}	0.091**	0.242**
اکوتیپ × تاریخ کاشت Sowing date×ecotype	6	5.217 ns	3.66 ns	144.45*	0.00066*	30197 ^{ns}	1793*	0.012*	0.0055 ns
خطای فرعی Sub error	18	2.28	4.51	12.07	0.00046	8517	511	0.0028	0.0056
ضریب تغییرات CV (%)		6.94	17.39	16.18	6.63	15.54	10.16	15.84	8.85

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

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

ارتفاع بوته

بیشترین ارتفاع بوته در تاریخ کاشت دی‌ماه با میانگین ۲۳/۵۳ سانتی‌متر و کمترین ارتفاع بوته در تاریخ کاشت سوم (۱۰ اسفند ماه) با میانگین ۱۹ سانتی‌متر به دست آمد (جدول ۳). به نظر می‌رسد افزایش ارتفاع بوته زیره سبز در کاشت دی‌ماه نسبت به کاشت اسفند می‌تواند به دلیل طولانی‌تر بودن فصل رشد در تاریخ کاشت دی‌ماه باشد (Azizi et al., 2015). قابل ذکر است طول دوره رشد در تاریخ‌های کاشت دی، بهمن و اسفند ماه به ترتیب ۱۰۰، ۸۴ و ۷۰ روز بود که نتایج آزمایش بیانگر افزایش ارتفاع ۱۹/۱ درصدی در ارتفاع گیاه در تاریخ کاشت دی‌ماه نسبت به اسفندماه بود. کاهش ارتفاع گیاه با تأخیر در کشت احتمالاً با کوتاه‌تر شدن دوره رشد رویشی گیاه به دلیل برخورد با گرما مرتبط است که با نتایج زهتاب و همکاران (Zahtab et al., 2002) مطابقت دارد.

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که اکوتیپ سبزوار با میانگین ۲۳/۴ سانتی‌متر دارای بیشترین ارتفاع بوته در بین اکوتیپ‌های مورد بررسی بود که اختلاف معنی‌داری با اکوتیپ کرمان نداشت و کمترین ارتفاع بوته زیره سبز مربوط به اکوتیپ بیرجند با ۲۰/۴۴ سانتی‌متر بود (جدول ۳). تفاوت معنی‌داری بین اکوتیپ‌های بیرجند و سبزوار در رابطه با ارتفاع بوته مشاهده نشد. برتری ارتفاع اکوتیپ زیره سبزوار نسبت به سایر اکوتیپ‌های مورد بررسی را می‌توان به دلیل پتانسیل بالای این اکوتیپ و فرصت رشد رویشی بیشتر قبل از ورود به فاز زایشی بیان کرد که در نهایت، باعث افزایش رشد و ارتفاع در اکوتیپ سبزوار شده است. نظامی و همکاران (Nezami et al., 2009) نیز با بررسی واکنش تعدادی از توده‌های بومی زیره سبز به تاریخ کاشت پاییزه در شرایط آب‌وهوایی مشهد بیان کردند که تأخیر در تاریخ کاشت منجر به کاهش ارتفاع گیاه شد.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی در اکوتیپ‌های زیره سبز و تاریخ‌های متفاوت کاشت
Table 3- Mean comparisons of measured traits for cumin ecotypes and different planting dates

Table 3: Mean comparisons of measured traits for different ecotypes and different planting dates									
تیمار Treatment		ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد بذر در تعداد چتر در بوته Umbel per plant	چتر Seed per umbel	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیکی Biological yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد اسانس Essential oil yield (g.m ⁻²)	درصد اسانس Essential oil percentage
تاریخ کاشت Planting date	دی 19 th Jan.	23.53 ^{a*}	14.33 ^a	24.66 ^a	3.4 ^a	526.09 ^a	1170 ^a	1.10 ^a	2.02 ^a
	بهمن 8 th Feb.	22.75 ^a	11.83 ^b	22.91 ^b	3.1 ^b	417.21 ^b	884 ^b	0.81 ^b	1.03 ^b
	اسفند 28 th Feb.	19 ^b	10.5 ^c	20.83 ^b	3 ^c	276.80 ^c	668 ^c	0.50 ^c	0.72 ^b
اکوتیپ Ecotype	سبزوار Sabzevar	23.46 ^a	14.2 ^a	22 ^{ab}	3.1 ^a	546 ^a	0.82 ^a	0.82 ^a	1.49 ^a
	کرمان Kerman	22.26 ^{ab}	12.3 ^a	24.77 ^a	3.3 ^a	522 ^a	0.77 ^b	0.77 ^b	1.31 ^b
	بیرجند Birjand	20.44 ^c	12.2 ^a	20.44 ^b	3.3 ^a	537 ^a	0.85 ^a	0.85 ^a	1.21 ^c
	بیارجمند Bivarjomand	20.89 ^{bc}	10 ^b	18.66 ^b	3.1 ^a	508 ^a	0.76 ^b	0.76 ^b	1.11 ^d

* میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس 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.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ‌های کاشت و اکوتیپ بر صفات زیره سبز
Table 4- Mean comparisons for interaction of different sowing date and various ecotypes on cumin traits

اکوتیپ Ecotype	تاریخ کاشت Sowing date	تعداد بذر در چتر Seeds per umbel	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد اسانس Essential oil yield (g.m ⁻²)
سبزوار Sabzevar	دی 19 th Jan.	30.33 ^a *	4.3 ^a	577.3 ^a	1.33 ^a
	بهمن 8 th Feb.	22.66 ^{bc}	4 ^b	428.5 ^d	0.53 ^e
	اسفند 28 th Feb.	26 ^{abc}	3.1 ^{efg}	303 ^e	0.296 ^g
بیارجمند Biyarjomand	دی 19 th Jan.	19.33 ^{cd}	3.7 ^c	538.13 ^b	1.13 ^b
	بهمن 8 th Feb.	20.33 ^{cd}	3.3 ^{de}	413 ^d	0.436 ^{ef}
	اسفند 28 th Feb.	23.66 ^{bc}	2.9 ^{fg}	248 ^d	0.19 ^h
بیرجند Birjand	دی 19 th Jan.	24 ^{abc}	3.5 ^{cd}	509 ^{bc}	1.02 ^c
	بهمن 8 th Feb.	22.66 ^{bc}	3.3 ^{de}	423 ^d	0.4 ^f
	اسفند 28 th Feb.	15.38 ^{de}	3 ^{efg}	311 ^e	0.206 ^h
کرمان Kerman	دی 19 th Jan.	28 ^{ab}	3.2 ^{de}	479 ^c	0.923 ^d
	بهمن 8 th Feb.	14 ^{de}	3.2 ^{de}	403 ^d	0.366 ^{fg}
	اسفند 28 th Feb.	11.2 ^e	2.8 ^g	245 ^f	0.123 ^h

* میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس 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.

تعداد چتر در بوته

بیشترین تعداد چتر در بوته در تاریخ کشت دی ماه با میانگین ۱۴/۳ چتر در بوته و کمترین در تاریخ کاشت اسفندماه با میانگین ۱۰/۵ چتر در بوته به دست آمد (جدول ۳). تعداد چتر در بوته گیاهان کشت شده در بهمن ماه برابر با ۱۱/۸۳ عدد بود که تفاوت معنی داری با تاریخ های کاشت دی و اسفند داشت (جدول ۳). بیشترین تعداد چتر در بوته در توده سبزوار با ۱۴/۲ چتر در بوته و کمترین تعداد چتر در بوته در اکوتیپ بیارجمند با ۱۰ چتر در بوته به دست آمد که نسبت به اکوتیپ های کرمان و بیرجند به ترتیب ۱۸/۶ و ۱۸ درصد کاهش نشان داد (جدول ۳). قابل ذکر است که نتایج آزمایش نشان داد که اکوتیپ های کرمان و بیرجند تفاوت معنی داری با سبزوار نشان ندادند. بیشتر بودن تعداد شاخه فرعی از جمله دلایل بیشتر بودن تعداد چتر در بوته در تاریخ کاشت دی می باشد. طی تحقیقی که روی پنج توده بومی زیره سبز انجام شد، تعداد چتر در بوته بین ۱۱/۷ و ۱۹/۳ چتر در بوته گزارش شد، به طوری که اکوتیپ های تربت حیدریه و سبزوار کمترین و اکوتیپ قائن بیشترین تعداد چتر را داشتند (Nezami et al., 2010). طی یک بررسی گزارش شد که به دلیل حساسیت شدید زیره سبز به طول روز، کشت دیر هنگام این گیاه فرصت کافی برای توسعه بوته و تشکیل چتر لازم برای دوره زایشی را فراهم نساخته و گیاه بدون تکمیل دوره رویشی وارد دوره زایشی خود می شود که این مسئله باعث کاهش تعداد چتر در بوته، تعداد دانه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در کشت های دیر هنگام می شود (Rahimiyan Mashhadi, 1991).

تعداد دانه در چتر

نتایج تجزیه واریانس صفات حاکی از اثر متقابل معنی دار اکوتیپ در تاریخ کاشت برای صفت تعداد دانه در چتر بود ($P \leq 0.05$) (جدول ۲). مقایسه میانگین داده ها نشان داد، بیشترین تعداد دانه در چتر در اکوتیپ سبزوار در تاریخ کاشت دی ماه با میانگین ۳۰/۳۳ عدد و کمترین تعداد دانه در چتر در اکوتیپ کرمان در تاریخ کاشت اسفند با میانگین ۱۱/۲ دانه در چتر به دست آمد (جدول ۴). با تأخیر در کاشت نیز اکوتیپ سبزوار دارای بیشترین تعداد دانه در چتر بود که نشان دهنده پتانسیل بالای این اکوتیپ از نظر صفت مورد مطالعه در منطقه مورد آزمایش می باشد. به نظر می رسد که اکوتیپ های مختلف در شرایط محیطی متنوع از نظر پتانسیل تولید تعداد دانه در چتر،

تفاوت باشند. در کشت های زودهنگام، زیره سبز فرصت کافی جهت طی نمودن رشد زایشی به طور طبیعی دارد و گیاه از رشد کافی و شاخه بندی خوبی برخوردار است و در نتیجه عملکرد آن بالاست، ولی در کشت دیر هنگام، زیره سبز فرصت کافی به منظور طی کردن دوره رویشی ندارد و قبل از کامل نمودن دوره رویشی، مرحله زایشی آغاز شده و گیاه کوتاه مانده و در نتیجه، تعداد دانه در چتر کاهش می یابد (Kafi et al., 2002). در بررسی اثر اکوتیپ های زیره سبز در شرایط آب و هوایی مشهد گزارش شد که بیشترین تعداد بذر در چتر مربوط به گیاهان کاشت اول (۸/۶ بذر در چتر) و کمترین آن مربوط به گیاهان کاشت سوم (۶/۸ بذر در چتر) بود و با تأخیر در کاشت از ۲۶ مهر به ۸ آذر تعداد دانه در چتر ۲۱ درصد کاهش داشت (Khorasani et al., 2012).

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین وزن هزار دانه در تاریخ کاشت زودهنگام به دست آمد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین وزن هزار دانه در توده سبزوار در تاریخ کشت اول با میانگین ۴/۳۹ گرم و کمترین وزن هزار دانه در اکوتیپ کرمان در تاریخ اسفندماه با میانگین ۲/۸۲ گرم به دست آمد (جدول ۴). با تأخیر در کاشت (از ۳۰ دیماه به ۱۰ اسفند) در اکوتیپ سبزوار ۲۷/۹ درصد، بیارجمند ۲۱/۶ درصد، بیرجند ۱۴/۲ درصد و کرمان ۱۲/۵ درصد کاهش وزن هزار دانه مشاهده شد. نتایج بیانگر این است که در بین اکوتیپ های مورد مطالعه اکوتیپ کرمان با تأخیر در کاشت از درصد کاهش وزن هزار دانه کمتری برخوردار می باشد. به نظر می رسد با وجود دوره رشد زایشی تقریباً یکسان گیاهان در تاریخ های کاشت مورد مطالعه، کوتاه بودن طول دوره رشد رویشی گیاهان در تاریخ کاشت دوم و سوم باعث تولید گیاهانی با تاج پوشش رویشی کوچک گردیده که با افزایش طول روز در بهار و با وجود رشد رویشی ناکافی، وارد مرحله زایشی شده و در نتیجه، تجمع ماده خشک گیاه در زمان گل دهی در حد مطلوبی نبوده و این امر سبب کاهش وزن هزار دانه شده است. در بررسی اثر چهار تاریخ کاشت ۲۱ آبان، ۲۱ آذر، ۲ اسفند و ۲۷ اسفند بر عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز گزارش شد بیشترین وزن هزار دانه در تاریخ کاشت اول به دست آمد (Soheili et

ماه‌های اسفند و اوایل فروردین به دلیل گرم شدن هوا و خشک شدن سریع خاک خیلی مطلوب نمی‌باشد، لذا تاریخ کاشت دی و آذرماه در این منطقه برای کاشت زیره پیشنهاد می‌گردد.

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تاریخ کاشت و اکوتیپ بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$) (جدول ۲). بیشترین عملکرد بیولوژیک در اکوتیپ سبزوار به مقدار ۹۷۶ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد بیولوژیک در اکوتیپ بیارجمند به مقدار ۵۸۵ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۳). همچنین بیشترین عملکرد بیولوژیک در تاریخ کشت دی‌ماه با میانگین ۱۱۷۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد بیولوژیک در تاریخ کاشت اسفند ماه با میانگین ۶۶۸ کیلوگرم به دست آمد (جدول ۳). در تحقیقی اثر تاریخ کاشت (۱۶ اسفند، ۸ فروردین، ۲۹ فروردین و ۲۰ اردیبهشت) بر عملکرد و اجزای عملکرد زنیان (*Trachyspermum ammi* L.) گزارش شد که با تأخیر در کشت، عملکرد زنیان کاهش یافت؛ به طوری که تاریخ کاشت ۲۰ اردیبهشت با عدم سبز شدن کامل همراه بود (Boroumand et al., 2010). در بررسی اثر تاریخ کاشت (۳۰ دی، ۲۰ بهمن و ۱۰ اسفند) بر گیاه زیره سبز گزارش شد با تأخیر در کاشت زیره سبز، عملکرد بیولوژیک به طور معنی‌داری کاهش پیدا می‌کند، به دلیل این که زیره سبز به عوامل اقلیمی حساس می‌باشد و کشت این گیاه بایستی زمانی صورت گیرد که فرصت کافی به منظور رشد رویشی و شاخه بندی وجود داشته باشد (Ghorbani et al., 2009). قابل ذکر است که عملکرد بیولوژیک در اکوتیپ سبزوار نسبت به اکوتیپ‌های کرمان، بیرجند و بیارجمند به ترتیب ۶/۵، ۹/۶ و ۱۲ درصد افزایش نشان داد. اختلاف معنی‌دار اکوتیپ‌های مختلف زیره سبز از نظر تولید عملکرد بیولوژیک توسط محققان مختلف گزارش شده است (Khorasani et al., 2012). نظامی و همکاران (Nezami et al., 2009) با بررسی واکنش تعدادی از توده‌های بومی زیره سبز به تاریخ‌های کاشت پاییزه در شرایط آب‌وهوایی مشهد بیان داشتند که بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک به ترتیب در توده قائن در تاریخ کاشت سوم با ۱۳۶/۸ گرم در مترمربع و خواف در کاشت سوم با میانگین ۴۲/۳ گرم در مترمربع حاصل شد، بر اساس نتایج این پژوهشگران تأخیر در کاشت از ۲۵ مهر به ۲۵ آذر عملکرد بیولوژیک در توده‌های بومی تربت حیدریه و خواف بیش از ۱۰۰ درصد و در توده‌های بومی قائن و

(al., 2010). رحیمیان مشهدی (Rahimiyan Mashhadi, 1991) گزارش کرد که که کشت دیر هنگام زیره سبز باعث کاهش تعداد دانه و وزن هزار دانه در این گیاه می‌شود.

عملکرد دانه

اثر تاریخ‌های متفاوت کاشت و اثر متقابل تاریخ‌های کاشت و اکوتیپ بر عملکرد دانه معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$) (جدول ۲). اکوتیپ سبزوار با داشتن پتانسیل عملکرد بالاتر در محیط مورد آزمایش توانست برتری قابل توجهی نسبت به سایر اکوتیپ‌ها نشان دهد، به طوری که این اکوتیپ در تاریخ کاشت ۳۰ دی‌ماه نسبت به سایر اکوتیپ‌ها در تاریخ‌های کاشت مختلف از نظر تولید برتری داشت که این نشان‌دهنده پتانسیل رشد و تولید بالای اکوتیپ سبزوار در شرایط آب‌وهوایی محل مورد مطالعه می‌باشد. این تیمار به دلیل داشتن بیشترین تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و وزن هزار دانه بالاترین عملکرد دانه را تولید کرد. تحقیقات 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). با تأخیر در کاشت کاهش عملکرد اکوتیپ‌های سبزوار، بیارجمند، بیرجند و کرمان از ۳۰ دی‌ماه به ۲۰ اسفند به ترتیب برابر با ۴۷/۵، ۵۳/۹، ۳۸/۸ و ۴۸/۸ درصد بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد دلایل افزایش عملکرد اکوتیپ‌های مورد مطالعه در کشت دی‌ماه توسعه بیشتر ریشه، برگ و همچنین افزایش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی و استفاده بیشتر و مؤثرتر گیاهان از عوامل محیطی می‌باشد (Mollafilabi & Esfandiari, 2018). نظامی و همکاران (Nezami et al., 2010) در بررسی اثر تاریخ‌های مختلف کاشت (۲۵ مهر، ۲۵ آبان و ۲۵ آذر) بر اکوتیپ‌های مختلف زیره سبز گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه در واحد سطح در تاریخ کاشت آذرماه به دست آمد. نتایج برخی بررسی‌ها نشان داد که تأخیر در کاشت به دلیل افزایش حضور و رقابت علف‌های هرز موجب کاهش عملکرد زیره سبز نسبت به کاشت زودهنگام گردید (Hewitt et al., 1998). گزارش شده است که کاشت دیر هنگام زیره به دلیل کاهش طول دوره رشد و به تبع آن کاهش فتوسنتز و تولید ماده خشک موجب کاهش عملکرد شد (Ayub et al., 2008). ملافیلابی و همکاران (Mollafilabi & Esfandiari, 2018) بیان کردند که کشت زیره در منطقه بیرجند در

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.

درصد اسانس

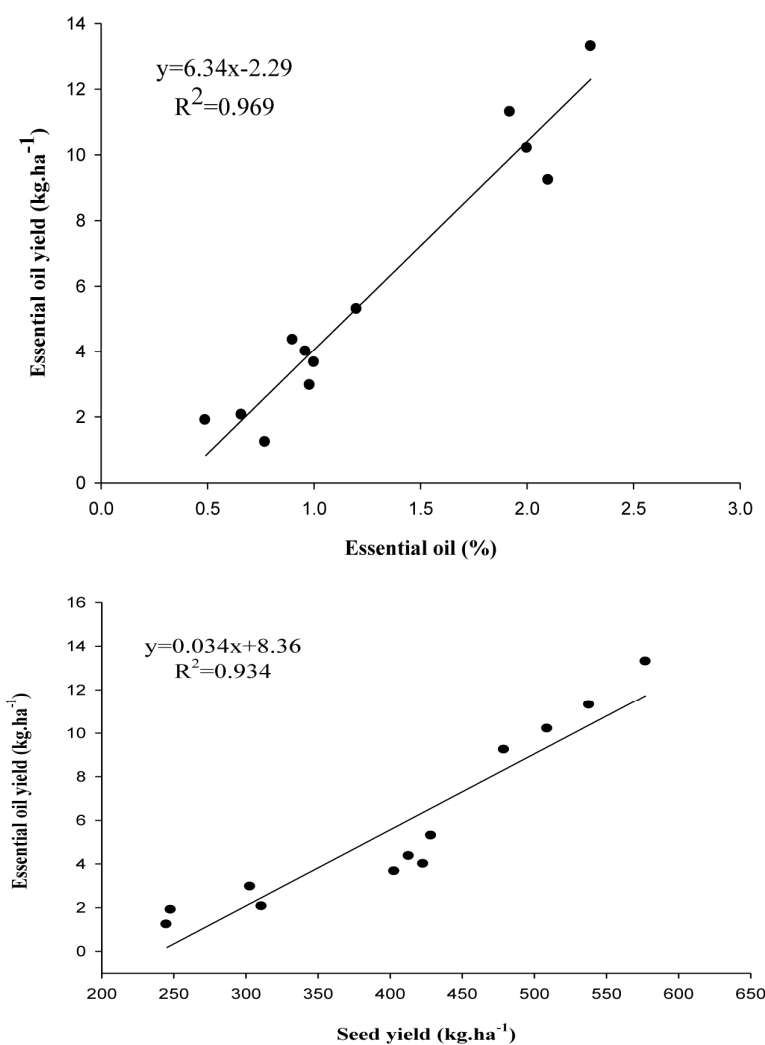
نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد، درصد اسانس در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تاریخ کاشت و اکوتیپ قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین درصد اسانس در اکوتیپ سبزوار به مقدار ۱/۴۹ درصد و کمترین درصد اسانس در اکوتیپ بیارجمند به مقدار ۱/۱۱ درصد به دست آمد. همچنین بیشترین درصد اسانس در تاریخ کاشت دی‌ماه به مقدار ۲/۰۲ درصد و کمترین درصد اسانس در تاریخ اسفند به مقدار ۰/۷۲ درصد به دست آمد (جدول ۳). افزایش درصد اسانس در تاریخ کاشت دی‌ماه نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت را می‌توان به استفاده مناسب‌تر گیاهان در این تاریخ کاشت از عوامل محیطی به دلیل بیشتر بودن طول دوره رشد دانست. به عبارت بهتر کاشت در دی‌ماه به دلیل مطلوب بودن کیفیت و شرایط آب‌وهوایی برای افزایش تولید اسانس مناسب‌ترین تاریخ کاشت برای این صفت شناخته شد. تغییرات در عوامل محیطی نظیر دما، تابش و طول روز می‌تواند بر میزان اسانس تولیدی و کیفیت آن اثر داشته باشد (Kafi et al., 2002). هاشمیان و همکاران (Hashemian et al., 2013) با بررسی میزان اسانس زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) در ۱۱ توده بومی مورد کشت و کار در شمال شرق کشور تأیید نمودند که درصد اسانس در توده‌های مذکور در دامنه ۱/۳۶ تا ۲/۲۰ درصد متفاوت بود. ایشان اظهار داشتند که به نظر می‌رسد محتوی اسانس بذر گیاه زیره سبز بیش از هر عاملی تحت تأثیر ژنتیک این گیاه باشد. از طرفی، قانع و همکاران (Ghane et al., 2017) نشان دادند که تأخیر در تاریخ کاشت از ۲۵ بهمن‌ماه به ۲۵ اسفند ماه منجر به کاهش ۲۳/۹ درصدی در درصد اسانس دو توده زیره سبز شد. ملافیلابی و همکاران (Mollafilabi & Esfandiari, 2018) بیان کردند که اثر تاریخ کاشت بر درصد اسانس زیره سبز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد و تأخیر در کاشت از دی‌ماه به اسفندماه باعث کاهش ۵۰ درصدی در میزان درصد اسانس شد. نتایج مطالعه حاضر نیز اثر تاریخ کاشت دیر هنگام را بر کاهش معنی‌دار درصد اسانس نشان داد.

عملکرد اسانس

در بین اکوتیپ‌های مختلف زیره سبز از لحاظ عملکرد اسانس اختلاف معنی‌داری بین اکوتیپ‌های سبزوار (۰/۸۲ کیلوگرم در هکتار) و بیرجند (۰/۸۵ کیلوگرم در هکتار) مشاهده نشد. این در حالی است که این صفت در اکوتیپ بیارجمند (۰/۷۶ کیلوگرم در هکتار) به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از اکوتیپ‌های دیگر بود. گیاهان تاریخ کاشت اول (۲۰ دی‌ماه) از نظر عملکرد اسانس افزایش معنی‌داری نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت نشان دادند، به‌طوری‌که با تأخیر در کاشت از دی‌ماه به اسفندماه عملکرد اسانس ۵۴/۵ درصد کاهش نشان داد. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد، بیشترین عملکرد اسانس در اکوتیپ سبزوار در تاریخ کشت دی‌ماه به مقدار ۱/۳۳ گرم در مترمربع و کمترین عملکرد اسانس در تاریخ کشت اسفندماه در اکوتیپ کرمان به مقدار ۰/۱۲ گرم در مترمربع به دست آمد (جدول ۴). با تأخیر در کاشت از ۲۰ دی‌ماه به ۲۰ اسفند در اکوتیپ سبزوار، عملکرد اسانس ۷۸/۱ درصد کاهش نشان داد. این کاهش در اکوتیپ‌های بیارجمند، بیرجند و کرمان به ترتیب برابر با ۸۳/۱، ۸۰/۲ و ۸۶/۶ درصد بود. از آن‌جا که عملکرد اسانس وابسته به مدیریت زراعی می‌باشد (Abreu & Mazzafera, 2005)، لذا کاشت زود هنگام با بهبود خصوصیات رشدی، وزن هزار دانه و عملکرد دانه موجب افزایش عملکرد اسانس شد. گزارش شده است گیاهان خانواده چتریان نظیر زیره سبز گونه‌هایی ضعیف از نظر جوانه‌زنی و استقرار، به‌ویژه در مراحل ابتدایی رشد هستند، لذا باید کاشت این گیاهان را در تاریخ مناسب برای دستیابی به عملکرد مطلوب کمی و کیفی مدنظر قرار داد (Selim et al., 2013). نتایج بررسی روی زیره سبز در چهار تاریخ کاشت ۱۵ بهمن، ۳۰ بهمن، ۱۵ و ۲۹ اسفند نشان داد تأخیر در کاشت سبب کاهش عملکرد اسانس در زیره سبز می‌شود (Sardoui et al., 2010). عملکرد اسانس برآیندی از درصد اسانس و عملکرد دانه می‌باشد (Tanu et al., 2004). مشاهده ضرایب تبیین در شکل ۱ (الف و ب) به‌خوبی این موضوع را تصدیق می‌نماید. به‌طوری‌که با افزایش هر کدام از صفات عملکرد دانه و درصد اسانس میزان عملکرد اسانس افزایش یافت. در این تحقیق رابطه خطی بین درصد و عملکرد اسانس و همچنین عملکرد دانه و عملکرد اسانس به ترتیب با ضریب تبیین ۹۶ و ۹۳ درصد مشاهده شد. باختری و همکاران (Bakhtari et al., 2017) نیز اظهار داشتند که یک رابطه خطی و مثبتی بین عملکرد

بسیار بیشتر از درصد اسانس بود.

دانه و عملکرد اسانس زیره سبز مشاهده شد، این در حالیست که این محققین بیان نمودند که تأثیرپذیری عملکرد اسانس از عملکرد دانه



شکل ۱- رابطه عملکرد اسانس با درصد اسانس (الف) و عملکرد دانه (ب) زیره سبز

Fig. 1- Correlation between essential oil yield with essential oil percentage (A) and seed yield (B) of cumin

نتیجه‌گیری

کاشت دی‌ماه، افزایش جذب تشعشعات فعال فتوسنتزی و استفاده بیشتر و مؤثرتر گیاهان از عوامل محیطی سبب افزایش پتانسیل تولید گردید. همچنین قابل ذکر است با توجه به حساسیت گیاه زیره سبز به فتوپریود و دما، تأخیر در کاشت سبب می‌گردد تا گیاهان فرصت کافی جهت رشد رویشی قبل از ورود به فاز زایشی را نداشته و عملکرد آن کاهش می‌یابد. نتایج این آزمایش نشان داد که در بین اکوتیپ‌های مورد مطالعه، اکوتیپ سبزوار در منطقه مورد مطالعه از پتانسیل تولید

یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد در زیره سبز تاریخ نامناسب کاشت می‌باشد. تاریخ کاشت مطلوب زیره سبز در یک منطقه سبب کاهش اثرات تنش‌های زیستی، غیرزیستی در طول فصل رشد می‌گردد. نتایج این آزمایش نشان داد که در کشت زمستانه زیره سبز با تأخیر در کاشت از دی‌ماه به اسفندماه، عملکرد دانه و اسانس به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به نظر می‌رسد در تاریخ

کاشت در اکوتیپ سبزوار مشاهده شد. با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش، کاشت اکوتیپ سبزوار در تاریخ کاشت دی‌ماه به‌دلیل پتانسیل بالای عملکرد این اکوتیپ در منطقه سبزوار پیشنهاد می‌گردد که البته این امر نیازمند مطالعات تکمیلی می‌باشد.

بالا‌تری برخوردار بود. به‌طوری‌که در تاریخ کاشت دی‌ماه بیشترین عملکرد دانه و اسانس را به خود اختصاص داد. قابل ذکر است که با تأخیر در کاشت از دی‌ماه به اسفندماه اکوتیپ‌های بیارجمند و بیرجند به‌ترتیب بیشترین و کمترین درصد کاهش عملکرد را نشان دادند، این در حالیست که کمترین درصد کاهش عملکرد اسانس با تأخیر در

References

1. Abreu, I.N., and Mazzafera, P., 2005. Effect of water and temperature stress on the content of active constituents of *Hypericum brasiliense* Choisy. *Plant Physiology and Biochemistry* 43: 241–248.
2. Adamsen, F. J., and Coffelt, T.A., 2005. Planting date effects on flowering, seed yield, and oil content of rape and crambe cultivars. *Industrial Crops and Products* 21:293-307.
3. Ahmadi, L., Mirza, M., and Caliriad, A., 2001. Investigating the effect of drying time on cumin essential oil (*Cuminum cyminum* L.). *Research of Iranian Medicinal Plants and Herbs* 7: 100-89. (In Persian with English Summary)
4. 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.
5. Azizi, A., Shahrogi, A., Military, A., Mohammad Abadi, A., and Soheili, R., 2015. Effect of planting date on two fennel ecotypes in Mashhad weather conditions. *Journal of Horticulture* 29(1): 1-10. (In Persian with English Summary)
6. Bagheri, F., and Blochi, H., 2013. Effect of planting date on some quantity and quality nine grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.) in Yasouj. *Journal of Crop Production and Processing* 3(9): 29-42. (In Persian with English Summary)
7. Bakhtari, S., Khajoei Nejad, G., and Mohammadi Nejad, G., 2017. The effect of Irrigation cut-off in flowering stage and foliar application of spermidine on essential oil quality and quantity of three ecotype of cumin. *Journal of Agroecology* 8(4): 521-535. (In Persian with English Summary)
8. Barikani, E., mohamadzadeh, R., and shanoshi, N., 2009. Economic analysis of cumin production and marketing case study of Sabzevar. *Journal of Agricultural Economics and Development* 64(16): 119-139 (In Persian with English Summary)
9. Broomand Rezazadeh, Z., Rezvani Moghadam, P., and Rashed Mohassel, M.H., 2010. Effect of planting date and plant density on morphological traits and essential oil percent of ajowan (*Trachyspermum ammi*). *Iranian Journal of Field Crops Research* 4:161-172. (In Persian with English Summary)
10. De la Vega, A.J., and Hall, A.J., 2002. Effect of planting date, genotype and their interaction on sunflower yield. I. Determinants of oil-corrected grain yield. *Crop Science* 42: 1191-1201.
11. Ehsanipour, A., Razmjoo, K., and Zeinali, H., 2011. Effect of nitrogen rates on yield and yield components and essential oil content of several fennel (*Foeniculum vulgar* Mill.) populations. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 28: 579-593. (In Persian with English Summary)
12. Export and Import of Agricultural Sector., 2014. Ministry of Agriculture- Jahad, Tehran, Iran. p. 158. (In Persian)
13. Ghane, H., Amirshakari, 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* 19(3): 561-575. (In Persian with English Summary)
14. Ghanbari, J., Khajoeinejad, G., and Mohammadinejad, G., 2014. Study of yield potential and essential oil content of cumin ecotypes in different sowing dates at Kerman. 13th Iranian Crop Science Congress, Karaj, Iran. (In Persian)
15. Ghorbani, R., Koocheki, A., Jahani, M., Hosseini, A., and Mohammad-Abadi, A.A., 2009. Effect of planting date, weed control time and method on yield and yield components of cumin. *Iranian Journal of Field Crops Research* 7(1): 143-151. (In Persian with English Summary)
16. Hashemian, N., Ghasemi Pirbaloti, A., Hashemi, M., Golparvar, A., and Hamed, B., 2013. Diversity in chemical

- composition and antibacterial activity of essential oils of cumin (*Cuminum cyminum* L.) diverse from Northeast of Iran. Australian Journal of Crop Science 7(11): 1752-1760.
17. Hewitt, M., Bullen, K., and George, D., 1998. Comparison of three weed control method: chemical, flame, and water. University of Queensland, Gatton College, Lawes, Qld. 4345.
18. Kafi, M., Rashed Mohassel, M.H., Koocheki, A., and Nassiri Mahalati, M., 2002. Cumin (*Cuminum cyminum* L.): Production Technology and Processing. Ferdowsi University of Mashhad Publication, Mashhad, Iran. 168 pages. (In Persian with English Summary)
19. Kafi, M., and Keshmiri, E., 2016. The changes in the physiological growth and the react of the salinity and number of irrigation water of two cumin cultivars (*Cuminum cyminum* L.). Journal of Agroecology 8(3): 463-475. (In Persian with English Summary)
20. Khorasani, Z., Nezami, A., Nassiri Mahallati, M., and Mohammadabadi, A., 2012. Evaluation of planting cumin ecotypes in Mashhad weather conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 10(1): 43-52. (In Persian with English Summary)
21. Kamkar, B., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Rezvani Moghaddam, P., 2007. Yield gap analysis of cumin in nine regions of Khorasan provinces using modelling approach. Iranian Journal of Field Crops Research 5(2): 333-341. (In Persian with English Summary)
22. 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)
23. 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. (In Persian with English Summary)
24. Nezami, A., Khorramdel, S., Nassiri-Mahallati, M., and Mohammad-Abadi, A.A., 2009. Effect of planting date on cumin (*Cuminum cyminum*) landraces in Mashhad condition. Environmental Stresses in Agricultural Sciences (ESAS) 2(1): 1-13. (In Persian with English Summary)
25. Ortiz-Monasterio, J.I., and Lobell, D.B., 2007. Remote sensing assessment of regional yield losses due to sub-optimal planting dates and fallow period weed management. Field Crops Research 101: 80-87.
26. Rahimian Mashhadi, H., 1991. Effect of planting date and irrigation regime on growth and yield of cumin. Agricultural Knowledge 3: 61-46. (In Persian with English Summary)
27. Rezvani Moghaddam, P., and Moradi, R., 2012. Assessment of planting date, biological fertilizer and intercropping on yield and essential oil of cumin and fenugreek. Iranian Journal of Field Crop Sciences 2: 217-230. (In Persian with English Summary)
28. Sadeghy, B., 2002. The effect of nitrogen and irrigation on the production of cumin. Iranian Scientific and Industrial Research Organization. Center of Khorasan, Mashhad, Iran. (In Persian)
29. Sardouei, A., Shirzadi, M., Naghavi, H., and Khodroi, M., 2011. Effect of planting date and plant density on essential oil yield, grain yield and some morphological traits of cumin. National Conference on Medicinal Plants, Sari, Iran, 2-4 March 2011. (In Persian)
30. Selim, S.M., Ebtsam, M.M.A., Tawfik, M.S.H., Abou-Sreea, A.I., 2013. Effect of sowing date, sow spacing and biofertilizer on yield and oil quality of fennel plant (*Foeniculum vulgare* Mill.). Australian Journal of Basic and Applied Sciences 7(2): 882-894.
31. Soheili, R., Nezami, A., Khazaei, H., and Nassiri Mahallati, M., 2010. Effect of planting date on yield and yield components of four landraces of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 8(5): 772-783. (In Persian with English Summary)
32. Soleimani, B., Khosh-Khui, M., and Ramezani, S., 2011. Planting date effects on growth, seed yield essential oil content and chemical composition of ajowan. Journal of Applied Biological Sciences 5(3): 7-11.
33. Tanu, A., Prakash, A., and Adholeya, A., 2004. Effect of different organic manures composts on the herbage and essential oil yield of *Cymbopogon winterianus* and their influence on the native AM population in a marginal alfisol. Bioresource Technology 92: 311-319.
34. Ullah, I., Ayub, M., Khan, M.R., Ashraf, M., Mirza, M.Y., and Yousef, M., 2007. Graphical analysis of multienvironment trial (MET) data in sunflower (*Helianthus annuus* L.) through clustering and GGE biplot technique. Pakistan Journal of Botany 39: 1639-1646.

35. Zahtab Salmasi, Qjavanshirm, R., Omidbigi, H., Aliyari, K., and Ghasemi Golzani, K., 2002. Ecophysiological effects of irrigation and planting date on growth, yield and yield components of Anisone herb. Journal of Agricultural Science 13(4): 37-49.



Evaluation of Quantity and Quality Yield of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) Ecotypes in Different Planting Date under Sabzevar Climatic Conditions

H. Rivandi¹, S. Rezvan^{2*}, M. Jami Moeini³, J.M. Sinaki⁴, A. Damavandi⁴ and S. Sanjani⁵

Submitted: 12-01-2019

Accepted: 27-08-2019

Rivandi, H., Rezvan, S., Jami Moeini, M., Sinaki, J.M., Damavandi, A., and Sanjani, S., 2020. Evaluation of quantity and quality yield of cumin (*Cuminum cyminum* L.) Ecotypes in different planting date under Sabzevar climatic conditions. Journal of Agroecology. 12(2):227-240.

Introduction

Cumin (*Cuminum cyminum* L.) is one of the most important domestic herbs in Iran and is one of the earliest spices used by humans. Due to its characteristics such as short growing season, low water requirement, non-interruption of growth season with other agricultural products as well as high economic justification for other crops and export, it has found a special place in arid and semi-arid areas, including Sabzevar. Growth, yield and characteristics of medicinal plants are influenced by environmental factors such as temperature and light that can be varied by different sowing dates. Planting date is one of the most important factors in crop performance improvement and percentage of essential oil of cumin, which is resulted in weather parameters changes during the growing season and then in the production. In addition, the use of the adapted ecotype to the environmental conditions of the area plays a major role in achieving a proper performance. A high proportion of the total variation in yield is related to the interaction of genotype in planting history, which can greatly complicated the choice for a broad adaptation to different sowing dates. This research was carried out with aim of investigating the changes in yield of cumin ecotypes in different planting dates and determining the optimum planting time for this plant under Sabzevar climatic conditions.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of planting date on quantitative and qualitative characteristics of different cumin populations, field experiment was conducted as split plots in a randomized complete block design with three replications in Sabzevar, Iran during 2016-2017. The factors included sowing date at three levels: 30 January, 20 February and 10 March, as well as different cumin ecotype in four levels of Sabzevar, Birjand, Kerman and Biyarjomand, respectively, assigned to the main plots and sub plots, respectively. Plant height, Umbel per plant, Seed per umbels, 1000- Seed yield, Biological yield, Essential oil yield and Essential oil percentage were measured and calculated accordingly. The treatments were run as an analysis of variance (ANOVA) to determine if significant differences existed among treatments means. Multiple comparison tests were performed for significant effects using the Duncan's test.

Results and Discussion

The results showed that the highest number of umbels per plant, plant height, 1000-seed weight, seed yield and biological yield, as well as percentage of essential oil were obtained in the sowing date of January 30, and the delay in planting reduced the qualitative and quantitative characteristics of cumin. Among the studied ecotypes, Sabzevar ecotype had the highest number of umbrellas per plant, plant height, biological yield and essential oil percentage, as well as the highest number of seeds per umbels, seed yield and essential oil in Sabzevar ecotype and at sowing date of 30 January. It turned out that Sabzevar ecotype seems to have shown significant superiority to other ecotypes with higher potential performance in the studied environment. In this

1 and 4- Ph.D. Student of Agronomy and Assistant Professor, Department of Agronomy, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran, respectively.

2- Assistant Professor, Production and Technology of Herbal Medicines Research Center, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Agronomy, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran.

5- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

(*- Corresponding Author Email: shahramrezvan93@yahoo.com)

Doi:10.22067/jag.v12i2.78488

research, linear relationship between essential oil percentage and yield, as well as seed yield and essential oil yield were observed with 96% and 93%, respectively.

Conclusion

The optimum cumin's planting date in one region causes reduction of the effects of non-biotic stresses during the growing season. The results of this experiment showed that in winter crop cultivation, seed yield and essential oil significantly decreased by delayed planting from January to March. In addition, Sabzevar ecotype in the study area had higher production potential. As for sowing date, the highest seed yield and essential oil were obtained in the first and second month of sowing. It seems that planting of cumin in the January increases the production potential due to increasing growth period and absorption of photosynthetic active radiation, as well as more effective use of plants from environmental factors.

Keywords: Essential oil yield, Medicinal plant, Seed yield, Umbel per plant



مقاله علمی - پژوهشی

ارزیابی خصوصیات اکوفیزیولوژیکی در کشت مخلوط ردیفی بزرگ (*Linum usitatissimum* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تأثیر منابع کودی در شرایط دیم

سهیلا اسدی^۱، اسماعیل رضائی چپانه^{۲*} و رضا امیرنیا^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۲۳

اسدی، س.، رضائی چپانه، ا.، و امیرنیا، ر.، ۱۳۹۹. ارزیابی خصوصیات اکوفیزیولوژیکی در کشت مخلوط ردیفی بزرگ (*Linum usitatissimum* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تأثیر منابع کودی در شرایط دیم. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۲(۲): ۲۴۱-۲۶۴.

چکیده

به منظور بررسی اثر مدیریت تلفیقی حاصلخیزی و الگوی کاشت بر عملکرد کمی و کیفی نخود (*Cicer arietinum* L.) و بزرگ (*Linum usitatissimum* L.) در شرایط دیم، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه‌ای واقع در استان آذربایجان غربی - شهرستان نقده به اجرا در آمد. عامل الگوی کاشت در شش سطح شامل: کشت خالص نخود، کشت خالص بزرگ، کشت مخلوط جایگزین با نسبت یک ردیف بزرگ و یک ردیف نخود، کشت مخلوط ردیفی با نسبت دو ردیف بزرگ و دو ردیف نخود، کشت مخلوط ردیفی با نسبت دو ردیف بزرگ و چهار ردیف نخود، کشت مخلوط ردیفی با نسبت چهار ردیف بزرگ و دو ردیف نخود، و کود در چهار سطح شامل: عدم کاربرد کود (شاهد)، ۱۰۰٪ کود شیمیایی (دارای NPK)، کود زیستی (فسفات بارور ۲ + ازتو بارور ۱ + پتا بارور ۲ + سولفور بارور ۱-) و ورمی کمپوست (۱۰ تن در هکتار) بود. صفات مورد مطالعه برای گیاه نخود و بزرگ شامل کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، پروتئین، قندهای محلول، نیتروژن، فسفر و پتاسیم، زیست‌توده میکروبی خاک و تنفس میکروبی خاک بود. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل a (۲/۹۳ میلی گرم در گرم وزن تر برگ)، میزان کلروفیل b (۱/۵۹ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) و کاروتنوئید (۱/۵۹ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) نخود به ترتیب از تیمار یک ردیف نخود + یک ردیف بزرگ و کشت چهار ردیف نخود + دو ردیف بزرگ به دست آمد، اما بیشترین مقدار کلروفیل a (۲/۵۷ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) بزرگ از کشت مخلوط دو ردیف نخود + دو ردیف بزرگ، کلروفیل b (۱/۴۱ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) و کاروتنوئید (۱/۳۹ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) بزرگ مربوط به الگوی کشت چهار ردیف نخود + دو ردیف بزرگ و کمترین مقدار از کشت خالص به دست آمد. میزان پروتئین و قندهای محلول در کشت خالص بالاتر از کشت مخلوط مشاهده گردید. در بین تیمارهای کودی بیشترین میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی هر دو گونه نخود و بزرگ از تیمار ورمی کمپوست و کمترین میزان پروتئین و قندهای محلول از عدم مصرف کود حاصل شد. بیشترین درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه هر دو گونه نخود و بزرگ در کشت مخلوط بالاتر از کشت خالص بود. در بین تیمارهای کودی، بیشترین درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه هر دو گونه از کود ورمی کمپوست به دست آمد. همچنین، استفاده از کشت مخلوط منجر به افزایش تنفس و زیست‌توده میکروبی خاک گردید. نتایج به دست آمده از این آزمایش نشان داد که استفاده از الگوهای مختلف کشت مخلوط و منابع کودی به خصوص ورمی کمپوست توانست اثرات منفی کمبود آب در شرایط دیم را کاهش و فعالیت‌های بیولوژی خاک را افزایش دهد که می‌تواند به نوبه خود موجب بهبود چرخش عناصر غذایی و حاصلخیزی خاک گردد.

واژه‌های کلیدی: پروتئین، تنفس خاک، زیست‌توده میکروبی خاک، عناصر غذایی، کود زیستی

مقدمه

دنیا و با توجه به کاهش جدی منابع آبی در سال‌های اخیر درگیر مشکلات فراوانی در زمینه تأمین آب کشاورزی می‌باشد و در حال حاضر بهترین و باصرفه‌ترین راه، تغییر الگوی کشت گیاهان از گیاهان پرمصرف به گیاهان کم‌توقع نسبت به آب می‌باشد. خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که اثرات نامطلوبی بر رشد و نمو گیاه و سایر فرآیندهای متابولیکی دارد (Todaka et al., 2015).

کشور ایران به دلیل قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه‌خشک

۱، ۲ و ۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد زراعت، استادیار و دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران.
(*) نویسنده مسئول: Email: e.rezaeichiyaneh@urmia.ac.ir
Doi: 10.22067/jag.v12i2.75309

را فراهم کرده است (Ghost & Bhat., 1998) که در حفظ حاصلخیزی خاک مؤثر می‌باشد. شاخص‌های کیفیت خاک تحت تأثیر نوع و مقدار عناصری است که توسط گونه‌های گیاهی موجود در این سیستم کشت به خاک اضافه می‌شود (Machado, 2009). در بررسی کشت مخلوط یولاف (*Avena sativa* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.) نتایج نشان داد که جذب عناصر غذایی از جمله جذب پتاسیم، فسفر، کلسیم و منیزیم در دانه یولاف در کشت مخلوط افزایش یافت (Reinhard et al., 2016). محققان در بررسی کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و گندم (*Triticum aestivum* L.) با باقلا (*Vicia faba* L.) به این نتیجه رسیدند که کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص، پایداری بسیاری از ویژگی‌های شیمیایی خاک مانند درصد ماده آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل دسترس و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد (Wang et al., 2015 b). تحقیق دیگری نشان داد که کارایی استفاده و میزان جذب عناصر غذایی ماکرو و میکرو توسط دو گیاه ارزن (*Panicum miliaceum* L.) و خلر (*Lathyrus sativus* L.) در کشت مخلوط بالاتر از کشت خالص بود (Pakgohar & Ganbari, 2013). محققان دیگری در ارزیابی تأثیر کودهای شیمیایی و دامی بر تولید خالص اولیه، تنفس خاک و بیلان کربن در بوم‌نظام زراعی گندم دریافتند که تیمارهای کود دامی نسبت به تیمار کود شیمیایی از تنفس خاک و تنفس هتروتروپی بالاتری برخوردار بودند (Alizadeh et al., 2018).

فرآیندهای میکروبی کنترل‌کننده فرآیندهای اکولوژیک در اکوسیستم و حاصلخیزی خاک می‌باشند. جمعیت میکروبی خاک مسئول تنظیم چرخه عناصر غذایی در خاک است و در فراهم ساختن عناصر غذایی برای گیاه نقش مهمی را بر عهده داشته و بدین گونه به‌عنوان یکی از خدمات مهم اکوسیستمی در نظر گرفته می‌شود. محققان دیگری در کشت مخلوط گندم با سویا (*Glycine max* L.) افزایش فعالیت میکروبی خاک را نسبت به کشت خالص هر دو گونه گزارش کردند که دلیل اصلی بیشتر بودن زیست‌توده و جمعیت میکروبی خاک در سیستم‌های کشت مخلوط را فراهمی بیشتر عناصر غذایی به‌ویژه فسفر برای میکروارگانیسم‌ها بیان کردند (Bargaz et al., 2017). در کشت مخلوط ذرت، سویا و ختمی (*Althea officinalis* L.) مشخص شد که بیشترین تنفس و زیست‌توده میکروبی خاک در کشت مخلوط سه‌گانه ذرت، سویا و ختمی به‌دست

به‌طوری‌که کاهش رشد در اثر تنش کمبود آب به‌مراتب بیشتر از سایر تنش‌های محیطی است (Veisipour et al., 2012). در زمان تنش‌های غیرزیستی از جمله خشکی، مولکول‌های آلی با وزن مولکولی کمتر مانند قندهای محلول، پروتئین، پروتئین و بتائین در ریشه‌ها و اندام‌های هوایی گیاهان به‌منزله تنظیم‌کننده‌های اسمزی تجمع پیدا می‌کنند (Lokhande et al., 2010). تنظیم اسمزی نوعی سازگاری با تنش کمبود آب است که از طریق تجمع مواد محلول درون سلول‌ها، می‌تواند به حفظ تورژسانس سلول‌ها و فرایندهای وابسته به آن در پتانسیل‌های پایین آب منجر شود (Kirkham et al., 2016). غلظت بالای این مواد باعث کاهش پتانسیل اسمزی داخل سلول شده و اجازه حرکت آب به درون سلول را می‌دهد و در نتیجه، حفظ پتانسیل آماس سلول به افزایش تحمل گیاه به کمبود آب منجر می‌شود (Haileselassie & Teferri, 2012). از جمله عوامل محدودکننده فتوسنتز در تنش خشکی می‌توان به کاهش یا توقف سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی نظیر کلروفیل‌ها اشاره کرد (Oliviera-Neto et al., 2009). گزارش شده است که کاهش شدید رشد و توسعه سیستم ریشه‌های گیاه تحت تنش خشکی مهم‌ترین دلیل کاهش جذب عناصر در خاک توسط ریشه گیاه محسوب می‌شود (Jafar-dokht et al., 2015). اما کاربرد منابع کودی از جمله کودهای زیستی و آلی تحت شرایط کمبود آب با تأثیر بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه از جمله رنگدانه‌های فتوسنتزی، تجمع کربوهیدرات، پروتئین و جذب عناصر غذایی از جمله پتاسیم می‌تواند از اثرات منفی تنش خشکی بکاهد (Wang et al., 2015 a). افزایش محتوی کلروفیل در اثر تلقیح باکتریایی (محرک‌های رشد) در گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) گزارش شده است (Stefan et al., 2013). به نظر می‌رسد که کاربرد کود آلی و زیستی با تأمین نیتروژن، تولید مواد محرک رشد، افزایش جمعیت میکروبی و همچنین افزایش دسترسی و جذب کاراتر عناصر غذایی منجر به افزایش سنتز و محتوی کلروفیل برگ می‌شوند.

در دهه‌های اخیر استفاده طولانی‌مدت و بی‌رویه از کودهای شیمیایی باعث فشردگی و کاهش حاصلخیزی و بهره‌وری خاک، افزایش آلودگی و خسارت زیست‌محیطی و در نهایت، منجر به افزایش هزینه‌های تولید شده است. بنابراین، با توجه به مصرف غیر اصولی این کودها زمینه‌های توجه بیشتر به مدیریت تلفیقی در کشاورزی پایدار مانند کاربرد کودهای زیستی و آلی در کشت مخلوط

آمد (Nourbakhsh et al., 2016).

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه‌ای واقع در استان آذربایجان غربی شهرستان نقده با طول جغرافیایی ۴۵° و ۲۴° و عرض جغرافیایی ۳۶° و ۵۷° و ارتفاع ۱۳۲۸ متر از سطح دریا به اجرا درآمد.

با توجه به اهمیت جمعیت میکروبی خاک و نقش آن‌ها در چرخه عناصر غذایی و همچنین نقش منابع کودی در بهبود فعالیت بیولوژی خاک در کشت مخلوط، هدف این آزمایش ضمن ارزیابی مصرف عناصر غذایی و برخی خصوصیات بیولوژی خاک، سعی شده است تا برخی خصوصیات اکوفیزیولوژیکی کشت مخلوط بزرگ و نخود تحت تأثیر منابع کودی در شرایط دیم نیز مورد بررسی قرار گیرد.

جدول ۱- میانگین بارندگی، دما و رطوبت نسبی هوا شهرستان نقده در سال ۹۶-۱۳۹۵

Table 1- Average rainfall, temperature and relative humidity of Naqadeh city during 2016-217

ماه‌ها Months	مهر Sep.	آبان Oct.	آذر Nov.	دی Dec.	بهمن Jan.	اسفند Feb.	فروردین Mar.	اردیبهشت Apr.	خرداد May.	تیر Jun.
میزان بارندگی Rainfall (mm)	4.5	14.7	59	13.8	38.2	64.6	38.6	12	2.7	2.2
دما Temperature (°c)	15.1	10	-1.60	-4.68	-2.7	3.6	10.7	22.5	20.23	24.5
رطوبت نسبی Relative humidity (%)	57.6	69.3	71.5	85.1	82.6	73.4	64.2	59.4	51.83	56

(NPK)، کود زیستی (فسفات بهار ۲ + ازتو بهار ۱ + پتا بهار ۲ + سولفور بهار ۱-)، و ورمی کمپوست (۱۰ تن در هکتار) به عنوان عامل دوم بودند. بذر مورد استفاده نخود از توده‌های بومی شهرستان نقده بود و بذر بزرگ از توده بومی شاهین دژ بود که از سازمان تحقیقات و کشاورزی و منابع طبیعی ارومیه، مورد استفاده قرار گرفت.

تیمارهای آزمایش شامل شش الگوی کشت: کشت خالص نخود، کشت خالص بزرگ، کشت مخلوط با نسبت یک ردیف بزرگ و یک ردیف نخود، کشت مخلوط با نسبت دو ردیف بزرگ و دو ردیف نخود، کشت مخلوط با نسبت دو ردیف بزرگ و چهار ردیف نخود، کشت مخلوط با نسبت چهار ردیف بزرگ و دو ردیف نخود به عنوان عامل اول، و چهار سطح کود: عدم کاربرد کود (شاهد)، ۱۰۰٪ کود شیمیایی

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و ورمی کمپوست

Table 2- Physical and chemical properties of soil and vermicopost

بستر Substrate	بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	ماده آلی Organic matter (%)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل جذب P available (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب K available (mg.kg ⁻¹)
خاک Soil	رس سیلتی Clay silty	7.75	0.52	1.09	0.09	11.7	242
ورمی کمپوست Vermicompost	-	8.15	4.08	8.69	3.82	3.10	2.61

۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار بر اساس آزمون خاک به- صورت نواری عمقی هم‌زمان با بذرکاری تماماً قبل از کاشت برای

کوددهی بر اساس آزمون خاک به مقدار ۵۰ کیلوگرم کود اوره به- صورت سرک در زمان کاشت، ۱۵۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل و

علف‌های هرز به‌طور مرتب به‌صورت دستی و در هنگام لزوم انجام شد. برداشت نخود و بزرک به‌صورت هم‌زمان در پنجم تیرماه سال ۱۳۹۶ زمانی که رنگ غلاف‌های نخود و کپسول‌های بزرک به زردی گرایش پیدا کرده بودند، صورت گرفت.

در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی، صفاتی مانند پرولین، قندهای محلول و کلروفیل اندازه‌گیری شدند. برای تعیین مقادیر کلروفیل‌های a و b، مقدار ۰/۲ گرم از بافت تازه برگ‌ها با پنج میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به‌تدریج در هاون سائیده شد تا کلروفیل وارد محلول استونی شد. در نهایت، حجم محلول با استون ۸۰ درصد به ۲۵ میلی‌لیتر رسانیده شد. محلول حاصل به‌مدت ۱۰ دقیقه در ۴۰۰۰ دور سانتریفیوژ و جذب نوری کلروفیل‌های a، b و کاروتنوئید به‌ترتیب در طول موج‌های ۶۴۵، ۶۶۳ و ۴۷۰ نانومتر توسط اسپکتروفوتومتر مدل UV 2100 قرائت شد و با استفاده از معادلات ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب غلظت کلروفیل a، b و کاروتنوئید محاسبه شد (Arnon, 1949).

معادله (۱)

$$\text{Chlorophyll } a = \frac{[12.7(D 663) - 2.69(D 645) \times V]}{1000 W}$$

معادله (۲)

$$\text{Chlorophyll } b = \frac{[22.9(D 645) - 4.48(D 663) \times V]}{1000 W}$$

معادله (۳)

$$\text{Carotenoids} = \frac{[100A_{470}(A_{470}) - 3.27(\text{mg. chl } a) - 104(\text{mg. chl } b)]}{227}$$

که در این معادلات، D: جذب در طول موج خاص، V: حجم نمونه بر حسب میلی‌متر و W: وزن تر نمونه بر حسب گرم می‌باشد.

برای تعیین میزان قندهای محلول گیاه از روش فنل اسید سولفوریک (Irrigoyen et al., 1992) و برای سنجش پرولین آزاد از روش بیتز و همکاران (Bates et al., 1973) استفاده شد. همچنین، برای اندازه‌گیری تنفس میکروبی خاک از روش اندرسون و دوموسچ استفاده گردید (Anderson & Domsch, 1993). از روش گازدهی (تدخین) با کلروفرم نیز برای اندازه‌گیری زیست‌توده میکروبی خاک بهره‌گیری شد (Jenkinson & Powelson, 1976). در پایان مرحله رسیدگی کامل دانه، نیتروژن به‌روش کج‌لدال مدل BUCHI-B 324 (ساخت کشور سوئیس) و فسفر به‌روش کالیمتری اندازه‌گیری شد. میزان پتاسیم با استفاده از دستگاه فلم‌فتومتر (مدل 620G فاطر الکترونیک ساخت ایران) تعیین شد.

تیمار ۱۰۰٪ شیمیایی مورد نظر اعمال گردید. در تیمارهای کودهای زیستی و آلی از هیچ نوع کود شیمیایی استفاده نشد. بذر هر دو گیاه یک ساعت قبل از کشت با کود زیستی فسفات‌ه بارور ۲- (حاوی دو نوع باکتری حل‌کننده فسفات از گونه‌های *باسیلوس لنتوس*^۱ و *سودوموناس پوتیدا*^۲ با تعداد ۱۰^۹ باکتری زنده و فعال در هر گرم کود بیولوژیک)، از تو بارور ۱ (حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از جنس *ازتو باکتر* با تعداد ۱۰^۹ باکتری زنده و فعال در هر گرم کود بیولوژیک) و پتا بارو ۲- (حاوی باکتری‌های آزادکننده پتاسیم از جنس *سودوموناس* با تعداد ۱۰^۸ باکتری زنده و فعال در هر گرم کود بیولوژیک) هر سه به‌صورت پودر با نسبت‌های مشخص (۱۰۰ گرم در هکتار) بر اساس دستورالعمل توصیه شده شرکت زیست‌فناور سبز تلقیح شدند. به این صورت که محتوی بسته با آب مخلوط و روی بذرهای اسپری شدند تا یک پوشش کاملاً یکنواخت روی سطح آن‌ها تشکیل شود و سپس بذرهای در سایه خشک شدند و عملیات کاشت صورت گرفت. همچنین، در تیمار کود زیستی از سولفوبارور ۱- (حاوی باکتری *تیوباسیلوس* با تعداد ۱۰^۸ باکتری زنده و فعال در هر گرم کود بیولوژیک) که به‌صورت پودر می‌باشد، به‌میزان هفت کیلوگرم در هکتار استفاده شد. برای اطمینان از اثربخشی آن، سه هفته قبل از کاشت به تیمارهای حاوی سولفوبارور ۱- مقداری گوگرد جهت فعالیت باکتری‌های موجود در این کودها اضافه و با خاک مخلوط گردید. کود ورمی‌کمپوست نیز قبل از کاشت به‌میزان ۱۰ تن در هکتار در تیمار مورد نظر به‌طور یکنواخت پخش و سپس توسط بیل با خاک مخلوط شد.

فاصله بین ردیف برای هر دو گونه ۵۰ سانتی‌متر به‌طول چهار متر بود. فاصله بین کرت‌ها یک‌ونیم متر و فاصله بلوک‌ها از یکدیگر سه متر در نظر گرفته شد. بذرهای بزرک به‌فاصله سه سانتی‌متر و بذور نخود به‌فاصله هشت سانتی‌متر روی ردیف‌ها با عمق دو الی چهار سانتی‌متر، در تاریخ ۲۰ اسفند ماه سال ۱۳۹۵ به‌صورت جوی و پشته، به‌صورت هم‌زمان کشت شدند. تراکم نهایی در کشت خالص برای نخود و بزرک به‌ترتیب ۲۵ و ۶۶/۶۶ بوته در مترمربع بود. بذرهای نخود قبل از کاشت با باکتری *ریزوبیوم لگومینوزاروم*^۳ نیز آغشته گردید که از سازمان تحقیقات آب و خاک کرج تهیه شده بود. عملیات وجین

1- *Bacillus lentus*

2- *Pseudomonas putida*

3- *Rhizobium leguminosarum*

الگوهای مختلف کشت و تیمارهای کودی به کار رفته، بر صفات مورد بررسی گیاه نخود (کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، پرولین، قندهای محلول، نیتروژن، فسفر و پتاسیم) اثر معنی‌دار داشت؛ اما اثر متقابل الگوهای مختلف کشت و نوع کود بر هیچ کدام از صفات مورد نظر معنی‌دار نگردید (جدول ۳).

جهت تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده از نرم‌افزار SAS ۹/۴ و مقایسه میانگین آماری توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

صفات فیزیولوژیک نخود

جدول ۳ - تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای کودی و کشت مخلوط با بزرگ بر صفات فیزیولوژیک نخود
 Table 3- Analysis of variance (mean of squares) for fertilizer treatments and intercropping with linseed on physiological traits of chickpea

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کاروتنوئید Carotenoid	پرولین Proline	قند محلول Soluble carbohydrate	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K
تکرار Replication	2	0.12*	0.281 **	0.176**	0.030 n.s	0.312 **	0.368 **	0.002 *	0.005 n.s
الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern (I)	4	0.22**	0.467 **	0.259**	0.144**	0.678 **	1.029 **	0.020 **	0.745 **
کود Fertilizer (F)	3	0.35**	0.219 **	0.175**	0.228**	0.464 **	0.533 **	0.007 **	0.442 **
I×F	12	0.01 n.s	0.003 n.s	0.009 n.s	0.005 n.s	0.012 n.s	0.026 n.s	0.000 n.s	0.041 n.s
خطا Error	38	0.02	0.013	0.011	0.023	0.026	0.034	0.000	0.052
ضریب تغییرات CV (%)	-	6.08	8.20	7.18	10.6	6.60	5.85	7.99	10.14

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

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

گیاه به نیتروژن بیشتر باشد، کلروفیل برگ به‌طور مناسب‌تری افزایش می‌یابد و میزان فتوسنتز آن بهبود می‌یابد. همچنین در شرایط سایه‌اندازی، گیاه زراعی برای به‌دام انداختن نور در این شرایط جهت تولید فتوآسیمیلات، میزان کلروفیل برگ را افزایش می‌دهد (Ahmadvand & Hajinia, 2016). گزارش شده است که در کشت مخلوط بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) و ذرت، کشت مخلوط سبب افزایش کلروفیل اندام هوایی در هر دو گیاه شده است (Inal et al., 2007). محققان دیگری در بررسی کشت مخلوط لوبیا و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) اعلام داشتند که میزان کلروفیل در تمام تیمارهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بیشتر بود (Hamzei & Babaei, 2017).

نتایج بررسی تیمارهای کودی نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a نخود (۲/۹۷ میلی گرم در گرم وزن تر برگ)، کلروفیل b (۱/۵۲ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) و کاروتنوئید نخود (۱/۵۷ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) به ترتیب از تیمار ورمی کمپوست و

رنگیزه‌های فتوسنتزی

بیشترین مقدار کلروفیل a نخود (۲/۹۳ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) از تیمار یک ردیف نخود + یک ردیف بزرگ و کمترین میزان آن (۲/۶۰ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) از کشت خالص به‌دست آمد، اما بیشترین میزان کلروفیل b نخود (۱/۵۹ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) و کاروتنوئید نخود (۱/۵۹ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) از الگوی کشت چهار ردیف نخود + دو ردیف بزرگ و کمترین آن‌ها (به ترتیب ۱/۱۳ و ۱/۲۳ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) مربوط به کشت خالص بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد که در تحقیق حاضر افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید) در کانوبی مخلوط به موازات افزایش سایه‌اندازی بوته‌ها، دسترسی بهتر به منابع محیطی از قبیل آب و عناصر غذایی و احتمالاً افزایش تثبیت نیتروژن و از طرفی، استفاده بهینه از نیتروژن موجود در خاک بوده باشد. از آن‌جا که بین میزان کلروفیل برگ و میزان نیتروژن آن رابطه مستقیم وجود دارد، می‌توان چنین استنباط کرد که هر قدر دسترسی

کمترین مقدار این رنگیزه‌ها در شرایط عدم مصرف کود به‌دست آمد (جدول ۵).

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های صفات فیزیولوژیک نخود در الگوهای مختلف کشت مخلوط با بزرک

Table 4- Means comparison of physiological characteristics of chickpea in intercropping different patterns with linseed

الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g ⁻¹)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g ⁻¹)	کاروتنوئید Carotenoid (mg.g ⁻¹)	پرولین Proline (mg.g ⁻¹)	قند محلول Soluble carbohydrate (mg.g ⁻¹)	نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)
کشت خالص Pure cropping	2.60 c*	1.13 c	1.23 c	1.59 a	2.86 a	2.71 d	0.18 c	1.82 b
کشت مخلوط ۱:۱ 1 row chickpea + 1 row linseed	2.93 a	1.52 a	1.56 a	1.28 c	2.40 b	3.51 a	0.29 a	2.30 a
کشت مخلوط ۲:۲ 2 rows chickpea + 2 rows linseed	2.92 a	1.49 a	1.51 a	1.40 bc	2.22 b	3.28 b	0.27 a	2.34 a
کشت مخلوط چهار ردیف نخود + دو ردیف بزرک 4 rows chickpea + 2 rows linseed	2.81 ab	1.59 a	1.59 a	1.42 b	2.39 b	3.17 bc	0.25 b	2.49 a
کشت مخلوط چهار ردیف بزرک + دو ردیف نخود 2 rows chickpea + 4 rows linseed	2.74 b	1.23 b	1.39 b	1.44 b	2.35 c	3.10 c	0.24 b	2.29 a

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
* 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- مقایسه میانگین‌های صفات فیزیولوژیک نخود در تیمارهای مختلف کودی

Table 5- Means comparison for physiological traits of chickpea affected as different fertilizer treatments

تیمار کودی	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g ⁻¹)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g ⁻¹)	کاروتنوئید Carotenoid (mg.g ⁻¹)	پرولین Proline (mg.g ⁻¹)	قند محلول Soluble carbohydrate (mg.g ⁻¹)	نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)
عدم مصرف کود No use of fertilization	2.61 c*	1.23 c	1.31 c	1.59 a	2.70 a	2.90 c	0.22 c	2.01 b
کود زیستی Biofertilizer	2.83 b	1.45 ab	1.49 b	1.43 b	2.30 b	3.23 ab	0.25 ab	2.37 a
ورمی کمپوست Vermicopost	2.97 a	1.52 a	1.57 a	1.29 c	2.42 b	3.35 a	0.26 a	2.35 a
کود شیمیایی Chemical fertilizer	2.80 b	1.37 b	1.46 b	1.39 bc	2.36 b	3.15 b	0.24 b	2.21 a

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

خاک، بهبود کیفیت فیزیکوشیمیایی خاک، فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک‌زی و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی می‌تواند از اثرات

به‌نظر می‌رسد که با توجه به کمبود بارندگی در اغلب دیم‌زارهای مناطق ایران و اثر مثبت کاربرد کودهای آلی و زیستی در حفظ رطوبت

خالی، افزایش رطوبت نسبی و پائین بودن دمای کانوپی نسبت داد. از آنجا که دمای میکروکلیم تا حدی به رطوبت نسبی کانوپی بستگی دارد، هوای مرطوب، دمای کانوپی کشت مخلوط را متعادل نگه می‌دارد. در این زمان به‌علت بالا بودن رطوبت در میکروکلیمای مخلوط، دمای آن نسبت به کانوپی خالص آهسته‌تر سرد می‌شود. بنابراین، به نظر می‌رسد به‌دلیل عوامل ذکر شده در الگوهای مختلف کشت مخلوط میزان رطوبت ذخیره شده در خاک نسبت به کشت خالص بالا بوده و تحت چنین شرایطی از اثرات منفی کمبود آب در شرایط دیم کاسته شده و تولید پرولین افزایش چشمگیری را نشان نداده است.

مطابق با نتایج جدول ۵ مشخص گردید که بیشترین میزان پرولین برگ (۱/۵۹ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) از تیمار عدم مصرف کود و کمترین مقدار آن (۱/۲۹ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) مربوط به کود ورمی کمپوست بود. کودهای آلی به‌خصوص ورمی کمپوست از طریق تأثیر بر قدرت جذب، نگهداری و تدارک بالای رطوبت، و همچنین کاربرد کودهای شیمیایی به‌خصوص کود فسفره از طریق افزایش ریشه‌زایی و کودهای زیستی در محیط ریشه گیاه توانایی ساخت و ترشح مواد زیستی فعال را دارند که در توسعه سیستم ریشه‌ای تأثیر مثبت و مفیدی دارند و با بهبود جذب آب و عناصر غذایی در شرایط دیم (کمبود آب) در جذب آب مؤثر می‌باشند و عامل تنش کمبود آب را به‌طور قابل ملاحظه‌ای جبران می‌کنند و در این صورت تجمع تنظیم‌کننده‌های اسمزی مانند پرولین کاهش می‌یابد. در ارتباط با اسید آمینه پرولین نیز گزارش شده است که، این ماده منجر به حفظ فشار تورژسانس و کاهش خسارت غشا در گیاهان می‌شود و بدین ترتیب تنظیم اسمزی یک سازگاری برای افزایش تحمل به خشکی می‌باشد (Naseri et al., 2011). در بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری و منابع کودی بر گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) گزارش شده است که بروز تنش خشکی افزایش پرولین را به‌دنبال داشت (Rezaei-chiyaneh et al., 2017).

قند محلول

بیشترین میزان قند محلول نخود (۲/۸۶ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) از کشت خالص و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار دو ردیف نخود + دو ردیف بزرگ (۲/۲۲ میلی گرم در گرم وزن تر) بود. هر چند اختلاف معنی‌داری بین الگوی دو ردیف نخود + دو ردیف بزرگ با

مخرب تنش کم‌آبی بکاهند که این موضوع می‌تواند باعث افزایش سطح برگ و میزان کلروفیل گیاه شود (Nemati Darband et al., 2014 a). در بررسی اثر ورمی کمپوست بر غلظت کلروفیل در ذرت مشاهده گردید که میزان کلروفیل از ۱/۳۶ به ۱/۹۳ میلی گرم در گرم افزایش یافت (Amyanpoor et al., 2015). گزارش شده است که به‌دلیل تجزیه تدریجی کودهای آلی، مواد مغذی مناسب در اختیار گیاه قرار گرفته و باعث افزایش فتوسنتز، سرعت رشد و دیگر شاخص‌های فیزیولوژیک از جمله کلروفیل و کاروتنوئید می‌گردد (Liu et al., 2011). برخی از محققان بیان کرده‌اند که کودهای زیستی باعث افزایش سرعت فتوسنتزی در واحد سطح برگ گیاه میزبان می‌شوند و دلیل این امر را به جذب عناصر غذایی بالا و آب نسبت دادند که منجر به افزایش غلظت نیتروژن برگ و به تبع آن افزایش مقدار کلروفیل، افزایش فعالیت آنزیم‌هایی چون نیترات ریداکتاز، نیتروژناز و گلوتامین سنتتاز و افزایش راندمان فتوسنتزی در گیاهان میزبان می‌شود (Britoe et al., 2008). طی تحقیقی با بررسی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات بر گیاه نخود مشاهده شد که تلقیح با باکتری‌های *ازتو باکتر* و *سودموناس* منجر به بهبود محتوی کلروفیل شدند (Ansari et al., 2015).

محتوی پرولین برگ

بیشترین میزان پرولین برگ گیاه نخود (۱/۵۹ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) از کشت خالص و کمترین میزان محتوی پرولین (۱/۲۸ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) از تیمار یک ردیف نخود + یک ردیف بزرگ به‌دست آمد (جدول ۴). به نظر می‌رسد در کشت خالص به‌دلیل سایه‌اندازی کمتر، تبخیر و تعرق گیاه به‌ویژه در شرایط دیم بیشتر شده و به‌دنبال آن گیاه نخود با کمبود رطوبت مواجه گردیده است. در چنین شرایطی، گیاهان برای سازگاری با شرایط کمبود آب اسیدهای آمینه مثل پرولین را تولید و در سلول‌های خود ذخیره می‌کند تا از طریق مکانیسم‌های متفاوت نظیر تنظیم اسمزی، سم‌زدایی گونه‌های فعال اکسیژن، حفظ تمامیت غشا و ساختمان پروتئین‌ها، گیاهان را از تنش محافظت کند (Patade, 2011). در مطالعه و بررسی‌های انجام شده روی ژنوتیپ‌های نخود در شرایط تنش خشکی، افزایش پرولین در برگ گیاه به اثبات رسیده است (Zare Mehrjerdi et al., 2016). اما پائین بودن میزان پرولین در کشت مخلوط را می‌توان به سایه‌اندازی بوته‌ها و هم‌پوشانی بهتر آن‌ها و استفاده مؤثر از فضاهای

چهار ردیف نخود+ دو ردیف بزرک وجود نداشت (جدول ۴). در کشت مخلوط به دلیل اختلاف در مورفولوژی ریشه دو گونه، راندمان جذب آب و مواد غذایی افزایش می یابد که این خود منجر به کاهش اثرات کمبود آب به خصوص در شرایط دیم می گردد، اما در کشت خالص به دلیل عدم پوشاندگی کافی سطح زمین، تبخیر از سطح خاک بیشتر بوده و گیاه با کمبود آب مواجه می شود. در این شرایط، جهت ادامه جذب از طریق تجمع ترکیبات اسمزی از جمله کربوهیدرات های محلول، پتانسیل اسمزی خود را کاهش می دهد و پدیده فیزیولوژی تنظیم اسمزی انجام می گیرد (Xoconostle- Cazares, 2010). افزایش قندهای محلول را می توان با دلایلی از قبیل تجزیه پلی ساکاریدها نظیر نشاسته، ستر قندها از مسیر غیرفتوسنتزی، عدم تبدیل این ترکیبات به محصولات دیگر، کاهش انتقال از برگ ها به دیگر اندام ها و یا متوقف شدن رشد توجیه نمود. با مطالعه روی گیاه سیر تحت شرایط تنش خشکی افزایش محتوی قند محلول مشاهده گردید (Akbari et al., 2017). انباشت قندهای محلول در واکنش به تنش خشکی در کرچک (*Ricinus communis* L.) نیز ثابت گردیده است (Karimi et al., 2012).

تیمارهای کودی به کار رفته بر محتوی قند محلول تأثیر معنی داری داشت (جدول ۵)، به طوری که بیشترین میزان آن (۲/۷۰ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) از شاهد و کمترین مقدار آن (۲/۳۰ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) از تیمار کود زیستی به دست آمد. هر چند اختلاف معنی داری بین کود زیستی و ورمی کمپوست وجود نداشت. کاربرد کودهای زیستی و آلی تحت شرایط کمبود آب با تأثیر بر ویژگی های مورفولوژیکی ریشه و فیزیولوژیک گیاه از اثرات منفی خشکی می کاهد. در آزمایشی روی گیاه شنبلیله مشاهده گردید که با کاربرد کودهای زیستی نیتروکسین (حاوی مجموعه ای از باکتری های تثبیت کننده نیتروژن از جنس *آزوسپیریلیوم* و *ازتوباکتر* و حل کننده فسفات از جنس *سودوموناس*)، بیوفسفر (باکتری های حل کننده فسفات) و میکوریزا در شرایط کمبود آب، میزان قندهای محلول افزایش یافت (Jaberi et al., 2018).

غلظت عناصر غذایی نخود

نتایج نشان داد که غلظت عناصر در نخود تحت تأثیر الگوهای کشت مخلوط با بزرک و تیمارهای کودی قرار گرفت (جدول ۳): به طوری که بیشترین درصد نیتروژن دانه نخود (۳/۵۱ درصد) از الگوی

کشت یک ردیف نخود + یک ردیف بزرک و کمترین آن (۲/۷۱ درصد) از کشت خالص حاصل شد (جدول ۴). افزایش درصد نیتروژن دانه نخود در کشت مخلوط می تواند به دلیل افزایش تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، تأثیر مکملی و عدم رقابت اجزای کشت مخلوط در زمان یکسان برای جذب عناصر غذایی و افزایش کارایی جذب عناصر غذایی در کشت مخلوط باشد. در آزمایشی روی تأثیر کشت مخلوط تأخیری گندم و ذرت بر کارایی جذب و مصرف نیتروژن مشاهده کردند که کارایی جذب نیتروژن در کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص دو گونه بود (Koocheki et al., 2010). محققان دیگری در بررسی کشت مخلوط ارزن و خلر به این نتیجه رسیدند که جذب نیتروژن در الگوهای مختلف کشت مخلوط از تیمارهای کشت خالص ارزن و خلر بالاتر بود (Pakgozar & Ganbari, 2013).

در بین تیمارهای کودی، بیشترین درصد نیتروژن دانه نخود (۳/۳۵ درصد) از کود ورمی کمپوست و کمترین آن (۲/۹۰ درصد) از عدم مصرف کود حاصل شد، اما بین کود زیستی و ورمی کمپوست اختلاف معنی داری مشاهده نگردید (جدول ۵). در تأیید نتایج این تحقیق، برخی از محققان اظهار داشتند که استفاده از کودهای آلی از جمله ورمی کمپوست باعث افزایش مواد آلی خاک گردید و قابلیت جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم را افزایش دادند (Raeisi et al., 5). 201

بیشترین درصد فسفر (۰/۲۹ درصد) از الگوی کشت یک ردیف نخود + یک ردیف بزرک و کمترین آن (۰/۱۸ درصد) متعلق به کشت خالص بود (جدول ۴). در نظام های کشت مخلوط به دلیل حضور گیاهان لگوم، با تثبیت نیتروژن بیولوژیکی و تراوش H^+ ، محیط ریزوسفری ریشه اسیدی شده و حلالیت فسفر بیشتر می گردد، در نتیجه جذب فسفر افزایش می یابد. فلاح و همکاران (Fallah et al., 2018) در کشت مخلوط سویا و بارشبی (*Deracocephalum moldavica* L.) نیز گزارش کردند که کاربرد کودهای آلی در کشت مخلوط قابلیت جذب نیتروژن و فسفر را افزایش دادند. در کشت مخلوط گندم و ذرت با باقلا، غلظت فسفر دانه باقلا و گندم نسبت به کشت خالص دو گونه افزایش نشان دادند (Zhang et al., 2012).

بیشترین فسفر در دانه نخود از تیمار ورمی کمپوست (۰/۲۶ درصد) و کمترین درصد آن از عدم مصرف کود (۰/۲۲ درصد) به دست آمد، اما بین کود زیستی و ورمی کمپوست اختلاف معنی داری وجود نداشت (جدول ۵). به نظر می رسد که ورمی کمپوست به دلیل داشتن عناصر

(Reinhard et al., 2016). بنابراین، از آنجایی که اغلب جذب عناصر غذایی توسط ریشه‌های لگوم‌ها در کشت خالص پایین است؛ جذب عناصر غذایی لگوم‌ها به‌خصوص فسفر و پتاسیم، در کشت مخلوط با سایر گیاهان به دلایل ذکر شده، افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد که یکی از دلایل افزایش جذب فسفر نخود در کشت مخلوط با بزرک، تفاوت در میزان توسعه عمقی و جانبی و همچنین افزایش تراکم ریشه‌ها و ترشحات ریشه‌ای در کشت مخلوط دو گونه باشد. چرا که تفاوت در عمق و توسعه ریشه، میزان توسعه جانبی و تراکم ریشه، طول دوره رشد و سرعت رشد گیاه زراعی از جمله عواملی هستند که میزان رقابت اجزای کشت مخلوط را برای جذب عناصر غذایی تحت تأثیر قرار می‌دهند.

بیشترین درصد عنصر پتاسیم (۲/۳۷ درصد) در گیاه نخود از تیمار کود زیستی و کمترین درصد آن (۲/۰۱ درصد) از عدم مصرف کود به‌دست آمد، هر چند بین تیمارهای کودی به‌کار رفته اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۵). حضور کودهای زیستی و آلی در نظام‌های مختلف کشاورزی پایدار از طریق افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک و فعالیت این موجودات با ترشح اسیدهای آلی و ایجاد محیط محلول باعث افزایش دسترسی مطلوب به عناصر غذایی و قابلیت جذب این عناصر در گیاه می‌گردد. در مطالعه روی گیاه کنجد (*Sesamum indicum* L.) بیشترین درصد پتاسیم تحت تیمار کود زیستی و تنش شدید کم‌آبی به‌دست آمد (Sadeghian Dehkordi., 2015). کاربرد منابع کودی از جمله کودهای زیستی تحت شرایط کمبود آب با تأثیر بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه و جذب عناصر غذایی مانند پتاسیم که از جمله مواد تنظیم‌کننده پتانسیل اسمزی بوده از اثرات منفی تنش خشکی می‌کاهد (Wang et al., 2015).

صفات فیزیولوژیک بزرک

اثر الگوهای مختلف کشت و نوع کود مصرفی بر صفات مورد بررسی گیاه بزرک (کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، پروتئین، قندهای محلول، نیتروژن، فسفر و پتاسیم) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید، ولی اثر متقابل الگوی کشت و کود بر هیچ کدام از این صفات معنی‌دار نشد (جدول ۶).

غذایی کافی و تحریک و افزایش فعالیت ریزموجودات خاک‌زی، امکان دسترسی گیاه به منابع غیر قابل استفاده از جمله فسفر را فراهم کرده و در جذب و انتقال آن به گیاه نقش چشم‌گیری ایفا می‌کند. از طرفی، تولید اسیدهای آلی توسط باکتری‌های حل‌کننده فسفات موجب اسیدی شدن محیط ریزوسفر شده و در نتیجه، فسفر غیر قابل حل می‌تواند بر اثر جایگزینی یون H^+ با یون‌های کلسیم، در محیط آزاد شود (Tohidinejad et al., 2011). در تحقیق حاضر چنین به نظر می‌رسد که احتمالاً تأثیر افزایش جذب فسفر در الگوهای مختلف کشت مخلوط و تیمارهای کودی در شرایط دیم بر ریشه‌زایی و عمق نفوذ ریشه و افزایش فعالیت ریشه مؤثر بوده که از این طریق بر تداوم جذب عناصر غذایی و آب اثر گذاشته که نتیجه آن بهبود خصوصیات اکوفیزیولوژیکی دو گونه بوده است. گزارش شده است که سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر بهبود وضعیت جذب عناصر اصلی نیتروژن، فسفر و پتاسیم تأثیر مثبت دارد (Nemati Darband et al., 2014). در ارزیابی کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) و شنبليله (*Trigonella foenum – graecum* L.) مشاهده گردید که با افزایش سطح کودهای آلی میزان جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن و فسفر افزایش یافت (Ghanbari et al., 2014).

طبق نتایج به‌دست آمده مشاهده شد که بیشترین درصد پتاسیم (۲/۳۴ درصد) از الگوی کشت دو ردیف نخود + دو ردیف بزرک و کمترین درصد پتاسیم (۱/۸۲ درصد) مربوط به کشت خالص بود (جدول ۴). غلظت بالای این عنصر در کشت مخلوط را می‌توان به- دلیل رابطه مکملی اجزای تشکیل‌دهنده کانوپی در این نظام‌های کشت دانست که بیانگر وضعیت متفاوت رقابت، برای جذب این عنصر است. در تحقیقی دیگر مشخص شد که کشت مخلوط ذرت با نخود، جذب فسفر و پتاسیم در دانه افزایش یافت (Yamuna et al., 2017). بررسی الگوهای کشت مخلوط ذرت و لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) نتایج نشان داد که جذب عناصر غذایی منیزیم، کلسیم، پتاسیم و فسفر در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص افزایش یافت (Eskandari & Ghanbari, 2011). نتایج به‌دست آمده از تحقیقی دیگر نشان داد که در کشت مخلوط یولاف و نخود، جذب پتاسیم، فسفر، کلسیم و منیزیم در تیمار کشت مخلوط با نسبت ۷۵ درصد یولاف + ۲۵ درصد نخود بیشترین مقدار بود، چرا که در کشت مخلوط ترشحات ریشه‌ای دو گیاه بر فراهمی و جذب عناصر غذایی و در نتیجه بر تغذیه و رشد آن، اثر مستقیم و غیرمستقیم دارند

جدول ۶ - تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر منابع کودی و کشت مخلوط بر صفات فیزیولوژیک بزرک

Table 6- Analysis of variance (mean of squares) of fertilizer sources and intercropping on physiological traits of linseed

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کاروتنوئید Carotenoid	پرولین Proline	قند محلول Soluble carbohydrate	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K
تکرار Replication	2	0.018 n.s	0.030 n.s	0.041 n.s	0.005 n.s	0.761 **	0.204 *	0.002 *	0.009 n.s
الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern (I)	4	0.477 **	0.264 **	0.100 **	0.150 **	0.345 **	0.793 **	0.018 **	0.494 **
کود Fertilizer (F)	3	0.256 **	0.144 **	0.133 **	0.176 **	0.357 **	0.717 **	0.009 **	0.647 **
I×F	12	0.007 n.s	0.008 n.s	0.007 n.s	0.007 n.s	0.034 n.s	0.023 n.s	0.000 n.s	0.015 n.s
خطا Error	38	0.035	0.014	0.019	0.013	0.025	0.047	0.000	0.022
ضریب تغییرات CV (%)	-	7.73	9.17	10.85	10.09	8.02	7.23	-	6.56

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

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

جدول ۷ - مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک بزرک در الگوهای مختلف کشت مخلوط با نخود

Table 7- Means comparison for physiological characteristics of linseed in intercropping different patterns with chickpea

الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g ⁻¹)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g ⁻¹)	کاروتنوئید Carotenoid (mg.g ⁻¹)	پرولین Proline (mg.g ⁻¹)	قند محلول Soluble carbohydrate (mg.g ⁻¹)	نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)
کشت خالص Pure cropping	2.09 c*	1.06 c	1.13 b	1.31 a	2.25 a	2.57 c	0.17 d	1.91 c
کشت مخلوط ۱:۱ 1 row chickpea + 1 row linseed	2.53 a	1.39 a	1.28 a	1.04 b	1.87 c	3.07 ab	0.26 b	2.28 b
کشت مخلوط ۲:۲ 2 rows chickpea + 2 rows linseed	2.59 a	1.37 a	1.31 a	1.12 b	1.84 c	3.15 ab	0.27 a	2.43 a
کشت مخلوط چهار ردیف نخود + دو ردیف بزرک 4 rows chickpea + 2 rows linseed	2.57 a	1.41 a	1.39 a	1.06 b	2.03 b	3.04 b	0.24 c	2.29 b
کشت مخلوط چهار ردیف بزرک + دو ردیف نخود 2 rows chickpea + 4 rows linseed	2.35 b	1.30 b	1.26 a	1.13 b	1.85 c	3.24 a	0.26 b	2.42 a

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

رنگیزه‌های فتوسنتزی

ردیف بزرک و بیشترین مقدار کلروفیل b (۱/۴۱) میلی‌گرم در گرم

وزن تر برگ) و کاروتنوئید بزرک (۱/۳۹) میلی‌گرم در گرم وزن تر

برگ) از کشت چهار ردیف نخود + دو ردیف بزرک و کمترین مقدار

نتایج نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل a بزرک (۲/۵۷)

میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) از کشت مخلوط دو ردیف نخود + دو

کردند که میزان کلروفیل سورگوم در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص همواره بالاتر بوده است، که علت این امر را به سایه‌اندازی این دو گیاه روی همدیگر و نیتروژن تثبیت شده توسط سویا نسبت دادند (Ghosh et al., 2006).

رنگیزه‌های فتوسنتزی بزرگ تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی قرار گرفت؛ به‌طوری که بیشترین میزان کلروفیل a (۲/۴۷ میلی گرم در گرم وزن تر برگ)، کلروفیل b (۱/۳۸ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) و کاروتنوئید بزرگ (۱/۳۷ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) از تیمار ورمی کمپوست و کمترین مقدار این رنگیزه‌ها؛ کلروفیل a (۲/۲۵ میلی گرم در گرم وزن تر برگ)، کلروفیل b (۱/۱۵ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) و کاروتنوئید بزرگ (۱/۱۴ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) از عدم مصرف کود به‌دست آمد.

کلروفیل a (۲/۰۹ میلی گرم در گرم وزن تر برگ)، کلروفیل b (۱/۰۶ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) و کاروتنوئید بزرگ (۱/۱۳ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) از کشت خالص به‌دست آمد (جدول ۷).

به نظر می‌رسد که افزایش سایه‌اندازی بوته‌ها روی یکدیگر و تثبیت نیتروژن توسط نخود و از طرفی، استفاده بهینه و بالاتر بزرگ از نیتروژن موجود در خاک و در نتیجه آسمیلاسیون بهتر موجب افزایش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی در کشت مخلوط شده است. از آن‌جا که بین میزان کلروفیل برگ و میزان نیتروژن آن رابطه مستقیم وجود دارد، می‌توان استنباط کرد که هر قدر دسترسی گیاه به عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن بیشتر باشد، کلروفیل برگ به‌طور مناسب‌تری افزایش می‌یابد و میزان فتوسنتز آن بهبود می‌یابد. محققان دیگری در بررسی کشت مخلوط سویا و سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) گزارش

جدول ۸- مقایسه میانگین‌های صفات فیزیولوژیک بزرگ در تیمارهای مختلف کودی

Table 8- Means comparison for physiological traits of linseed affected as different fertilizer treatments

کود Fertilization	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g ⁻¹)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g ⁻¹)	کاروتنوئید Carotenoid (mg.g ⁻¹)	پرولین Prolin e (mg.g ⁻¹)	قند محلول Soluble carbohydrate (mg.g ⁻¹)	نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)
عدم مصرف کود No use of fertilization	2.25 c *	1.15 b	1.14 b	1.28 a	2.20 a	2.68 b	0.21 d	2.02 c
کود زیستی Biofertilizer	2.47 b	1.31 a	1.31 a	1.11 b	1.92 b	3.05 a	0.27 a	2.45 a
ورمی کمپوست Vermicopost	2.56 a	1.38 a	1.37 a	1.03 c	1.91 b	3.15 a	0.25 b	2.41 a
کود شیمیایی Chemical fertilizer	2.41 ab	1.32 a	1.28 a	1.12 b	1.85 b	3.16 a	0.23 c	2.13 b

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Range Test.

گزارش کرده‌اند که میزان کلروفیل a در کشت مخلوط و تحت تأثیر منابع کودی بیشتر از کشت خالص بوده است (Rostaei & Fallah, 2016). گزارش‌های دیگری تأثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد بر افزایش سطح برگ و بهبود محتوی کلروفیل برگ در ذرت و کنجد را تأیید کرده‌اند (Gahan et al., 2013; Wang et al., 2015 b). در تحقیقی دیگر مشخص شد که با کاربرد ورمی کمپوست محتوی کلروفیل، پروتئین و رویسکو در گیاه جو به‌طور معنی‌داری بهبود یافت (Campitelli & Ceppi, 2008).

به نظر می‌رسد که کاربرد کودهای آلی از جمله ورمی کمپوست در خاک با تولید مواد محرک رشد، افزایش جمعیت میکروبی خاک و همچنین دسترسی و جذب کاراتر عناصر غذایی منجر به افزایش سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ شده‌اند. بررسی‌ها نشان داده است که کودهای زیستی از طریق افزایش غلظت نیتروژن برگ و به تبع آن افزایش مقدار کلروفیل سیستم فتوسنتزی و افزایش فعالیت آنزیم‌هایی چون نیترات ریداکتاز، نیتروژناز و گلوتامین سنتتاز در گیاهان میزبان باعث افزایش سرعت فتوسنتزی در واحد سطح برگ گیاه و افزایش راندمان فتوسنتزی برگی می‌شوند (Seyed sharifi, 2016). محققان دیگری در کشت مخلوط شبلیه با سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)

پرولین

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار پرولین بزرگ (۱/۳۱ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) از کشت خالص و کمترین میزان پرولین (۱/۰۴ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) از کشت مخلوط یک ردیف نخود + یک ردیف بزرگ به دست آمد. در صورتی که بین سایر الگوهای کشت از لحاظ میزان اسید آمینه پرولین اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۷). به نظر می‌رسد در کشت خالص به علت پایین بودن گونه‌های گیاهی در راستای پوشاندن سطح خاک و سایه‌اندازی اندک کانونی، پتانسیل آب خاک کاهش یافته و گیاه با تنش کمبود آب مواجه می‌گردد. در چنین شرایطی با سنتز و تجمع ترکیبات اسمزی مانند اسید آمینه پرولین در سلول‌های گیاه مکانیسم تنظیم اسمزی انجام می‌گیرد تا از اثرات منفی کمبود آب در گیاه کاسته شود (Manivannan et al., 2007). محققان دیگری نیز گزارش کردند که میزان اسید آمینه پرولین در بزرگ (Ghorbanli et al., 2011) و سیاهدانه (Rezaei Chiyaneh et al., 2018) تحت شرایط تنش کمبود رطوبت افزایش یافته است.

بیشترین میزان پرولین بزرگ (۱/۲۸ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) از تیمار عدم مصرف کود و کمترین مقدار آن (۱/۰۳ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) از تیمار ورمی کمپوست حاصل گردید. اختلاف معنی‌داری بین کودهای زیستی و کود شیمیایی از نظر میزان پرولین وجود نداشت (جدول ۸). ورمی کمپوست یکی از کودهای آلی می‌باشد که به دلیل تخلخل زیاد، قدرت جذب و نگهداری بالای عناصر غذایی و آزادسازی تدریجی آن و همچنین با ظرفیت بالای نگهداری رطوبت موجود در خاک از اثرات منفی تنش خشکی می‌کاهد (Arancon et al., 2004). همچنین، افزایش نیتروژن و سایر عناصر غذایی حاصل از کودهای زیستی می‌تواند بر دوام سطح برگ تأثیر قابل ملاحظه‌ای داشته و می‌تواند اثر تنش کم‌آبی را تا حدی تعدیل کند، زیرا در این شرایط، غلظت پرولین و قندها در سلول افزایش یافته، در نتیجه پتانسیل اسمزی منفی‌تر شده و در نهایت، جذب آب افزایش می‌یابد (Habyarimana et al., 2004).

قندهای محلول

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین مقدار قندهای محلول بزرگ (۲/۲۵ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) در گیاه بزرگ از کشت خالص و کمترین مقدار آن (۱/۸۴ میلی گرم در گرم وزن تر

برگ) از تیمار کشت دو ردیف بزرگ + دو ردیف نخود به دست آمد (جدول ۷). گیاه در شرایط تنش شدید کمبود آب سعی در افزایش تجمع مواد تنظیم‌کننده اسمزی دارد تا از اثرات منفی تنش کم‌آبی بکاهد (Izadpanah & Calagari, 2014). به نظر می‌رسد که در کشت مخلوط به دلیل کارایی بیشتر استفاده از منابع محیطی از جمله رطوبت موجود در خاک و عناصر غذایی با حفظ تورژسانس سلولی از اثرات منفی تنش کمبود رطوبت کاسته شده و در نتیجه، میزان سنتز تنظیم‌کننده‌های اسمزی از جمله کربوهیدرات محلول در گیاهان کاهش می‌یابد. قندهای محلول به عنوان تنظیم‌کننده اسمزی ثبات‌دهنده غشای سلولی و حفظ تورژسانس سلول‌ها عمل می‌کنند. در حقیقت قندهای محلول در گیاهان در پاسخ به تنش خشکی تجمع می‌یابند (Slama et al., 2007).

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان قندهای محلول بزرگ (۲/۲۰ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) از تیمار عدم مصرف کود و کمترین میزان آن (۱/۸۵ میلی گرم در گرم وزن تر برگ) از تیمار کود شیمیایی حاصل گردید؛ هر چند اختلاف معنی‌داری بین سایر تیمارهای کودی به کار رفته با این کود وجود نداشت (جدول ۸). محتویات قندهای محلول در آب می‌تواند تحت تأثیر عملکردهای مدیریتی مانند مصرف منابع کودی قرار گیرند. در واقع با تأمین عناصر مورد نیاز گیاه در دروه رشد، شرایط برای جذب آب و فرآیند فتوسنتز فراهم و در نهایت، گیاه در شرایط کمبود آب نیازی به افزایش مواد تنظیم‌کننده اسمزی از جمله قندهای محلول نداشته است (Nnadi & Haque, 1986). در تحقیق حاضر چنین به نظر می‌رسد که با عدم کاربرد منابع کودی تحت شرایط تنش کمبود آب به دلیل عدم تأمین عناصر غذایی مورد نیاز طی فصل رشد، از مقاومت گیاه به کمبود آب کاسته شده است. تحت چنین شرایطی، گیاه برای کاهش اثرات مخرب تنش کمبود آب اقدام به افزایش قندهای محلول نموده است. در تحقیقی روی گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) مشاهده گردید که تحت تنش میزان قندهای محلول افزایش یافت؛ به طوری که بیشترین میزان قند محلول از ۱۵۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر و کمترین مقدار قند محلول از ۶۰ میلی متر تبخیر به دست آمد (Rezaei chiyaneh et al., 2013).

غلظت عناصر غذایی

اثر الگوهای مختلف کشت و نوع کود مصرفی بر میزان عناصر

مخلوط می‌باشد (Mobasser & Vazirimehr, 2014). به نظر می‌رسد که یکی از دلایل افزایش جذب فسفر بزرگ در کشت مخلوط با نخود همین بهبود ویژگی‌های شیمیایی و زیستی ریزوسفر باشد. محققان دیگری اظهار داشتند که بهبود تغذیه عناصر غذایی، بر اثر ترشح اسیدهای آلی، ترکیبات فنلی، فیتوسیدروفورها به وسیله ریشه گیاهان موجود در کشت مخلوط می‌باشد (Zou & Zhang, 2011). در کشت مخلوط ذرت و بادام زمینی نیز گزارش شده است که با افزایش فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز در ریشه و خاک، قابلیت جذب فسفر در محیط ریزوسفر افزایش یافته است (Inal et al., 2007). محققان دیگری در کشت مخلوط ذرت و لوبیا چشم‌بلبلی استفاده کارآمدتر از منابع موجود به‌ویژه عناصر غذایی پرمصرف مانند فسفر و افزایش بهره‌وری در کشت مخلوط را نسبت به تک‌کشتی این گیاهان گزارش کردند (Nyasasi & kisetu, 2014).

بیشترین مقدار فسفر موجود در دانه بزرگ (۰/۲۷ درصد) از تیمار کود زیستی و کمترین میزان فسفر (۰/۲۱ درصد) مربوط به عدم کاربرد کود بود (جدول ۸). فسفر یکی از مهم‌ترین عناصر معدنی ضروری بعد از نیتروژن برای رشد گیاهان است. اگرچه قابلیت دسترسی به این ماده غذایی در گیاهان توسط واکنش‌های شیمیایی مختلف به‌ویژه در خاک‌های خشک و نیمه خشک محدود می‌گردد، اما استفاده از کودهای زیستی یکی از راهکارهای مؤثر در حفظ کیفیت مطلوب خاک محسوب می‌گردد که باعث افزایش واکنش‌های مفید بین گیاه و میکروارگانیسم‌ها در ریزوسفر ریشه شده و توان گیاه را برای جذب عناصر غذایی غیر قابل دسترس به‌ویژه فسفر افزایش می‌دهد (Kokalis et al., 2006).

بیشترین مقدار پتاسیم دانه بزرگ (۲/۴۳ درصد) از الگوی کشت دو ردیف بزرگ + دو ردیف نخود و کمترین میزان پتاسیم موجود در دانه بزرگ (۱/۹۱ درصد) موجود از کشت خالص به‌دست آمد (جدول ۷). دلیل افزایش جذب عناصر غذایی در کشت مخلوط می‌تواند بیانگر رابطه مکملی و وضعیت متفاوت رقابت برای جذب این عنصر در کشت مخلوط مربوط باشد (Asgharipur & Rafiei, 2010). در بررسی کشت مخلوط خلر وارزن مشخص شد که جذب عناصر غذایی از جمله پتاسیم در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص دو گونه افزایش یافت (Pakgozar & Ganbari, 2013).

کمترین میزان پتاسیم در دانه بزرگ (۲/۰۴ درصد) از عدم کاربرد کود و بیشترین مقدار آن (۲/۴۵ درصد) از تیمار کود زیستی حاصل

غذایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) موجود در دانه بزرگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. درحالی‌که اثر متقابل نوع کود و الگوی کشت بر میزان عناصر موجود در دانه معنی‌دار نگردید (جدول ۶). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین درصد نیتروژن دانه بزرگ (۳/۲۴ درصد) در کشت چهار ردیف بزرگ + دو ردیف نخود و کمترین درصد نیتروژن موجود در دانه (۲/۵۷ درصد) در کشت خالص به‌دست آمد (جدول ۷). به نظر می‌رسد بزرگ در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص با بهره‌برداری مطلوب‌تر از شرایط موجود و منابع ایجاد شده از طرف نخود به‌ویژه تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، میزان بیشتری از نیتروژن خاک را دریافت می‌کند. محققان دیگری با مقایسه کشت مخلوط و تک‌کشتی اسفرزه *Plantago ovata* (Forsk.) و عدس (*Lens culinaris* L.) بیشترین غلظت نیتروژن گیاه اسفرزه را در کشت مخلوط مشاهده نمودند (Asgharipur & Rafiei, 2010).

در بین تیمارهای کودی، بیشترین مقدار نیتروژن بزرگ (۳/۱۶ درصد) از کود شیمیایی و کمترین میزان نیتروژن بزرگ (۲/۶۸ درصد) از عدم مصرف کود به‌دست آمد، اما بین این کود با سایر کودهای مصرفی از نظر نیتروژن دانه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۸). به نظر می‌رسد اثر منابع کودی میزان جذب نیتروژن توسط ریشه را تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه، میزان عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن در دانه افزایش یافته است (Sheikhpur et al., 2014). در تأیید این نتایج می‌توان به افزایش غلظت نیتروژن در گیاه سویا در کشت مخلوط با بادرشی تحت تأثیر تیمار کود شیمیایی و کود آلی اشاره نمود. این محققان علت افزایش نیتروژن در سویا را به تثبیت زیستی نیتروژن نسبت دادند. چرا که در کشت مخلوط، لگوم‌ها بیشتر نیتروژن مورد نیاز خود را از طریق تثبیت نیتروژن اتمسفری و غیر لگوم از نیتروژن معدنی خاک به‌دست می‌آورند؛ این امر باعث کاهش رقابت برای نیتروژن غیرآلی می‌شود. این عوامل باعث افزایش جذب نیتروژن در کشت مخلوط می‌شود (Fallaha et al., 2018).

طبق نتایج (جدول ۷) مشخص گردید که بیشترین درصد فسفر دانه بزرگ (۰/۲۷ درصد) مربوط به کشت دو ردیف بزرگ + دو ردیف نخود و کمترین مقدار آن (۰/۱۷ درصد) از کشت خالص به‌دست آمد. افزایش راندمان جذب فسفر موجود و بهبود خواص میکروبیولوژیکی در ریزوسفر محصولات نسبت به تک‌کشتی و افزایش بهره‌وری و استفاده کارآمدتر از منابع موجود از مهم‌ترین ویژگی‌های کشت

داشته است (Darzil et al., 2009).

زیست‌توده میکروبی خاک

اثر الگوهای مختلف کشت، نوع کود مصرفی و اثرات متقابل الگوی کشت و نوع کود بر زیست‌توده میکروبی خاک معنی‌دار بود (جدول ۹).

گردید، اما اختلاف معنی‌داری با تیمار ورمی‌کمپوست نشان نداد (جدول ۸). کود زیستی پتا بارور با داشتن باکتری‌های موجود از جنس سودوموناس از طریق ترشح اسیدهای آلی با آزاد کردن پتاسیم خاک و افزایش جذب این عنصر نقش مهمی در عملکرد گیاه دارد. در تحقیقی دیگر مشخص شد که استفاده از کودهای زیستی حاوی سودوموناس تأثیر معنی‌داری در افزایش غلظت پتاسیم دانه در گیاه دارویی رازیانه

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگوهای مختلف کشت و منابع کودی بر تنفس میکروبی و زیست‌توده میکروبی خاک
Table 9- Analysis of variance (mean of squares) for effects of different intercropping patterns and fertilizer sources on microbial respiration and microbial biomass of soil

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	زیست‌توده میکروبی Microbial biomass	تنفس میکروبی Microbial respiration
تکرار Replication	2	8088.288 ^{ns}	6.54 ^{ns}
الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern (I)	5	146923.658 **	172.94 **
کود Fertilizer (F)	3	48922.543 **	181.17 **
I×F	15	13785.691 **	3.75 ^{ns}
خطا Error	46	2993.466	9.49
ضریب تغییرات CV (%)	-	9.50	6.41

** و ^{ns}: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و عدم وجود اختلاف معنی‌دار.

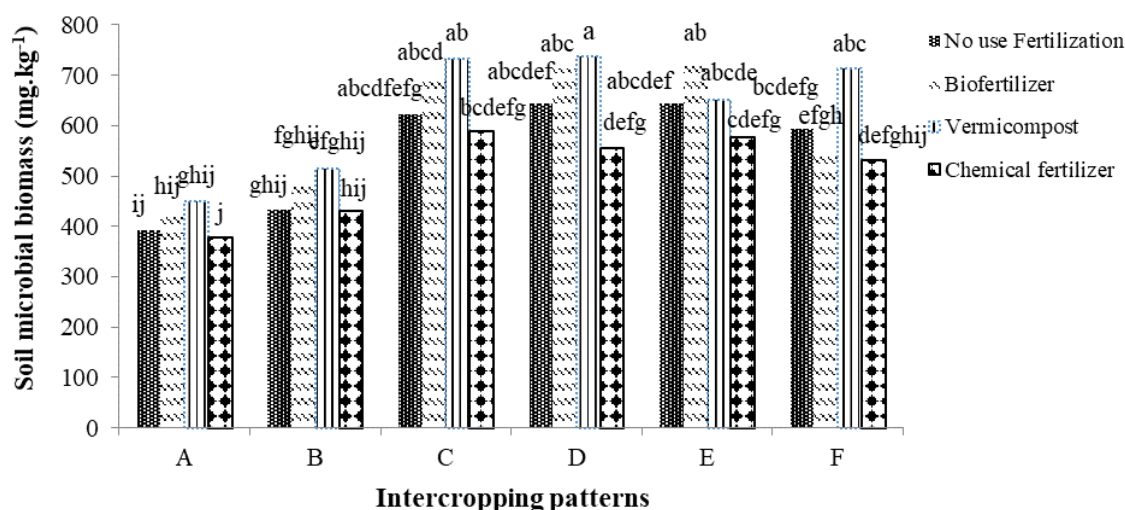
** and ^{ns}: significant at 1% probability levels and non-significant, respectively.

کشت مخلوط به این نتیجه رسیدند که افزایش تنوع محصولات در کشت مخلوط منجر به افزایش زیست‌توده میکروبی خاک نسبت به سیستم‌های تک‌کشتی می‌گردد (Tang et al., 2014). همچنین، این محققان دلیل بالا بودن زیست‌توده میکروبی خاک در کشت مخلوط را تنوع بیشتر میکروارگانیسم‌ها و پیچیدگی روابط شکارگری و باکتری‌خواری در بین میکروارگانیسم‌های موجود در خاک بیان نمودند. تلقیح گیاهان با باکتری‌های محرک رشد گیاه، بر جامعه میکروبی ریزوسفر، با تولید ترکیبات آلی غنی از انرژی و کاهش pH خاک تأثیر می‌گذارند. علاوه بر نقش تلقیح میکروبی بر میزان کربن زیست‌توده میکروبی، گیاهان نیز ترکیباتی مانند قندها، اسیدهای آمینه، ویتامین‌ها، دی‌اکسید کربن، اسیدهای آلی و آنزیم‌های مختلف را به ریزوسفر ترشح کرده و به واسطه ترشحات ریشه‌ای، سبب افزایش زیست‌توده میکروبی می‌شوند. محققان دیگری در کشت مخلوط یولاف و نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) دریافتند که زیست‌توده میکروبی خاک در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در شرایط

الگوهای مختلف کشت مخلوط از زیست‌توده میکروبی بالایی نسبت به کشت خالص دو گونه برخوردار بودند؛ به‌طوری‌که در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط تیمار دو ردیف نخود + دو ردیف بزرک با کاربرد کود ورمی‌کمپوست از بیشترین زیست‌توده میکروبی خاک (۷۳۶/۶۷ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) برخوردار بود، اما کمترین زیست‌توده میکروبی خاک (۳۹۳/۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) از کشت خالص بزرک در شرایط عدم مصرف کود به‌دست آمد (شکل ۱). به‌طور کلی، حضور توأم گونه‌ها در سیستم‌های کشت مخلوط به-خصوص در شرایط کاربرد کود ورمی‌کمپوست باعث افزایش زیست‌توده میکروبی خاک نسبت به کشت خالص گردید. قابلیت تحریک‌کنندگی و اثرات تشدیدکنندگی فعالیت میکروب‌های مفید خاک توسط ورمی‌کمپوست را به دلیل توانایی آن در حفظ و نگهداری رطوبت خاک و افزایش سهولت‌الوصول شدن جذب عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف گزارش کردند (Arguello et al., 2006). محققان دیگری در بررسی فعالیت میکروبی خاک در سیستم‌های

کشت مخلوط عنوان نمودند (Jannoura et al., 2014).

مصرف کودهای آلی افزایش داشت که دلیل آن را به خاطر بالا بودن نیتروژن، کربن و فسفر بالای کودهای آلی و افزایش تنوع در سیستم



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای کودی و الگوی کشت مخلوط دو گیاه بزرگ و نخود بر زیست توده میکروبی خاک
Fig. 1- Mean comparison for interaction of fertilizers and intercropping patterns of linseed and chickpea on soil microbial biomass

A: خالص بزرگ، B: خالص نخود، C: کشت مخلوط یک ردیف نخود + یک ردیف بزرگ، D: کشت مخلوط دو ردیف نخود + دو ردیف بزرگ، E: کشت مخلوط چهار ردیف نخود + دو ردیف بزرگ، F: کشت مخلوط چهار ردیف بزرگ + دو ردیف نخود

A: pure cropping of chickpea, B: pure cropping of linseed, C: 1 row chickpea+ 1 row linseed, D: seed 2 rows chickpea+ 2 rows linseed, E: 4 rows chickpea+ 2 rows linseed, F: 2 rows chickpea+ 4 row linseed

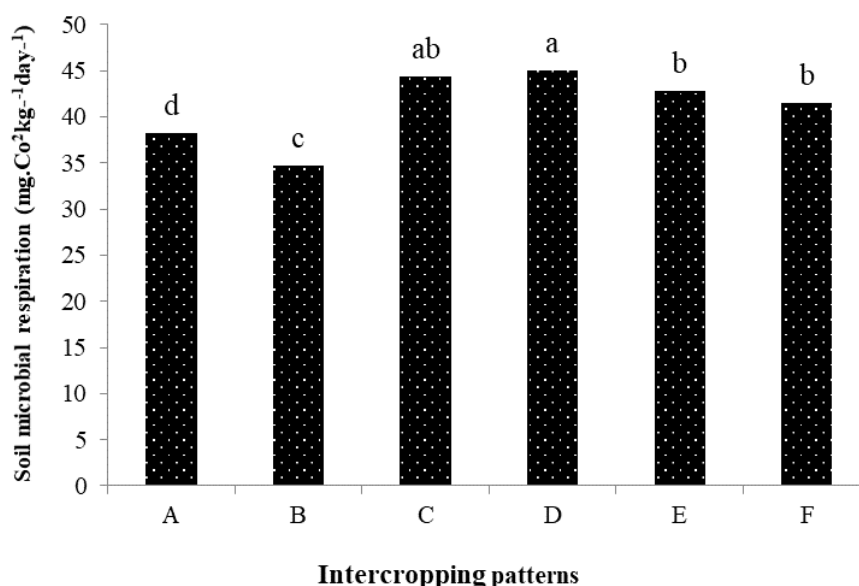
میانگین‌های دارای حروف مشترک، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means with different letters are not significantly different based on Duncan's multiple range test $P \leq 0.05$.

در کیلوگرم خاک در روز) از کشت خالص بزرگ به دست آمد (شکل ۲). به نظر می‌رسد که یکی از دلایل افزایش تنفس میکروبی خاک در کشت مخلوط افزایش مواد آلی و فعالیت ریزموجودات خاک و هم زمان بهبود تهویه خاک باشد. در تأیید نتایج این آزمایش، محققان دیگر افزایش تنفس میکروبی خاک در کشت مخلوط را افزایش تنوع گونه‌های زراعی گزارش کردند و بیان نمودند که افزایش تنوع گیاهان زراعی در چند کشتی منجر به افزایش تنفس میکروبی خاک در مقایسه با تک کشتی گیاهان می‌گردد (Azizi et al., 2013).

تنفس میکروبی خاک

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر الگوهای مختلف کشت و نوع کود مصرفی بر تنفس میکروبی خاک معنی‌دار بود؛ اما اثر متقابل الگوی کشت و نوع کود معنی‌دار نگردید (جدول ۹). تنفس میکروبی خاک در الگوهای مختلف کشت مخلوط نسبت به کشت خالص هر دو گونه بالاتر بود؛ به طوری که بیشترین مقدار تنفس میکروبی خاک (۴۵/۰۳ میلی گرم دی‌اکسید کربن در کیلوگرم خاک در روز) از الگوی کشت مخلوط دو ردیف نخود + دو ردیف بزرگ و کمترین مقدار تنفس میکروبی خاک (۳۴/۶۷ میلی گرم دی‌اکسید کربن



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط بزرک و نخود بر تنفس میکروبی خاک

Fig. 2- Mean comparisons for the effect of intercropping different patterns of chickpea and linseed on soil microbial respiration

A: خالص بزرک، B: خالص نخود، C: کشت مخلوط یک ردیف نخود + یک ردیف بزرک، D: کشت مخلوط دو ردیف نخود + دو ردیف بزرک، E: کشت مخلوط چهار ردیف نخود + دو ردیف بزرک، F: کشت مخلوط چهار ردیف بزرک + دو ردیف نخود

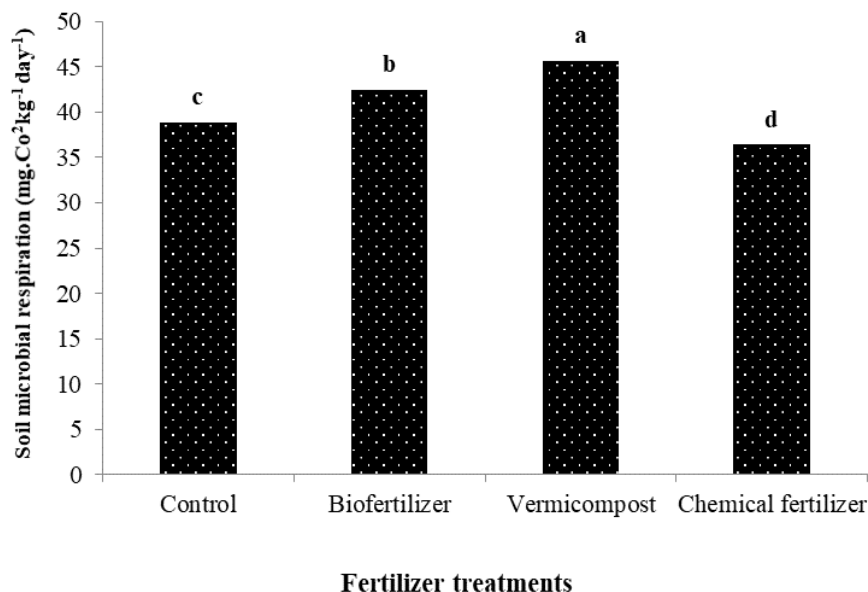
A: pure cropping of chickpea, B: pure cropping of linseed, C: 1 row chickpea+ 1 row linseed, D: seed 2 rows chickpea+ 2 rows linseed, E: 4 rows chickpea+ 2 rows linseed, F: 2 rows chickpea+ 4 rowd linseed

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

Means with different letters in each shape are not significantly different based on Duncan's multiple range test $P \leq 0.05$.

کمپلکس‌های آلی و تأمین عناصر غذایی و آزادسازی تدریجی آن‌ها باعث بهبود فعالیت میکروبی در خاک شده و متعاقب آن با افزایش تجزیه مواد آلی، تنفس میکروبی در خاک را افزایش می‌دهد (Tohidinejad et al., 2011). اما در اغلب دیم‌زارهای ایران به دلیل کمبود آب و پایین بودن ماده آلی خاک، تجزیه و جذب کودهای شیمیایی پایین است. از طرف دیگر، کودهای شیمیایی فاقد مواد آلی هستند. در چنین شرایطی، ترشحات ریشه‌ای به محیط ریزوسفر کاهش یافته و فعالیت انواع جمعیت میکروبی کم شده که خود در کاهش تنفس میکروبی و کربن زیست‌توده مؤثر می‌باشد. چنین به نظر می‌رسد که در تحقیق حاضر، استفاده از کشت مخلوط و کودهای زیستی و آلی، با بالا بردن جمعیت و فعالیت قارچ‌ها و باکتری‌ها در خاک، باعث افزایش کربن زیست‌توده میکروبی و تنفس شده که نشان‌دهنده کارایی بالاتر این تیمارها است که می‌تواند به دلیل اثرات متقابل مثبت بین این میکروارگانیسم‌ها نیز باشد.

مقایسه میانگین تنفس میکروبی خاک نشان داد که کودهای آلی و زیستی تنفس خاک را به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (شکل ۳). به‌طوری‌که بیشترین مقدار تنفس میکروبی خاک (۴۵/۶۹ میلی گرم دی‌اکسید کربن در کیلوگرم خاک در روز) از تیمار ورمی‌کمپوست و کمترین مقدار تنفس خاک (۳۶/۴۳ میلی گرم دی‌اکسید کربن در کیلوگرم خاک در روز) از تیمار کود شیمیایی به‌دست آمد. به نظر می‌رسد یکی از دلایل افزایش تنفس میکروبی خاک توسط ورمی‌کمپوست به‌علت افزایش مواد آلی، فراهمی عناصر غذایی و ایجاد بستر مناسب برای فعالیت و افزایش میکروارگانیسم‌های خاک می‌باشد که در این شرایط تجزیه مواد آلی خاک بیشتر شده و در نتیجه، انتشار گاز دی‌اکسید کربن را به‌دنبال خواهد داشت. آزاد شدن دی‌اکسید کربن شاخصی از تجزیه مواد آلی و یا فعالیت موجودات خاک‌زی در یک اکوسیستم می‌باشد (Garcia Orenes et al., 2007). کودهای آلی از جمله ورمی‌کمپوست از طریق ایجاد تخلخل، تشکیل



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودی بر تنفس میکروبی خاک
Fig. 3- Mean comparison for effect of fertilizer treatment on soil microbial respiration

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند. Means with different letters in each shape are not significantly different based on Duncan's multiple range test $P \leq 0.05$.

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که استفاده از الگوهای مختلف کشت مخلوط توانست اثرات منفی کمبود آب در شرایط دیم را کاهش و فعالیت‌های بیولوژی خاک را افزایش دهد که در جذب عناصر غذایی مؤثر بود. به‌طوری‌که میزان کلروفیل a، b، کاروتنوئید و غلظت عناصر غذایی در هر دو گونه در تمامی الگوهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص‌شان بالاتر بود. تلقیح با باکتری محرک رشد و کاربرد کودهای آلی از جمله ورمی‌کمپوست باعث بهبود رشد گیاه و افزایش احتمالی ترشحات ریشه گیاه می‌شود و افزایش این ترشحات به نوبه خود موجب افزایش شاخص‌های زیستی خاک و بهبود حاصلخیزی خاک و در نهایت، ارتقاء وضعیت تغذیه گیاه می‌گردد. با توجه به تأثیر

متقابل و مفید گیاه و منابع کودی و جوامع میکروبی ریزوسفری، می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط کشت اکولوژیک و پایدار می‌توان با کمک باکتری‌های محرک رشد گیاه و کود آلی ورمی‌کمپوست موجب ارتقاء شاخص‌های زیستی خاک شده و از این طریق باعث جذب عناصر غذایی خاک شده و در نهایت، رشد و عملکرد گیاه را افزایش داد. بنابراین، با توجه به کمبود بارندگی در اغلب دیم‌زارهای مناطق ایران و اثر مثبت کاربرد کود آلی و زیستی در حفظ رطوبت خاک، بهبود کیفیت فیزیکوشیمیایی خاک، فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک‌زی و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی می‌توان برای دستیابی به عملکرد مناسب در شرایط دیم از کودهای آلی و زیستی استفاده نمود.

References

1. Ahmadvand, G., and Hajinia, S., 2016. Ecological aspects study of replacement intercropping patterns of soybean (*Glycine max* L.) and millet (*Panicum miliaceum* L.). Journal of Agroecology 7(4): 485-498. (In Persian with English Summary)
2. Akbari, S.H., Kafi, M., and Rezvan Beidokhti, S., 2017. The effect of drought stress and plant density on

- biochemical and physiological characteristics of two garlic (*Allium sativum* L.) ecotypes. Iranian Journal of Field Crops Research 14(4): 665-674. (In Persian with English Summary)
3. Alizadeh, Y., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M., 2018. Assessing effect of manure and chemical fertilizer on net primary production, soil respiration and carbon budget in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) ecosystem under Mashhad climatic condition. Journal of Agroecology 4(9): 1070-1083. (In Persian with English Summary)
4. Amyanpoori, S., Ovassi, M., and Fathinejad, E., 2015. Effect of vermicompost and triple superphosphate on yield of corn (*Zea mays* L.). Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences 3(4): 494-499.
5. Anderson, T.H., and Domsch, K.H., 1993. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. Soil Biology and Biochemistry 25: 393-395.
6. Ansari, M.F., Tipre, D.R., and Dave, S.R., 2015. Efficiency evaluation of commercial liquid biofertilizers for growth of chickpea (*Cicer aeritinum* L.) in pot and field study. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology 4(1): 17-24.
7. Arancon, N., Edwards, C.A., Bierman, P., Welch, C., and Metzger, J.D., 2004. Influences of vermicompost on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. Bioresource Technology 93: 145-53.
8. Arguello, J.A., Ledesma, A., Nunez, S.B., Rodriguez, C.H., and Goldfarb, M.D.D., 2006. Vermicompost effects on bulbing dynamics, nonstructural carbohydrate content, yield and quality of Rosado paraguay garlic bulbs. Horticultural Sciences 41(3): 589-592.
9. Asgharipour, M., and Rafiei, M., 2010. Intercropping of isabgol (*Plantago ovate* L.) and lentil as influenced by drought stress. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 9(1): 62-69.
10. Azizi, G., Koocheki, A., Nassiri mahallati, M., and Rezvani Moghaddam, P., 2013. Effect of plant diversity and nutrition source on soil microbial respiration and density of weeds in different planting patterns. 5th Congress of Weed Science, Tehran University, Iran. (In Persian)
11. Bargaz, A., Noyce, G., Fulthorpe, R., Carlsson, G., Furze, J., Jensen, E., Dhiba, D., Maney E.Isaac, M., 2017. Species interactions enhance root allocation, microbial diversity and p acquisition intercropped wheat and soybean under p deficiency. Applied Soil Ecology 120: 179-188.
12. Bates, L.S., Waldren, R.P., and Teare, L.D., 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.
13. Brito, I., Goss, M.J., de Carvalho, M., van Tuinen, D., and Antunes, P.M., 2008. Agronomic management of indigenous mycorrhizas. p. 375-402. In A. Varma (Ed.). Mycorrhiza. Springer-Verlag.
14. Campitelli, P., and Ceppi, S., 2008. Effects of composting technologies on the chemical and physicochemical properties of humic acids. Geoderma 14: 325-33.
15. Darzi, M.T., Ghalavand, A., and Rejali, F., 2009. The effects of biofertilizers application on N, P, K assimilation and seed yield in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 25(1): 1-19. (In Persian with English Summary)
16. Eskandari, H., and Ghanbari, A. 2011. Evaluation of competition and corn (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vigna sinensis* L.) intercropping for nutrient consumption. Agricultural Science and Sustainable Production 21(2): 67- 75. (In Persian with English Summary)
17. Eskandari, H., and Ghanbari, A., 2011. The evaluation of competing and complementary components of mixed cropping of maize and cowpea. Journal of Sustainable Agricultural production 21 (2): 68-75. (In Persian with English Summary)
18. Fallaha, S., Rostaiea, M., Lorigooinib, Z., and Abbasi Surkia, A., 2018. Chemical compositions of essential oil and antioxidant activity of dragonhead (*Dracocephalum moldavica*) in sole crop and dragonhead-soybean (*Glycine max*) intercropping system under organic manure and chemical fertilizers. Industrial Crops and Products 115: 158–165
19. Garcia Orenes, F., Roldan, A., guerrero, C., Mataix Solera, J., Navarro Pedreno, J., Gomez, I., and MataixBeneyto, J., 2007. Effect of irrigation on the survival of total coliforms in three semiarid soils after amendment withsewage sludge. Waste Management 27(12): 1815-1819.
20. Ghanbari, S., Moradi Telavat, M.R., and Siadat, S.A., 2017. Effect of Manure application on forage yield and some nutrients consumption in barley and fenugreek intercropped system. Iranian Journal of Field Crops Research 15(3): 603-614. (In Persian with English Summary)

21. Ghorbanli, M., BakhshiKhaniki, G.H., and Zakeri, A., 2011. Effect of drought stress on anti oxidan compound on linseed (*Linum usitatissimum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27(4): 646-658. (In Persian with English Summary)
22. Ghosh, P.K., Manna, M., Bandyopadhyay, K., Ajay, A., Tripathi, A., Wanjari, R.H., Hati, K.M., Misra, A.K., Acharya, C.L., and Subba Rao, A., 2006. Interspecific interaction and nutrient use in (soybean/sorghum)intercropping system. Agronomy Journal 98: 1097-1108.
23. Ghost, B.C., and Bhat, R., 1998. Environmental hazards of nitrogen loading in wetland rice fields. Environmental Pollution 102: 123-126.
24. Gnaana, S., and Paliwal, K., 2011. Drought induced changes in growth, leaf gas exchange and biomassproduction in *Albizia lebbeck* and *Cassia siamea* seedlings. Journal Environmental Biology 32: 173-178.
25. Habyarimana, E., Laureti, D., De Ninno, M., and Lorenenzoni, C., 2004. Performances of biomass sorghum under different water regimes in Mediterranean region. Industrial Crops and Products 20: 23-28
26. Haileselesie, T.H., and Teferii, G., 2012. The Effect of salinity stress on germination of chickpea (*Cicer arietinum* L.) land race of tigray. Current Research Journal of Biological Sciences 4: 578-583.
27. Hamzei, J., and Babaei, M., 2017. Study of quality and quantity of yield and land equivalent ratio of sunflower in intercropping series with bean. Journal of Agroecology 8(4): 490-504. (In Persian with English Summary)
28. Inal, A., Gunes, A., Zhang, F., and Cakmak, I., 2007. Peanut/ maize intercropping induced changes in rhizosphere and nutrient concentrations in shoots. Plant Physiology and Biochemistry 20: 1-7.
29. Irrigoyen, J.H., Emerich, D.W., and Sanchez Diaz, M., 1992. Water stress induced changes in concentration of proline and total soluble sugars in modulated alfalfa (*Medicago sativa* L.) plant. Physiological Pantarum 84: 55-60.
30. Izadpanah, M., and Calagari, M., 2014. Effects of drought on osmotic adjustment, antioxidant enzymes and pigments in wild *Achillea tinctoria* populations. Ethno-Pharmaceutical Products 1(2): 43-54.
31. Jaber, M., Baradaran, R., Mousavi, G., and Aghavani Shajari, M., 2018. Effect of biofertilizers and irrigation management on physiological indices of fenugreek (*Trigonella foenum- graecum* L.). Journal of Plant Ecophysiology 9(32): 142-151. (In Persian with English Summary)
32. Jafar-dokht, R., Mosavi Nik, S. M., Mehraban, A., and Basiri, M., 2015. Effect of water stress and foliar micronutrient application on physiological characteristics and nutrient uptake in mung bean. Journal of Crop Production 8(1): 121-141. (In Persian with English Summary)
33. Jahan, M., Nassiri Mahallati, M., Amiri, M.B., and Ehyayi, H.R., 2013. Radiation absorption and use efficiency of sesame as affected by biofertilizers inoculation in a low input cropping system. Industrial Crops and Products 43: 606-611.
34. Jannoura, R., Joergensena, R.G., and Bruns, C., 2014. Organic fertilizer effects on growth, crop yield, and soil microbial biomass indices in sole and intercropped peas and oats under organic farming conditions. European Journal of Agronomy 52: 259-270.
35. Jenkinson, D.S., and Powelson, D.S., 1976. The effect of biocidal treatments of metabolism in soil-V: A method for measuring soil biomass. Soil Biology and Biochemistry 8: 209-213.
36. Karimi, S., Abbaspour, H., Sinaki, J.M., and Makarian, H., 2012. Effects of water deficit and chitosan spraying on osmotic adjustment and soluble protein of cultivars castor bean (*Ricinus communis* L.). Journal of Stress Physiology and Biochemistry 8: 160-169.
37. Kirkham, M.B., 2016. Elevated Carbon Dioxide: Impacts on Soil and Plant Water Relations. Boca Raton, CRC Press. 80 p.
38. Kokalis-Buerelle, N., Kloepper, J.W., and Reddy, M.S., 2006. Plant growth-promoting rhizobacteria as transplant amendments and their affects on indigenous rhizosphere microorganisms. Applied Soil Ecology 31:91-100.
39. Koocheki, A., Nassiri-Mahallati, M., Borumand-Rezazadeh, Z., and Khorramdel, S., 2010. Effect of delayed, intercropping wheat and corn on nitrogen use and utility efficiency. 1th Iranian Conference of Sustainable Agricultural and Healthy Crop Production. Agricultural and Natural Resources Research Center, Isfahan, Iran. (In Persian with English Summary)
40. Liu, X., Ren, G., and Shi,Y., 2011. The effect of organic manure and chemical fertilizer on growth and developmentof *Stevia rebaudiana* Bertoni. Energy Procedia 5: 1200-1204.
41. Lokhande, V.H., Nikam, T.D., and Penna, S., 2010. Biochemical, physiological and growth changes in response to salinity in callus cultures of *Sesuvium portulacastrum* L.. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 102: 17-25.

42. Machado, S., 2009. Does intercropping have a role in modern agriculture? *Journal of Soil Water Conservation* 64: 55-57.
43. Madani, H., Naderi Brojerdi, G.H., Aghajani, H., and Pazaki, A.R., 2010. Evaluating of chemical phosphate fertilizers and phosphor solubilizing bacteria on seed yield, biological yield and tissues relative phosphorus content in winter rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Agronomy and Plant Breeding* 6(4): 95-104. (In Persian with English Summary)
44. Manivannan, P., Abdul Jaleel, C., Sankar, B., Kishorekumar, A., Somasundaram, R., Lakshmanan, G.M.A., and Panneerselvam, R., 2007. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in (*Helianthus annuus* L.) as induced by drought stress. *Colloids and Surfaces* 59: 141-149.
45. Mehrvarz, S., and Chaichi, M.R., 2008. Effect of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus fertilizer on forage and grain quality of barley (*Hordeum vulgare* L.). *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science* 3(6): 855-860.
46. Mobasser. H.R., Vazirimehr, M.R., and Rigi, K., 2014. Effect of intercropping on resources use, weed management and forage quality. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences* 4(2): 706-713.
47. Najafi, N., and Mostafae, M., 2015. Improvement of corn plant nutrition by farmyard manure application and intercropping with bean and bitter vetch in a calcareous soil. *Journal of Soil Management and Sustainable Production* 5(1): 1- 22. (In Persian with English Summary)
48. Naseri, Z., Abbassi, F., and Mahmoodzadeh, H., 2011. Effects of different water deficit levels and GA₃ on the accumulation of proline and soluble and insoluble sugars in leaves of a new cultivar of barley (*Hordeum vulgar* L.). *Journal of Plant Science Researches* 6(2): 1-10. (In Persian with English Summary)
49. Nemati Darbandi, M., Azizi Mohammadi, S., and Karimpour, S., 2014. Foliar application of different concentration of vermiwash effects on morphological traits, yield, and essence of lemon balm drug (*Melisa officinalis* L.). *Journal of Horticultural Science (Agricultural Science and Technology)* 27(4):411-417. (In Persian with English Summary)
50. Nnadi, L.A., and Haque, I., 1986. Forage legume cereal systems: improvement of soil fertility and agricultural production with special reference to sub-Saharan Africa. In I. Haque, S. Jutzi and P.J.H. Neate (Eds.). *Potential of Forage Legumes in Farming Systems of Sub-Saharan Africa*. Addis Ababa, Ethiopia. p. 330-362.
51. Nurbakhsh, F., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M., 2016. Evaluation of Species diversity effect on some of agroecosystem services in the intercropping of corn, soybean and marshmallow 2- yield, land equivalent ratio, soil microbial respiration and biomass, carbon sequestration potential. *Journal of Crop Production* 9(2): 49-68 . (In Persian with English Summary)
52. Nyasasi, B.T., and Kisetu, E., 2014. Determination of land productivity under maize-cowpea intercropping system in agro-ecological zone of mount Uluguru in Morogoro, Tanzania. *Global Journal of Agricultural Sciences* 2(2): 147-157.
53. Oliviera-Neto, C.F., Silva-Lobato, A.K., Goncalves-Vidigal, M.C., Costa, R.C.L., Santos-Filho, B.G., Alves, G.A.R., Silva-Maia, W.J.M., Cruz, F.J.R., Neres, H.K.B., and Santos- Lopes, M.J., 2009. Carbon compounds and chlorophyll contents in sorghum submitted to water deficit during three growth stages. *Science and Technology* 7: 588-593.
54. Pakgohar, N., and Ghanbari, A., 2013. Evaluation of competition and nutrient consumption of Nutrifid millet and green pea in intercropping. *Journal of Crops Improvement* 15(4): 137-150. (In Persian with English Summary)
55. Patade, V.Y., Bhargava, S., and Suprasanna, P., 2011. Salt and drought tolerance of sugarcane under iso-osmotic salt and water stress: growth, osmolytes accumulation, and antioxidant defense. *Journal of Plant Interactions* 6: 275-282.
56. Raeisi, N., Vakili, M.A., Sarhadi, J., and TorkiNejad, F., 2015. The effect of manure, iron and zinc on yield and cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research* 31(1): 138-139. (In Persian with English Summary)
57. Reinhard, W., Neugschwandtner, R., and Kaul, P.H., 2016. Concentrations and uptake of macronutrients by oat and pea in intercrops in response to N fertilization and sowing ratio. *Archives of Agronomy and Soil Science* 62(9): 1236-1249.
58. Rezaei-Chiyaneh, E., Khorramdel, S., Movludi, A., and Rahimi, A., 2017. Effects of nanchelated zinc and mycorrhizal fungi inoculation on some agronomic and physiological characteristic of safflower (*Carthamus*

- tinctorius* L.) under drought stress conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 15(1): 168-184. (In Persian with English Summary)
59. Rezaei-Chiyaneh, E., Seyyedi, S.M., Ebrahimian, E., Siavash Moghaddama, S., and Damalas, C.A., 2018. Exogenous application of gamma-aminobutyric acid (GABA) alleviates the effect of water deficit stress in black cumin (*Nigella sativa* L.). Industrial Crops and Products 112: 741-748.
60. Rezaei-Chiyaneh, E., Zehtab Salmasi, S., Ghasemi Golazani, K., and Del Azar, A., 2013. Physiological reaction of fennel (*Foeniculum vulgare*) in water restriction. Journal of Agroecology 4(4): 347-355. (In Persian with English Summary)
61. Rostaei, M., and Fallah, S., 2016. Assessment of canopy characteristics and essential oil yield of fenugreek and black cumin in intercropping under application of organic and chemical fertilizer. Journal of Sustainable Agriculture and Production Science 25(4): 1-23. (In Persian with English Summary)
62. Sadeghian Dehkordi, S.A., Tadayyon, A., Tadayon, M.R., and Saffar, A., 2015. Effect of drought stress and bio-fertilizers and chemical fertilizers on some morphological and physiological characteristics of linseed (*Linum usitatissimum* L.). Arid Biome Scientific and Research Journal 5(2):83-92. (In Persian with English Summary)
63. Sallaku, G., Babaj, I., Kaciu, S., and Balliu, A., 2009. The influence of vermicompost on plant growth characteristics of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings under saline conditions. Journal of Food, Agriculture and Environment 7: 869-872.
64. Seyed Sharifi, R., 2016. Application of biofertilizers and zinc increases yield, nodulation and unsaturated fatty acids of soybean. Zemdirbyste-Agriculture 103(3): 251-258.
65. Sheikhpour, S., Sirousmehr, A.R., and Fakheri, B.R., 2014. Evaluation of chlorophyll content, nutrients and yield of borage (*Borago officinalis* L.) in responses to chemical and biological fertilizers. Advanced in Crop Science 2: 131-140.
66. Slama, I., Ghnaya, T., Hessini, k., Messedi, D., Savoure, A., and Abdely, C., 2007. Comparative study of the effects of mannitol and PEG osmotic stress on growth and solute accumulation in *Sesuvium portulacastrum*. Environmental and Experimental Botany 61: 10-17.
67. Stefan, M., Munteanu, N., Stoleru, V., Mihasan, M., and Hritcu, L., 2013. Seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria enhances photosynthesis and yield of runner bean (*Phaseolus coccineus* L.). Scientia Horticulturae 151: 22-29.
68. Tang, X., Bernard, L., Brauman, A., Daufresne, T., Deleporte, P., Desclaux, D., Souche, G., Placella, S.A., and Hinsinger, P., 2014. Increase in microbial biomass and phosphorus availability in the rhizosphere of intercropped cereal and legumes under field conditions. Soil Biology and Biochemistry 75: 86-93.
69. Todaka, D., Shinozaki, K., and Yamaguchi-Shinozaki, K., 2015. Recent advances in the dissection of drought-stress regulatory networks and strategies for development of drought-tolerant transgenic rice plants. Frontiers in Plant Science 6: 2-20.
70. Tohidinejad, E., Madani, H., and Jenabi, M., 2011. Organic fertilizers and vermicompost. Shahid Bahonar University of Kerman Publication. p. 150. (In Persian)
71. Veisipoor, A., Majidi, M.M., and Mirlohi, A., 2012. Traits relationship in sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) under normal and water stress conditions. Iranian Journal of Field Crop Science 42(4): 745-756. (In Persian with English Summary)
72. Wang, B., Mei, C., and Seiler, J.R., 2015 a. Early growth promotion and leaf level physiology changes in Burkholderia phytofirmans strain PsJN inoculated switchgrass. Plant Physiology and Biochemistry 86: 16-23.
73. Wang, Z., Bao, X., Li, X., Jin, J., Zhao, J., Sun, J., Christie, P., and Li, L., 2015 b. Intercropping maintains soil fertility in terms of chemical properties and enzyme activities on a timescale of one decade. Plant and Soil 391: 265-282.
74. Xoconostle-Cazares, B., Ramirez-Ortega, F.A., Flores-Elenes, L., and Ruiz-Medrano, R., 2010. Drought tolerance in crop plants. American Journal of Plant Physiology 5(5): 241-256.
75. Yamuna, B.G., Yogananda, S.B., Thimmegowda, M.N., and Lalitha, B.S., 2017. Effect of maize- based intercropping system on nutrient uptake and yield of crops in southern dry zone of Karnataka. International Journal of Farm Sciences 7(1): 142-164.
76. Zare Mehrjerdi, M., Bagheri, A., Bahrami, A., Nabati, J., and Masoumi, A., 2016. Effect of drought stress on osmotic adjustment, proline and soluble sugars in root, shoot, and relationship with drought tolerance in 12

- genotypes of Chickpea (*Cicer arietinum* L.). Iranian Journal of Field Crop Science 47(3): 451-462. (In Persian with English Summary)
77. Zhang, Y., Chen, F., Li, L., Chen, Y., Liu, B., Zhou, Y., Yuan, L., Zhang, F., and MI, G., 2012. The role of maize root size in phosphorus uptake and productivity of maize/faba bean and maize/wheat intercropping systems. Science China Life Sciences 11: 993-1001.
78. Zuo, Y., and Zhang, F., 2011. Soil and crop management strategies to prevent iron deficiency in crops. Plant and Soil 339: 83-95.



Evaluation of Ecophysiological Characteristics of Row Intercropped Linseed (*Linum usitatissimum* L.) with Chickpea (*Cicer arietinum* L.) affected as Fertilizer Sources under Dryland Conditions

S. Asadi¹, E. Rezaei-Chiyaneh^{2*} and R. Amirnia³

Submitted: 10-09-2018

Accepted: 14-11-2018

Asadi, S., Rezaei-chiyaneh, E., and Amirnia, R., 2020. Evaluation of ecophysiological characteristics of row intercropped linseed (*Linum usitatissimum* L.) with chickpea (*Cicer arietinum* L.) affected as fertilizer sources under dryland conditions. Journal of Agroecology 12(2):241-264.

Introduction

The use of organic fertilizers such as vermicompost is a major component of organic farming practices. Vermicompost can provide the essential plant nutrients and enhance crop productivity, but also leave a beneficial residual effect on succeeding crops. Intercropping is the cultivation of two or more crops in such a way that they interact agronomically. Intercropping legumes with non-legumes is particularly important in organic farming because it enhances yield stability, concentrations and uptake of nutrients and on the other hand reduces disease and weed pressure. There is no information available about the effects of fertilizer source in intercropping system on the ecophysiological characteristics of linseed and chickpea in dry conditions. Therefore, the purpose of the present study was to contribute to a better understanding of the eco-physiology responses of linseed and chickpea plants to fertilizer source and cropping pattern.

Materials and Methods

The field experiments were conducted at Agricultural Experimental in a farm located in Naqadeh, West Azerbaijan, Iran (longitude 45°24' E, latitude 38°52' N, altitude 1318 m) in 2017. The first factor included six cropping patterns consist of 1 row chickpea + 1 row linseed, 2 rows chickpea + 2 rows linseed, 4 rows chickpea + 2 rows linseed, 2 rows chickpea + 4 rows linseed and monocropping of each crop and the second factor was included four levels control (no use fertilizer), 100% chemical fertilizers (NPK), biofertilizers (Azoto Barvar -1+ Phosphate Barvar -2+ Pota Barvar -2+ Sulfur Barvar -1) and vermicompost (10 t.ha⁻¹). In order to measure different elements in seed of linseed and chickpea, dry ash method was used. Concentration of potassium (K) was analyzed by a flame photometer. Nitrogen measurements by Kjeldahl and phosphorus were calculated by yellow method, in which vanadate-molybdate is used as an indicator. Phosphorus (P) content was determined at 430 nm using a spectrophotometer. To measure the microbial respiration of the soil, the Anderson and Dumasuch methods were used and microbial biomass carbon was determined by fumigation- extraction method.

Results and Discussion

Chickpea: According to the results of the experiment, intercropping and fertilizer source had a significant effect on improving nutrients uptake of linseed and chickpea plants. The highest amounts of chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoids were obtained from 1 row chickpea + 1 row linseed and four row chickpea + two rows of linseed, respectively and the lowest amount was related to sole cropping. The results of fertilizer treatments showed that the highest amounts of chlorophyll a and chlorophyll b and carotenoid were obtained from vermicompost treatment and the lowest amount of these photosynthetic pigments was obtained in non-fertilized conditions. In addition, the results showed that nutrients uptake were affected by cropping pattern and fertilizer treatments. Among the fertilizer treatments, the highest percentage of nitrogen and phosphorus in chickpea were achieved from vermicompost fertilizer and these values were obtained from control treatment.

1, 2 and 3- Graduate Student of Agronomy, Assistant Professor and Associated Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: e.rezaeichiyaneh@urmia.ac.ir)

Doi:10.22067/jag.v12i2.75309

Linseed: Mean comparison of data showed that photosynthetic pigments were affected by different fertilizer treatments. So that the highest amounts of chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoids were obtained from vermicompost treatment and the least amount of these photosynthetic pigments were achieved from control treatment. Among the applied fertilizer treatments, the highest amount of phosphorus and potassium were obtained from biofertilizer treatment and the lowest values were recorded from control (non-usage of fertilizer). Soil microbial respiration and microbial soil biomass were only affected by cropping patterns and fertilizer source. The highest Soil microbial respiration and soil microbial biomass were recorded in two rows of chickpea + two rows of linseed with vermicompost application.

Conclusion

The use of fertilizer source plays an effective role in increasing the uptake nutrients of chickpea and linseed, which is probably due to the supply of water and improved activity of beneficial microorganisms in the soil. Soil respiration and microbial biomass increased under the influence of fertilizer treatments (both biofertilizer and organic fertilizer), however the activity of soil microorganisms was the main reason for the increased soil respiration under application of vermicompost fertilizer.

Keywords: Biofertilizer, Nutrients, Proline, Soil microbial respiration, Soil microbial biomass



مقاله علمی - پژوهشی

ارزیابی توانایی بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی و پتانسیل گرمایش جهانی گندم (*Triticum aestivum* L.) در استان خراسان رضوی

عبدالله ملافیلابی^{۱*} و جواد شباهنگ^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۹

ملافیلابی، ع.، و شباهنگ، ج.، ۱۳۹۹. ارزیابی توانایی بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی و پتانسیل گرمایش جهانی گندم (*Triticum aestivum* L.) در استان خراسان رضوی. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۲(۲): ۲۶۵-۲۷۹.

چکیده

به منظور تعیین خصوصیات خاک و توانایی بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم (*Triticum aestivum* L.)، نمونه‌برداری به روش تصادفی سیستماتیک از پنج نقطه در ۲۵ مزرعه در استان خراسان رضوی در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. برای تعیین ضرایب تبدیل ترسیب کربن در اندام‌های هوایی و زیرزمینی شامل سنبله، ساقه، برگ و ریشه از روش احتراق استفاده شد. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل CO_2 ، N_2O و CH_4 با استفاده از ضرایب انتشار محاسبه شد. نتایج نشان داد که میانگین محتوی کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس، پتاسیم قابل دسترس، وزن مخصوص ظاهری، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک مزارع گندم به ترتیب ۰/۹۸ درصد، ۰/۰۲۲ درصد، ۲۷/۰۷ پی‌پی‌ام، ۳۴۱/۳۲ پی‌پی‌ام، ۱/۳۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب، ۷/۸۱ و ۱/۴۲ دسی‌زیمنس بر متر تعیین شد. بالاترین و پایین‌ترین ضریب تبدیل به ترتیب برای سنبله + دانه (۵۲/۰ درصد) و ریشه (۳۱/۹۹ درصد) به دست آمد. مجموع توان بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی برابر با ۸/۲۵ تن در هکتار تعیین گردید که بیشترین و کمترین میزان به ترتیب برای ساقه و ریشه با ۴/۲۸ و ۰/۳۵ تن در هکتار حاصل گردید. مجموع پتانسیل گرمایش جهانی گندم به ازای نهاده‌های مصرفی و عملیات زراعی ۸۸۴/۸۶ کیلوگرم معادل CO_2 به ازای یک تن دانه محاسبه گردید که بیشترین میزان با ۸۰۹۲/۲۴ کیلوگرم معادل CO_2 به ازای یک تن دانه به سوخت‌های فسیلی اختصاص داشت.

واژه‌های کلیدی: انتشار گازهای گلخانه‌ای، ضریب تبدیل، کربن آلی، کود نیتروژنه

مقدمه

فشرده، سوزاندن سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی شامل تبدیل مراتع به دیمزارها، جنگل‌زدایی و سوزاندن زیست‌توده گیاهی اشاره کرد (Hutchinson et al., 2007). دوبری و همکاران (Duxbury et al., 1993) سهم انتشار دی‌اکسید کربن از زمین‌های کشاورزی را ۲۵-۲۰ درصد کل دی‌اکسید کربن انتشار یافته به اتمسفر گزارش نمودند.

از جمله راهکارهای اکولوژیکی مؤثر در کاهش سطح دی‌اکسید کربن به عنوان یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای (Heinemann et al., 2005) در اتمسفر و افزایش آن در خاک، می‌توان به نظام‌های بدون شخم (Follett et al., 2005; Lal & Kimble, 1997)،

از اواخر قرن ۱۸ میلادی تاکنون غلظت دی‌اکسید کربن حدود ۲۵ درصد افزایش یافته و از حدود ۲۸۰ پی‌پی‌ام به بیش از ۳۶۰ پی‌پی‌ام رسیده است. از جمله فعالیت‌های مؤثر در این رابطه می‌توان به به کارگیری مدیریت رایج بوم‌نظام‌های زراعی، اعمال خاک‌ورزی‌های

۱- استادیار گروه زیست‌فناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.

۲- دکتری بوم‌شناسی زراعی گروه زراعت و اصلاح و نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

(*) - نویسنده مسئول: (Email: a.filabi@rifst.ac.ir)

Doi: 10.22067/jag.v12i2.75482

حسب نوع گونه، مکان و شیوه مدیریت متفاوت می‌باشد. (Ma, 1999) (با بررسی پتانسیل ترسیب کربن ارزن چندساله (*Pennisetum glaucum* L.) بیان داشت با توجه به بالاتر بودن سهم کربن تسهیم یافته به ریشه در مقایسه با سایر بافت‌های گیاهی، ریشه‌های این گیاه بیشترین تأثیر را بر توان ترسیب کربن خاک داشتند.

ایران با داشتن شرایط آب‌وهوایی ویژه، بستر مناسبی را برای تولید انواع محصولات کشاورزی فراهم آورده است. در این میان، زراعت غلات، بخش اساسی فعالیت کشاورزان را شامل می‌شود. در شرایط متغیر اقلیمی مناطق نیمه‌خشک همچون خراسان رضوی، گیاهانی که بتوانند بدون آبیاری کشت شوند، محدودند. غلات مقاوم به خشکی به‌ویژه گندم (*Triticum aestivum* L.) که گونه‌ای استراتژیک محسوب می‌شود، در این مناطق از اهمیت به‌سزایی برخوردارند. از طرف دیگر، اگرچه محققان راهکارهای بهبوددهنده پتانسیل ترسیب کربن خاک را بسیار متنوع می‌دانند، اما با توجه به اینکه بخش عمده اراضی کشور به‌ویژه استان خراسان رضوی در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع بوده که دارای محتوی ماده آلی بسیار پایین (در حدود کمتر از ۰/۱ درصد) می‌باشد (I & Hajabbas, 2000; Mosaddeghi et al., 2000; Shirani et al., 2002)، به نظر می‌رسد که ارزیابی پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم به‌عنوان یکی از گیاهان اصلی منطقه خراسان امری ضروری به نظر می‌رسد. علاوه‌براین، تعیین خصوصیات خاک این محصول ارزشمند و ارزیابی پتانسیل گرمایش جهانی می‌تواند اطلاعات مفیدی را در خصوص نحوه مدیریت این گیاه ارائه نماید. بنابراین، این مطالعه با هدف ارزیابی خصوصیات خاک، توان بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم و برآورد پتانسیل گرمایش جهانی آن در استان خراسان رضوی انجام شد.

مواد و روش‌ها

ارزیابی توانایی بالقوه ترسیب کربن

به‌منظور ارزیابی توانایی بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم نمونه‌برداری به‌روش تصادفی سیستماتیک (Chambers & Brown, 1983) از پنج نقطه در ۲۵ مزرعه در استان خراسان رضوی در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک (Mahdavi et al., 2009) انجام شد. به این صورت که سه ترانسکت به‌طول ۳۰ متر به‌صورت تصادفی و در امتداد

کودهای آلی (Falloon et al., 1998)، تناوب زراعی و کشت مخلوط (Follett et al., 2005) در بوم‌نظام‌های زراعی اشاره کرد. از جمله راهکارهای اکولوژیکی برای حذف دی‌اکسید کربن ذخیره این گاز در قالب زیست توده گیاهی (ترسیب کربن^۱) و وارد کردن کربن آلی به خاک می‌باشد. اینگرام و فرناندز (Ingram & Fernandez, 2001) خاک را به‌عنوان بزرگ‌ترین منبع کربن خشکی و مدیریت ترسیب کربن در آن را مهم‌ترین فاکتور برای افزایش سازگاری نظام نسبت به گاز دی‌اکسید کربن معرفی کردند. مک‌کونکی و همکاران (Mc Conkey et al., 2003) گزارش نمودند که میزان ذخیره کربن در خاک‌های بدون شخم در مقایسه با خاک‌های شخم‌خورده بین ۵۱۲-۶۷ کیلوگرم در هکتار بیشتر است. مطالعه یان و همکاران (Yan et al., 2007) روی محتوی کربن در زمین‌های زراعی نشان داد که اعمال نظام‌های بدون شخم در ۵۰ درصد زمین‌های زراعی و افزودن ۵۰ درصد از بقایای گیاهی به خاک باعث افزایش توان ترسیب کربن خاک شد. نتایج مطالعه خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2013) نشان داد که افزایش شدت خاک-ورزی و استفاده از کود شیمیایی نیتروژن‌دار در نظام‌های پرنهاده به‌علت افزایش سرعت تجزیه کربن آلی منجر به کاهش محتوی آن، کاهش بخش پایدار کربن آلی و در نهایت، بهبود توان ترسیب کربن خاک شد. بر این اساس، با توجه به اینکه میزان ماده آلی خاک به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان و همچنین در کشور ایران به‌شدت پایین می‌باشد (Bationo & Buerkert, 2001)، بنابراین افزایش محتوی کربن و ماده آلی خاک را می‌توان به‌عنوان راهکاری چندمنظوره جهت کاهش غلظت دی‌اکسید کربن، بهبود پتانسیل ترسیب کربن و حفظ سطح تولید در بوم‌نظام‌های زراعی این مناطق مورد استفاده قرار داد.

گونه‌های گیاهی غالب هر منطقه نیز به‌دلیل برخورداری از سطح تاج‌پوشش بیشتر، نقش اصلی را در ترسیب کربن رویشگاه ایفا می‌کنند (Hill et al., 2003). گونه‌های سازگار به مناطق خشک و نیمه‌خشک و هر یک از اندام‌های آن‌ها دارای نقش متفاوتی در این فرآیند هستند. نجم‌الدینی (Najm-Eldini, 2013) دریافت بین میزان ذخیره کربن پوشش گیاهی و فرم‌های متفاوت رویشی با میزان کربن ترسیب شده ارتباط معنی‌داری وجود داشت. مورتسون و شیومن (Mortenson & Schuman, 2002) نیز بیان نمودند که پتانسیل ترسیب کربن بر

برآورد انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی

جهت برآورد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی گندم در استان خراسان رضوی طی سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵، میزان مصرف سوخت، کود دامی و نهاده‌های شیمیایی شامل کودهای نیتروژن، فسفر، پتاسیم، علف‌کش، حشره‌کش و قارچ‌کش به‌صورت تکمیل ۵۰ پرسش‌نامه و مصاحبه حضوری از کشاورزان منطقه جمع-آوری شد. برای تعیین تعداد پرسش‌نامه از رابطه کوکران (Snedecor & Cochran, 1980) استفاده شد (معادله ۱).

$$\text{معادله (۱)} \quad n = (N t^2 s) / (N d^2 + t^2 s^2)$$

که در این معادله، N: اندازه جمعیت آماری، t: استیودنت ضریب اطمینان (بر اساس احتمال ۹۵ درصد)، S²: واریانس، d: دقت احتمالی مطلوب و n: حجم نمونه می‌باشد.

میانگین میزان مصرف نهاده‌های مصرفی در نظام‌های تولید گندم در استان خراسان رضوی به‌ازای یک هکتار در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- میزان نهاده‌های مصرفی در نظام‌های تولید گندم به‌ازای یک هکتار در استان خراسان رضوی طی سال ۹۴-۱۳۹۳
Table 1- Mean of consumed inputs in wheat agrosystems per one ton ha in Khorasan-e-Razavi during year of 2014-2015

کود حیوانی Manure (t)	حشره کش Insecticide (l)	قارچ کش Fungicide (l)	علف کش Herbicide (l)	کود شیمیایی			سوخت Fuel (l)
				Chemical fertilizers (kg)			
				پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	
0.78	0.31	0.42	2.13	36.98	158.14	253.45	8862.56

از آن‌جا که اثر هر یک از گازهای گلخانه‌ای بر پتانسیل گرمایش جهانی متفاوت می‌باشد (IPCC, 2007)، لذا این شاخص با استفاده از معادله ۲ به‌صورت معادل دی‌اکسید کربن محاسبه گردید (Tzivilakis et al., 2005).

معادله (۲)

$GWP = CO_2 \text{ flux} + (N_2O \text{ flux} \times 310) + (CH_4 \text{ flux} \times 21)$
که در آن، GWP: پتانسیل گرمایش جهانی (کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن به‌ازای یک تن دانه)، CO₂ flux: انتشار دی‌اکسید کربن، N₂O flux: انتشار اکسید نیتروژن و CH₄ flux: انتشار متان

هر ترانسکت سه پلات ۵/۰ مترمربعی مستقر و اندام‌های هوایی و زیرزمینی در هر پلات به‌طور کامل برداشت شد. زمان برداشت اندام‌های رویشی و زایشی شامل دانه + سنبله، ساقه، برگ و ریشه در بهار بود. برای مطالعه خاک، از بین پلات‌های مستقر شده در امتداد هر ترانسکت، پنج پلات به‌صورت تصادفی انتخاب و در داخل هر یک پروفیلی در زیر هر گیاه حفر و از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری، نمونه-برداری صورت گرفت.

برای تعیین ضرایب تبدیل در اندام‌های چهارگانه (شامل سنبله + دانه، ساقه، برگ و ریشه) از روش احتراق (Abdi et al., 2008; Bordbar et al., 2008; Forouzeh et al., 2008) استفاده شد. بر این اساس، اندام‌های برداشت شده به‌تفکیک در آون (به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد) خشک و پس از ترکیب، نمونه-های دو گرمی در کوره احتراق (به‌مدت سه ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد. خاکستر نمونه‌ها پس از خنک شدن در دسیکاتور، توزین شد. با تعیین وزن خاکستر و وزن اولیه ماده آلی، محتوی کربن آلی هر یک از اندام‌های گیاهی محاسبه شد (Polidori et al., 2008). میزان ترسیب کربن خاک، پس از تعیین میزان کربن آلی خاک با استفاده از روش والکی و بلک (Walkley & Black, 1934) محاسبه گردید.

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل دی‌اکسید کربن (CO₂)، اکسید نیتروس (N₂O) و متان (CH₄) با استفاده از ضرایب انتشار محاسبه شد (IPCC, 2007; Lal, 2004; Snyder et al., 2009; Tzivilakis et al., 2005). قابل ذکر است به‌دلیل عدم موجود بودن ضریب انتشار CO₂ برای آفت‌کش‌ها و همچنین عدم مصرف این نوع ماده شیمیایی در تعداد زیادی از مزارع مورد بررسی، از برآورد آن خودداری شد. در همین راستا، خوش‌نویسان و همکاران (Khoshnevisan et al., 2013) نیز اظهار داشتند که آفت‌کش‌های شیمیایی سهم ناچیزی از پتانسیل گرمایش جهانی را شامل می‌شوند.

می‌باشد.

به‌دست آمد. همچنین میزان ترسیب کربن خاک در این مزارع برابر با $40.27/80$ گرم در مترمربع محاسبه شد. دلیل پایین بودن ترسیب کربن خاک مربوط به محتوی پایین ماده آلی خاک می‌باشد. خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2015) توان بالقوه ترسیب کربن خاک‌های مزارع کلزا (*Brassica napus*) استان خراسان را $3/46$ تن در هکتار گزارش نمودند.

وارد کردن بقولات در تناوب زراعی با سایر گیاهان علاوه بر بهبود محتوی نیتروژن، کربن خاک را اضافه (Sainju et al., 2009) و حاصلخیزی خاک را نیز افزایش می‌دهد (Melero et al., 2011). جاسترو و همکاران (Jastrow et al., 2007) نیز تأیید نمودند در هر سیستمی که ورودی کربن به خاک بیش از خروجی آن باشد، از طریق افزایش بودجه کربن، ترسیب کربن رخ می‌دهد. نتایج مطالعه وست و پوس (West & Post, 2002) نیز نشان داد که میانگین ترسیب کربن در شرایط تغییر خاک‌ورزی از رایج به بدون شخم برابر با 57 ± 14 گرم کربن در مترمربع در سال بود. این محققان پتانسیل ترسیب کربن خاک را تحت تأثیر افزایش تناوب زراعی 0.11 ± 0.15 مگاگرم در هکتار در سال گزارش کردند. بازگرداندن بقایای گیاهی به خاک نیز غلظت کربن آلی و توان ترسیب کربن خاک را افزایش داده (Havlin et al., 1990) و دانه‌بندی را نیز بهبود می‌بخشد (Lal, 1997) و از این طریق باعث بهبود ترسیب کربن در خاک می‌شود. اسکالپ و همکاران (Schulp et al., 2008) بیان داشتند که نوع و ترکیب گونه‌ها از طریق تأثیر در ورودی کربن به خاک، مقدار کربن آلی و توان ترسیب کربن را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

از آن‌جا که کاشت گیاهان چندساله به‌واسطه افزایش درصد چوبی شدن و تفاوت‌های فیزیولوژیکی با گونه‌های یک‌ساله (Tamartash et al., 2012; Nobakht et al., 2011)، کاهش عملیات خاک‌ورزی (Jastrow et al., 2007; West & Post, 2002)، تناوب کاشت به‌ویژه در شرایط انتخاب گیاهان خانواده بقولات (López-Bellido et al., 2010)، اثر مثبتی بر بهبود کربن آلی و ترسیب کربن خاک دارد (Campbell et al., 1996 a; Campbell et al., 1996 b; López-Bellido et al., 2010)، لذا با توجه به اجرای خاک‌ورزی-های فشرده در مزارع گندم در این استان و نظر به اهمیت فقر ماده آلی در خاک‌های این مزارع، پیشنهاد می‌شود روش‌های نوین خاک-ورزی همچون کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی، حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک و وارد کردن بقولات در تناوب زراعی به‌منظور بهبود

تعیین قابلیت پایایی پرسش‌نامه^۱

برای سنجش قابلیت پایایی پرسش‌نامه از ضریب آلفای کرونباخ^۲ استفاده گردید (Cronbach, 1951). ضریب آلفای یکی از متداول‌ترین روش‌های اندازه‌گیری اعتمادپذیری و یا پایایی پرسش‌نامه است. منظور از پایایی پرسش‌نامه آن است که اگر صفات مورد سنجش با همان وسیله و در شرایط مشابه و زمان‌های مختلف مجدداً اندازه‌گیری شوند، نتایج تقریباً یکسان حاصل شود.

داده‌های بخش ارزیابی توان بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 مورد تجزیه آماری قرار گرفت. لازم به ذکر است که نمونه‌های برداشت شده در مزرعه به‌عنوان تکرار در نظر گرفته شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد مقایسه شدند. جهت رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

ضریب آلفای کرونباخ برای مقیاس اصلی پرسش‌نامه $\alpha = 0.84$ محاسبه شد که نشان‌دهنده قابلیت اعتماد بالای پرسش‌نامه بوده است.

خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک

مزارع گندم در استان خراسان رضوی دارای بافت خاک رسی سیلتی بوده و میانگین محتوی کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس، پتاسیم قابل دسترس، وزن مخصوص ظاهری، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک مزارع مورد مطالعه به‌ترتیب 0.98 درصد، 0.22 درصد، $27/07$ پی‌پی‌ام، $341/32$ پی‌پی‌ام، $1/37$ گرم بر سانتی‌متر مکعب، $7/81$ و $1/42$ دسی‌زیمنس بر متر تعیین شد.

عملکرد اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم

میانگین عملکرد سنبله + دانه، ساقه، برگ و ریشه گندم به‌ترتیب برابر با $5.09/16$ ، $88.0/64$ ، $236/97$ و $10.9/73$ گرم بر مترمربع

1- Reliability
2- Cronbach's alfa

توان ترسیب کربن خاک به‌ویژه در نظام‌های زراعی مناطق خشک و نیمه‌خشک مدنظر قرار گیرد که اجرای آن راهکارها بهبود تنوع کارکردی و در نتیجه، پایداری سیستم‌های تولید گندم را نیز موجب خواهد شد.

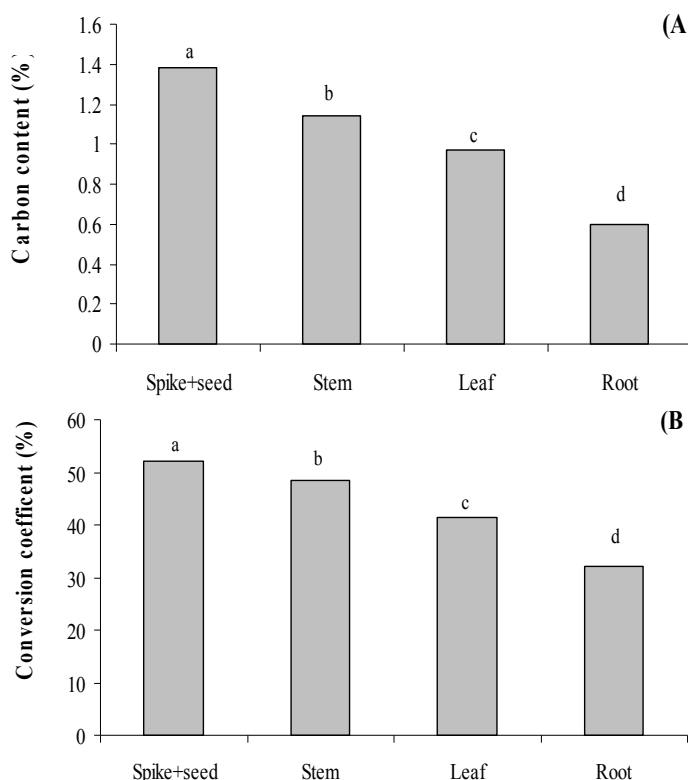
ضرایب تبدیل و توان بالقوه ترسیب کربن

محتوی کربن و ضریب تبدیل بین اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم به‌طور معنی‌داری متفاوت بود ($p \leq 0.01$) (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) میزان کربن، ضرایب تبدیل و توان بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم
Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for carbon content, conversion coefficients and carbon sequestration potential of wheat above-ground and under-ground tissues

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	محتوی کربن Carbon content	ضریب تبدیل Conversion coefficient	توان ترسیب کربن Carbon sequestration potential
اندام‌های هوایی و زیرزمینی Above and below ground tissues	3	0.548**	391.05**	155654**
خطا Error	16	0.00282	4.63	112
کل Total	19	-	-	-

***: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.
**: Significant at 1% probability level.



شکل ۱- مقایسه میانگین (الف) محتوی کربن و (ب) ضرایب تبدیل اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم

Fig. 1- Mean comparison for (A) carbon content and (B) conversion coefficients of wheat above-ground and under-ground tissues

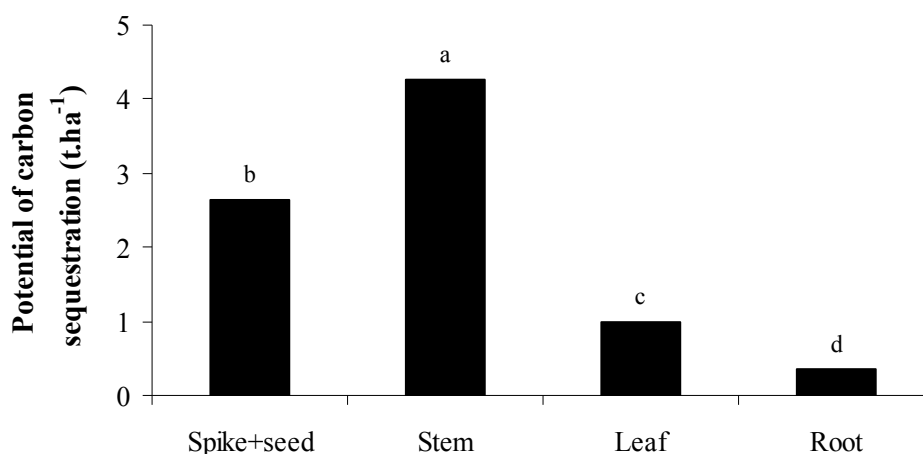
میانگین‌های دارای حروف مختلف در هر شکل، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری دارند ($p \leq 0.05$).
Means with different letter(s) in each shape have significant difference based on Duncan's test ($p \leq 0.05$).

بود. خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2015) گزارش نمودند که در مقایسه اندام‌های هوایی و زیرزمینی کلزا، بیشترین ضریب تبدیل برای خورجین و بذر با ۵۱/۶۵ درصد به‌دست آمد که مقادیر محاسبه شده برای سایر اندام‌ها شامل ساقه، برگ و ریشه به‌ترتیب ۵، ۱۶ و ۳۴ درصد کمتر از خورجین و بذر بود. فروزه و همکاران (Forouzeh et al., 2008) گزارش نمودند که ضرایب تبدیل اندام‌های سه گونه گل‌آفتابی (*Helianthemum lippii* (L.)) (Pers.)، سیاه‌گینه Van (*Dendrostellera lessertii* (Wikstr.)) و درمنه دشتی (*Artemisia sieberi* Besser.) متفاوت بود.

توان بالقوه ترسیب کربن به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم قرار گرفت ($p \leq 0.01$) (جدول ۲). مجموع توان بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی برابر با ۸/۲۵ تن در هکتار تعیین گردید که بیشترین و کمترین میزان به‌ترتیب برای ساقه و ریشه با ۴/۲۸ و ۰/۳۵ تن در هکتار حاصل گردید. سهم ساقه، سنبله + دانه، برگ و ریشه از کل توان ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی به‌ترتیب ۵۲، ۳۲، ۱۲ و ۴ درصد محاسبه شد (شکل ۲).

بیشترین و کمترین محتوی کربن در بین اندام‌های مختلف به‌ترتیب به سنبله + دانه و ریشه با ۱/۳۹ و ۰/۶۰ درصد تعلق داشت. میزان افزایش محتوی کربن ساقه و برگ در مقایسه با ریشه به‌ترتیب ۹۱ و ۶۲ درصد محاسبه شد. میزان افزایش میانگین محتوی کربن اندام‌های هوایی ۹۵ درصد بالاتر از ریشه تعیین گردید (شکل ۱-الف).

بالاترین ضریب تبدیل به سنبله + دانه با ۵۲/۰ درصد اختصاص داشت و کمترین ضریب برای ریشه با ۳۱/۹۹ درصد به‌دست آمد. میزان افزایش ضریب تبدیل ساقه و برگ در مقایسه با ریشه به‌ترتیب برابر با ۵۲ و ۲۹ درصد محاسبه گردید. همچنین میانگین ضریب تبدیل اندام‌های هوایی ۴۸ درصد بالاتر از ریشه تعیین شد (شکل ۱-ب). کاهش ضریب تبدیل در برگ‌ها و ریشه احتمالاً تحت تأثیر بالاتر بودن مواد معدنی در این اندام‌ها در مقایسه با سایر اندام‌ها بوده که کاهش محتوی کربن را به‌دنبال داشته است. از طرف دیگر، بالا بودن ضریب تبدیل سنبله + دانه احتمالاً تحت تأثیر میزان کم آب در این اندام‌ها است. نتایج مطالعه جعفریان و طایفه سید علی‌خوانی (Jafarian & Tayefeh Seyyed Alikhani, 2013) نیز مؤید بالاتر بودن ضرایب تبدیل اندام‌های هوایی در مقایسه با ریشه گندم



شکل ۲- مقایسه میانگین ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم
Fig. 2- Mean comparison for carbon sequestration potential of wheat above-ground and under-ground tissues
 میانگین‌های دارای حروف مختلف بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری دارند ($p \leq 0.05$).
 Means with different letter(s) have significant difference based on Duncan's test ($p \leq 0.05$).

می‌رسد که وجود ترشحات ریشه‌ای (Daudu et al., 2009) و

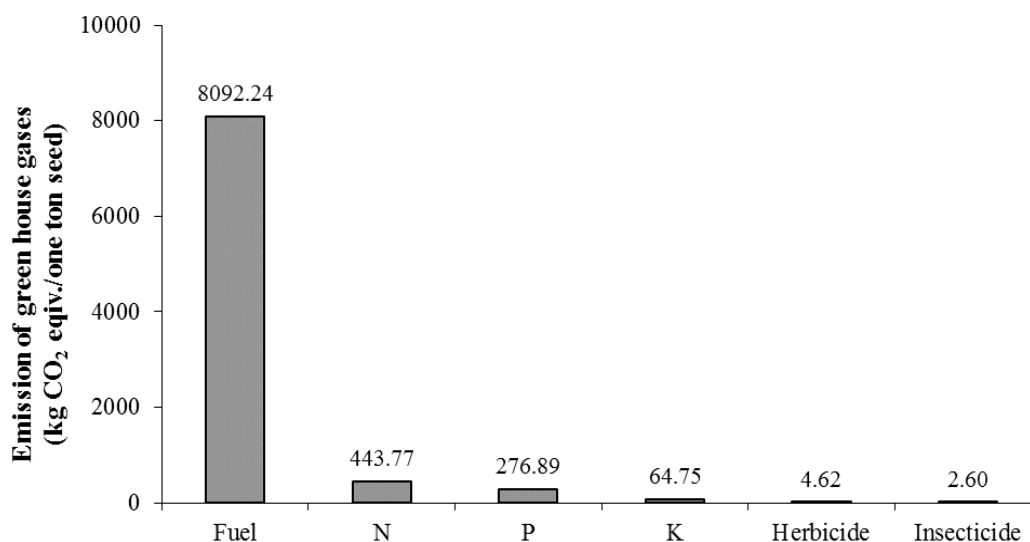
اگرچه بافت ریشه به ظاهر خشبی‌تر از ساقه است، ولی به نظر

پتانسیل را برای سنبله ($1/0.26$ تن در هکتار) و کمترین میزان را به ریشه ($0/189$ تن در هکتار) نسبت دادند. سینگ و همکاران (Singh et al., 2003) تأکید نمودند که پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های مختلف هوایی و زیرزمینی گیاهان متفاوت بود. نتایج یافته‌های گائو و همکاران (Gao et al., 2007) و یانگ (Yong, 2007) نیز مؤید بالاتر بودن پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های هوایی از زیرزمینی بود. بنابراین، با توجه به پایین بودن ماده آلی خاک (Hajabbasi & Hemmat, 2000; Mc Conkey et al., 2003; Mosaddeghi et al., 2000) و تأثیر مثبت بقایای گیاهی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک به‌ویژه محتوی کربن آلی (Busari et al., 2015; Kirchmann et al., 2016)، توصیه می‌شود مصرف بقایای اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم را جهت بهبود ماده آلی خاک به‌ویژه در بوم‌نظام‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر خراسان رضوی مدنظر قرار داد که از این طریق می‌توان پتانسیل ترسیب کربن خاک را نیز بهبود بخشید. بهبود پتانسیل ترسیب کربن، معادل افزایش زیست‌توده و تولید گیاهی، بهبود حاصلخیزی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و جلوگیری از فرسایش است (Jafarian & Tayefeh Seyyed Alikhani, 2013). بنابراین، از آن‌جا که زیست‌توده گیاهی در بهبود توان ترسیب کربن و کاهش غلظت این گاز نقش مؤثری دارد، هرگونه اقدامی که باعث افزایش پوشش گیاهی گردد، به‌طور غیرمستقیم در بهبود ترسیب کربن نیز تأثیرگذار خواهد بود.

پتانسیل گرمایش جهانی

مجموع پتانسیل گرمایش جهانی گندم در استان خراسان رضوی به‌ازای نهاده‌های مصرفی و عملیات زراعی برابر با $8884/86$ کیلوگرم معادل CO_2 به‌ازای یک تن دانه محاسبه گردید که بیشترین میزان با $8092/24$ کیلوگرم معادل CO_2 به‌ازای یک تن دانه (91 درصد از کل پتانسیل گرمایش جهانی) به مصرف سوخت اختصاص داشت. در بین کودهای مصرفی، بیشترین و کمترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ترتیب مربوط به کودهای نیتروژنه ($4/99$ درصد از کل پتانسیل گرمایش جهانی) و پتاسه ($0/73$ درصد از کل پتانسیل گرمایش جهانی) با $443/77$ و $64/75$ معادل کیلوگرم CO_2 به‌ازای یک تن دانه بود. مجموع سهم سموم شیمیایی مصرفی در انتشار گازهای گلخانه‌ای در حدود یک درصد تعیین گردید (شکل ۳).

همچنین نسبت کمتر کربن به نیتروژن این بافت (Russell et al., 2005) موجب کاهش توان ترسیب کربن آن در مقایسه با ساقه شده است. از طرف دیگر، وجود بافت خشبی‌تر در ساقه و همچنین وزن خشک بالاتر آن در مقایسه با سایر اندام‌ها موجب افزایش توان ترسیب کربن آن شد. لذا به نظر می‌رسد که اندام‌های با بافت چوبی‌تر از توان بیشتری در ترسیب کربن برخوردار بوده و افزایش نسبت اندام‌های هوایی چوبی، ارتقاء توان ترسیب کربن را موجب می‌شود. بر این اساس، با توجه به سهم بالای انتشار گازهای گلخانه‌ای از بوم‌نظام‌های زراعی، توصیه می‌شود از تنوع بخشیدن به الگوهای کشت و ورود گیاهان چندساله مانند گیاهان علوفه‌ای، دارویی و کشت مخلوط، کاربرد بقایای گیاهی، کاهش شدت عملیات خاک‌ورزی و مصرف مقادیر مناسب کودهای آلی به‌عنوان راهکارهایی پایدار برای تخفیف گرمایش جهانی بهره‌گیری شود (Braschkat et al., 2003) که اجرای این روش‌ها علاوه بر جلوگیری از فرسایش خاک، موجب بهبود پتانسیل ترسیب کربن خواهد شد. البته به‌کارگیری این راهکارهای اکولوژیک بهبود تنوع کارکردی و در نتیجه پایداری نظام‌های تولید را نیز به‌دنبال خواهد داشت. همچنین به‌منظور کاربردی‌تر بودن نتایج این آزمایش پیشنهاد می‌شود که اضافه کردن بقایای ساقه گندم به‌عنوان فرآورده جانبی مزارع تولید این گیاه جهت بهبود محتوی ماده آلی و افزایش پتانسیل ترسیب کربن در خاک به‌ویژه در شرایط آب‌وهوایی خشک و نیمه‌خشک نظیر استان خراسان رضوی که محتوی کربن آلی خاک پایین است و همچنین به‌منظور افزایش ثبات تولید مدنظر قرار گیرد. خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2015) مجموع توان بالقوه ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی کلزا را $5/12$ تن در هکتار تعیین کردند. این محققان همچنین اظهار داشتند که بالاترین و پایین‌ترین توان بالقوه ترسیب کربن به‌ترتیب برای ساقه با $1/81$ تن در هکتار و برگ با $0/76$ تن در هکتار به‌دست آمد. پتانسیل ترسیب کربن خورجین + بذر و ریشه نیز به‌ترتیب 4 و 56 درصد کمتر از ساقه محاسبه شد. فروزه و همکاران (Forouzeh et al., 2008) با بررسی پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های سه گونه گل آفتابی، سیاه گینه و درمنه دشتی بیان داشتند که در مقایسه اندام‌های مختلف هوایی و زیرزمینی، ساقه‌ها بالاترین توان و برگ‌ها کمترین پتانسیل را به خود اختصاص دادند. جعفریان و طایفه سید علی‌خوانی (Jafarian & Tayefeh Seyyed Alikhani, 2013) نیز با بررسی پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های مختلف گندم، بالاترین



شکل ۳- میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای نظام‌های تولید گندم در استان خراسان رضوی بر اساس میزان مصرف نهاده‌ها
Fig. 3- Total emissions of green house gases for wheat agroecosystems in Khorasan-e-Razavi based on consumed inputs

(Crutzen, 1981). آی‌پی‌سی‌سی (ISO, 2006) میزان انتشار نیتروژن به اتمسفر را $1/25$ کیلوگرم N_2O به‌ازای کاربرد 100 کیلوگرم در خاک گزارش نمود. برنتراپ و همکاران (Brenttrup et al., 2004) عقیده دارند که انتشار N_2O به‌طور مستقیم وابسته به تولید و مصرف کودهای شیمیایی است. بومن (Bouwman, 1990) نیز عامل عمده انتشار N_2O از بوم‌نظام‌های کشاورزی را مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و خاک‌ورزی فشرده معرفی نمود. خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2014) گزارش نمودند که بیشترین پتانسیل گرمایش جهانی نظام تولیدی گندم آبی برابر با $89/61$ واحد معادل دی‌اکسید کربن به‌ازای یک تن دانه برای سطح کودی بیش از 220 کیلوگرم نیتروژن در هکتار و برای گندم دیم برابر با $937/73$ واحد معادل دی‌اکسید کربن به‌ازای یک تن دانه برای سطح کودی بیش از 60 کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد. بارکر-رید و همکاران (Barker-Reid et al., 2005) میزان انتشار سالانه N_2O تحت تأثیر خاک‌ورزی فشرده و مصرف کودهای شیمیایی از مزارع تولید گندم دیم آلمان را $0/2 - 0/27$ $kg N_2O-N/ha$ گزارش نمودند. میسترلینگ و همکاران (Meisterling et al., 2009) نشان دادند که تولید یک کیلوگرم نان در نظام ارگانیک نسبت به نظام رایج در آمریکا، 30 کیلوگرم دی‌اکسید کربن کمتری تولید خواهد کرد.

دلیل عمده تولید و انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه CO_2 و N_2O در بوم‌نظام‌های زراعی مربوط به مصرف سوخت‌های فسیلی و به‌کارگیری ماشین‌آلات در عملیات مختلف زراعی و مصرف کود نیتروژن است. برنتراپ و همکاران (Brenttrup et al., 2004) گزارش نمودند که 59 درصد انتشار مستقیم CO_2 مربوط به کارخانه‌های تولید کودهای شیمیایی نیتروژنه است. کوپر و همکاران (Cooper et al., 2011) نیز اظهار داشتند از آن‌جا که 14 درصد انتشار خالص دی‌اکسید کربن در بوم‌نظام‌های زراعی مربوط به عملیات خاک‌ورزی است، لذا برای کاهش انتشار دی‌اکسید کربن از بوم‌نظام‌های زراعی بایستی از روش‌های خاک‌ورزی حداقل و کاهش یافته بهره‌گیری شود. ناگی (Nagy, 2000) میزان انتشار دی‌اکسید کربن را در انواع علف‌کش‌ها برابر با $2000 - 1996$ کیلوگرم به‌ازای جزء فعال برآورد نمود.

علاوه‌بر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن طی قرون گذشته به‌دلیل افزایش فعالیت‌های صنعتی، بررسی‌ها مؤید افزایش غلظت N_2O در اتمسفر زمین از 275 به 319 پی‌پی‌بی می‌باشد. اگرچه غلظت این گاز در اتمسفر ناچیز به نظر می‌رسد، ولی پتانسیل گرمایش N_2O 310 برابر بیشتر از دی‌اکسید کربن است و حضور آن علاوه‌بر تشدید گرمایش جهانی و تغییر اقلیم، تخریب ازن را نیز موجب می‌گردد

مختلف زراعی افزایش انتشار N_2O و آبشویی نیترات را نیز به‌همراه دارد (Brentrup & Palliere, 2008; Lammel, 2000). بنابراین، پیشنهاد می‌شود وضعیت زیست‌محیطی این نظام‌های تولید با استفاده از راهکارهای مختلف اکولوژیکی نظیر ارزیابی چرخه‌حیات مورد بررسی قرار گیرد. در همین راستا، برنترپ و همکاران (Brentrup et al., 2004) نیز بیان داشتند که بررسی وضعیت پایداری نظام‌های تولیدی امری ضروری می‌باشد. این محققان تأکید کردند که محاسبه LCA می‌تواند مشکلات فرآیندهای نظام تولیدی از قبیل میزان مصرف منابع و تغییر کاربری اراضی را نیز مشخص و مرتفع نماید. اکرت و همکاران (Eckert et al., 1999) نیز بیان داشتند که بررسی عملکرد زیست‌محیطی نظام‌های تولید امری مهم و ضروری می‌باشد. همچنین از آن‌جا که این رهیافت‌ها عملکرد زیست‌محیطی نظام‌های مختلف تولیدی را با هم مقایسه می‌کند، در نهایت، می‌توان نظام‌های متناسب از نظر کاهش آلودگی و مصرف بهینه منابع را معرفی کرد و از این طریق نیز منجر به بهبود شرایط زیست‌محیطی شد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که ترسیب کربن خاک مزارع گندم استان خراسان رضوی پایین می‌باشد که به محتوی پایین ماده آلی خاک نسبت داده شد. ضرایب تبدیل و پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم به‌طور معنی‌داری مختلف بودند. لذا با توجه به پایین بودن میزان ماده آلی خاک و تأثیر مثبت بقایای گیاهی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک به‌ویژه محتوی کربن آلی، توصیه می‌شود مصرف بقایای اندام‌های هوایی و زیرزمینی گندم را جهت بهبود ماده آلی به‌ویژه در بوم‌نظام‌های مناطق خشک و نیمه-خشک مدنظر قرار داد که از این طریق می‌توان ترسیب کربن خاک را نیز بهبود بخشید. همچنین از آن‌جا که مصرف نیتروژن نقش مهمی در تشدید پتانسیل گرمایش جهانی دارد، توصیه می‌شود مصرف نهاده‌های آلی و وارد کردن گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن را به‌عنوان راهکاری بوم‌شناختی به‌منظور جایگزینی برای کودهای شیمیایی نیتروژنه مدنظر قرار داد. همچنین به‌منظور کاهش اثرات زیست‌محیطی پیشنهاد می‌شود وضعیت پایداری نظام‌های تولید با استفاده از راهکارهای مختلف اکولوژیکی نظیر ارزیابی چرخه‌حیات مورد بررسی قرار گیرد.

می‌بودی و همکاران (Moudrý et al., 2013) میزان انتشار دی‌اکسید کربن در نظام رایج را بیشتر از نظام ارگانیک برآورد نمودند. بدین ترتیب، اگرچه افزایش مصرف کود نیتروژن، موجب افزایش عملکرد می‌گردد، ولی بایستی به این مهم توجه کرد که افزایش مصرف کود نیتروژن، علاوه بر افزایش هزینه‌های تولید و افزایش مصرف انرژی، موجب تشدید انتشار CO_2 و سایر گازهای گلخانه‌ای طی فرآیند تولید و مصرف این کود به محیط می‌گردد.

به‌طور کلی، از آن‌جا که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در بین نظام‌های تولید غلات بسته به نوع مدیریت، شرایط اقلیمی، خاکی و نظام تولید متفاوت می‌باشد (Khan et al., 2009; Khan et al., 2010) و با توجه به سهم بالای انتشار گازهای گلخانه‌ای، پیشنهاد می‌شود از راهکارهای مدیریتی پایدار و اکولوژیک نظیر خاک‌ورزی حفاظتی، مصرف کودهای آلی و وارد کردن کود سبز و گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن در تناوب زراعی جهت جبران کمبود عناصر غذایی خاک به‌عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی بهره‌گیری گردد (Braschkat et al., 2003). روش‌های نوین از جمله خاک‌ورزی حفاظتی و کم‌خاک‌ورزی نه تنها از نظر مصرف انرژی و کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی اقتصادی‌تر هستند، بلکه از فرسایش خاک نیز جلوگیری کرده و با حفظ بقایای گیاهی بیشتر بر سطح خاک باعث بهبود پتانسیل ترسیب کربن نیز خواهند شد که علاوه بر بهبود تنوع کارکردی، پایداری و ثبات را برای نظام‌های تولید گندم در استان خراسان رضوی به ارمغان خواهد آورد.

توسعه تکنولوژی‌های رایج کشاورزی باعث افزایش مصرف انرژی شده که این امر تشدید آلودگی‌های زیست‌محیطی را نیز تحت تأثیر ورود انواع آلاینده‌ها به بخش‌های مختلف محیط زیست به‌شکل آبشویی، تبخیر، تصعید و غیره، بروز بیماری‌های متفاوت به‌دنبال داشته است (Skowrońska & Filipek, 2014). به‌طوری‌که طی سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ میلادی میزان مصرف کودهای شیمیایی شامل نیتروژن، P_2O_5 و K_2O در کشورهای اروپایی به‌ترتیب ۱۰/۵، ۲/۴ و ۲/۷ میلیون تن بوده که این کودها بخش زیادی از آلاینده‌های زیست‌محیطی شامل ۱/۶ تن CO_2 به‌ازای تولید یک تن NH_3 و ۲-۲/۵ تن N_2O به‌ازای یک تن HNO_3 را به محیط منتشر نموده‌اند (Skowrońska & Filipek, 2014). در هنگام تولید کودهای شیمیایی نیز ۱۰-۳ درصد N_2 مولکولی، ۳-۰/۳ درصد NH_4 به محیط اکسید می‌شود. اختلاف زیاد محتوی رطوبتی خاک در نظام‌های

References

- 1- Abdi, N., Maadah Arefi, H., and Zahedi Amiri, G., 2008. Estimation of carbon sequestration in *Astragalus* rangelands of Markazi province (Case study: Malmir rangeland in Shazand region). Iranian Journal of Range Desert Research 15(2): 269-282. (In Persian with English Summary)
- 2- Barker-Reid, F., Gates, W.P., Wilson, K., Baigent, R., Galbally, I.E., Meyer, C.P., Weeks, I.A., and Eckard, R.J., 2005. Soil nitrous oxide emission from rainfed wheat in SE Australia. In: A. Van Amsted (Ed.). Non-CO₂ greenhouse gases (NCGG-4). Utrecht, the Netherlands: Millpress.
- 3- Bationo, A., and Buerkert, A., 2001. Soil organic carbon management for sustainable land use in Sudano-Sahelian West Africa. Nutrient Cycling in Agroecosystems 61: 131-142.
- 4- Bordbar, S.K., and Mortazavi Jahromi, S.M., 2008. Carbon sequestration potential of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. and *Acacia salicina* Lindl. plantation in western areas of Fars province. Pajouhesh Sazandegi (70): 95-103. (In Persian with English Summary)
- 5- Bouwman, A.F., 1990. Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. In: A.F. Bouwman (Ed.), Soils and the Greenhouse Effect. p. 61-127. Chichester: Wiley.
- 6- Braschkat, J., Patyk, A., Quirin, M., and Reinhardt, G.A., 2003. Life cycle assessment of bread production—a comparison of eight different scenarios. In: Proceedings of the Fourth International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector, 6-8 October, Bygholm, Denmark. p. 9-16.
- 7- Brentrup F., Kusters J., Kuhlmann H., and Lammel J., 2004. Environmental impacts assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology. I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. European Journal of Agronomy 20: 247-264.
- 8- Brentrup, F., and Palliere, C., 2008. GHG emissions and energy efficiency in European nitrogen fertiliser production and use. Proceedings / International Fertiliser Society, 11 December, York, UK.
- 9- Busari, M.A., Kukal, S.S., Kaur, A., Bhatt, R., and Dulazi, A.A., 2015. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. International Soil and Water Conservation Research 3(2): 119-129.
- 10- Campbell, C.A., Mc Conkey, B.G., Zentner, R.P., Selles, F., and Curtin, D., 1996 a. Long-term effects of tillage and crop rotations on soil organic C and total N in a clay soil in southwestern Saskatchewan. Canadian Journal of Soil Science 76: 395-401.
- 11- Campbell, C.A., Mc Conkey, B.G., Zentner, R.P., Selles, F., and Curtin, D., 1996 b. Tillage and crop rotation effects on soil organic C and N in a coarse-textured Typic Haploboroll in southwestern Saskatchewan. Soil and Tillage Research 37: 3-14.
- 12- Chambers, J.C., and Brown, R.E., 1983. Methods for Vegetation Sampling and Analysis on Revegetated Mined Lands. Intermountain Forest and Range Experiment Station. General Technical Report. International.
- 13- Cooper, J.M., Butler, G., and Leifert, C., 2011. Life cycle analysis of greenhouse gas emissions from organic and conventional food production systems, with and without bio-energy options. NJAS Wageningen. Journal of Life Science 58: 185-192.
- 14- Cronbach, L.J., 1951. Coefficient alpha and the internal structure of tests. Psychometrika 16(3): 297-334.
- 15- Crutzen, P.J., 1981. Atmospheric chemical processes of the oxides of nitrogen, including nitrous oxide. In: C.C. Delwiche (Ed.). Denitrification, nitrification, and atmospheric nitrous oxide (p. 17-44). New York, Wiley.
- 16- Daudu, C.K., Muchaonyerwa, P., and Mnkeni, P.N.S., 2009. Litterbag decomposition of genetically modified maize residues and their constituent *Bacillus thuringiensis* protein (Cry_{IAb}) under field conditions in the central region of the Eastern Cape, South Africa. Agriculture, Ecosystems and Environment 134: 153-158.
- 17- Duxbury, J.M., Harper, L.A., and Moiser, A.R., 1993. Contributions of agroecosystems to global climate change. In: L. Harper, J.M. Duxbury A.R. Moiser and D.S. Rolstonj (Eds.). Agroecosystems effects on radioactively important trace gases and global climate change. ASA Publications, No. 55. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, p. 1-18.
- 18- Eckert, H., Breitschuh, G., and Sauerbeck, D., 1999. Kriterien einer umweltverträglichen Landbewirtschaftung (KUL)—ein Verfahren zur ökologischen Bewertung von Landwirtschaftsbetrieben (Criteria of Environmentally friendly land use (KUL)—a method for the environmental evaluation of farms). Agriculture Biotechnology

- Research 52: 57-76. (In German)
- 19- Falloon, P.D., Smith, P., Smith, J.U., Szabó, J., Coleman, K., and Marshall, S., 1998. Regional estimates of carbon sequestration potential: linking the Rothamsted Carbon Model to GIS databases. *Biology and Fertility of Soils* 27(3): 236-241.
 - 20- Follett, R.F., Castellanos, J.Z., and Buenger, E.D., 2005. Carbon dynamics and sequestration in an irrigated Vertisol in Central Mexico. *Soil and Tillage Research* 83: 148-158.
 - 21- Forouzeh, M.R., Heshmati, G.A., Mesbah, H., and Ghanbarian, G.A., 2008. Effect of floodwater irrigation on carbon sequestration potential of *Helianthemum lippii* (L.) Pers., *Dendrostellera lessertii* Van Tiegh. and *Artemisia sieberi* Besser in the Gareh Bygone plain: A case study. *Pajouhesh Sazandegi* 78:11-19. (In Persian with English Summary)
 - 22- Gao, Y.H., Lue, P., Wu, C.H., and Wang, G.X., 2007. Grazing intensity impacts on carbon sequestration in an Alpine Meadow on the Eastern Tibetan Plateau. *Journal Journal of Agricultural and Biological Science* 3(6): 642-647.
 - 23- Hajabbasi, M.A., and Hemmat, A., 2000. Tillage impacts on aggregate stability and crop productivity in a clay-loam soil in central Iran. *Soil and Tillage Research* 59: 205-212.
 - 24- Havlin, J.L., Kissel, D.E., Maddux, L.D., Claasen, M.M., and Long, J.H., 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Science Society of America Journal* 54: 448-452.
 - 25- Heinemann, A.B., Maia, H.N., Dourado-Neto, A.D., Ingram, K.T., and Hoogenboom, G., 2005. Soybean (*Glycine max* L. Merr.) growth and development response to CO₂ enrichment under different temperature regimes. *European Journal of Agronomy* 24: 52-61.
 - 26- Hill, M.J., Braaten, R., and McKeon, G.M., 2003. A scenario calculator for effects of grazing land management on carbon stocks in Australian rangelands. *Environmental Modelling and Software* 18(7): 627-644.
 - 27- Hutchinson, J.J., Campbell, C.A., and Desjardins, R.L., 2007. Some perspectives on carbon sequestration in agriculture. *Agriculture and Forest Meteorology* 142: 288-302.
 - 28- Ingram, J.S.I., and Fernandez, E.C.M., 2001. Managing carbon sequestration in soils: concepts and terminology. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 87: 111-117.
 - 29- IPCC., 2007. Summary for Policy Makers. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report*. Cambridge University Press, Cambridge.
 - 30- ISO (International Organization for Standardization). 2006. ISO 14040: 2006 (E) Environmental Management– Life Cycle Assessment– Principles and Framework.
 - 31- Jafarian, Z., and Tayefeh Seyyed Alikhani, L., 2013. Carbon sequestration potential in dry farmed wheat in Kiasar region. *Agricultural Knowledge and Sustainable Production* 23(1): 31-41. (In Persian with English Summary)
 - 32- Jastrow, J.D., Amonette, J.E., and Bailey, V.L., 2007. Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. *Climate Change* 80: 5-23.
 - 33- Khan, S., Khan, M.A., and Latif, N., 2010. Energy requirements and economic analysis of wheat, rice and barley production in Australia. *The Soil Environment* 29: 61-68.
 - 34- Khan, S., Khan, M.A., Hanjra, M.A., and Mu, J., 2009. Pathways to reduce the environmental footprints of water and energy inputs in food production. *Food Policy* 34: 141-149.
 - 35- Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Khorasani, R., and Ghorbani, R., 2013. Evaluation of carbon sequestration potential in corn fields with different management systems. *Soil and Tillage Research* 133: 25-31.
 - 36- Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., and Jafari, L., 2015. Evaluating the potential of carbon sequestration for canola fields under Khorasan Razavi province. *Electronic Journal of Crop Production* In Press. (In Persian with English Summary)
 - 37- Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., and Amin Ghafari, A., 2014. Evaluation of environmental impacts for wheat agroecosystems of Iran by using life cycle assessment methodology. *Cereal Research* 4(1): 27-44. (In Persian with English Summary)
 - 38- 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.
 - 39- Kirchmann, H., Kätterer, T., Bergström, L., Börjesson, G., and Bolinder, M.A., 2016. Flaws and criteria for design and evaluation of comparative organic and conventional cropping systems. *Field Crops Research* 186(1): 99-106.

- 40- Lal, R., 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. *Soil and Tillage Research* 43: 81-107.
- 41- Lal, R., 2004. Carbon emission from farm operations. *Environment International* 30(7): 981-990.
- 42- Lal, R., and Kimble, J.M., 1997. Conservation tillage for carbon sequestration. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49(1-3): 243-253.
- 43- Lammel, J., 2000. Environmental aspects of fertilizer production and use- consequences for fertilizer types and use. IFA Production and International Trade Conference, 17-19 October, Shanghai, China.
- 44- López-Bellido, R.J., Fontán, J.M., López-Bellido, J., and López-Bellido, L., 2010. Carbon sequestration by tillage, rotation and nitrogen fertilization in a Mediterranean Vertisol. *Agronomy Journal* 102(1): 310-318.
- 45- Ma, Z., 1999. Carbon sequestration by switchgrass. Ph.D. Thesis of Graduated Faculty of Auburn, University, Alabama. 124 p.
- 46- Mahdavi, K., Sanadgol, A., Azarnivand, H., Babaei Kafaki, S., Jafari, M., Maleki, M., and Malekian, A., 2009. Effects of removing aerial biomass and density on carbon sequestration and weight of *Atriplex lentiformis*. *Asian Journal of Plant Science* 8: 183-186.
- 47- Mc Conkey, B.G., Liang, B.C., Campbell, C.A., Curtin, D., Moulin, A., Brandt, S.A., and Lafond, G.P., 2003. Crop rotation and tillage impact on carbon sequestration in Canadian prairie soils. *Plant and Soil* 74(1): 81-90.
- 48- Meisterling, K., Samaras, C., and Schweizer, V., 2009. Decisions to reduce greenhouse gases from agriculture and product transport: LCA case study of organic and conventional wheat. *Journal of Cleaner Production* 17: 222-230.
- 49- Melero, S., López-Bellido, R.J., López-Bellido, L., Muñoz-Romero, V., Moreno, F., and Murillo, J.M., 2011. Long-term effect of tillage, rotation and nitrogen fertiliser on soil quality in a Mediterranean vertisol. *Soil and Tillage Research* 114(2): 97-107.
- 50- Mortenson, M., and Schuman, G., 2002. Carbon sequestration in rangeland interseeded with yellow-flowering alfalfa (*Medicago Sativa* Spp. Falcata) USDA Symposium on Natural Resource Management to Offset Greenhouse Gas Emission in University of Wyoming.
- 51- Mosaddeghi, M.R., Hajabbasi, M.A., Hemmat, A., and Afyuni, M., 2000. Soil compatibility as affected by soil moisture content and farmyard manure in central Iran. *Soil and Tillage Research* 55: 87-97.
- 52- Moudrý jr, J., Jelínková, Z., Plch, R., Moudrý, J., Konvalina, P., and Hyšpler, R., 2013. The emissions of greenhouse gases produced during growing and processing of wheat products in the Czech Republic. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 11(1): 1133-1136.
- 53- Nagy, C., 2000. Energy and Greenhouse Gas Emission Coefficients for Inputs used in Agriculture. Report to the Prairie Adaptation Research Collaborative, Energy, (PARC). Centre for Studies in Agriculture Law and the Environment (CSALE) and Canadian Agricultural Energy End-Use and Data analysis Centre (CAEEDAC), 11 p.
- 54- Najm-Eldini, N., 2013. Effects of mechanical structural operations to improve watershed management in carbon sequestration for climate change mitigation (Case study: Watershed Gavdareh in Kurdistan province). The 2nd National Conference on Climate Change and Agriculture, 23 August, Urmia, Iran. (In Persian)
- 55- Nobakht, A., Pourmajidian, M., Hojjati, S.M., and Fallah A., 2011. A comparison of soil carbon sequestration in hardwood and softwood monocultures (Case study: Dehmian forest management plan, Mazindaran). *Iranian Journal of Forest* 3(1): 13-23. (In Persian with English Summary)
- 56- Polidori, A., Turpin, B.J., Davidson, C.I., Rodenburg, L.A., and Maimone, F., 2008. Organic PM_{2.5}: Fractionation by polarity, FTIR spectroscopy, and OM/OC ratio for the Pittsburgh aerosol. *Aerosol Science and Technology* 42: 233-246.
- 57- Russell, A.E., Laird, D.A., Parkin, T.B., and Mallarino, A.P., 2005. Impact of nitrogen fertilization and cropping system on carbon sequestration in Midwestern Mollisols. *Soil Science Society of America Journal* 69: 413-422.
- 58- Sainju, U.M., Caesar-TonThat, T., and Jatro, J.D., 2009. Carbon and nitrogen fractions in dryland soil aggregates affected by long-term tillage and cropping sequence. *Soil Science Society of America Journal* 73: 1488-1495.
- 59- Schulpe, C.J.E., Naburus, G.J., Verburg, P.H., and Waal, R.W., 2008. Effect of tree species on carbon stock in forest floor and mineral soil and implication for soil carbon inventories. *Forest Ecology and Management* 256: 482-490.
- 60- Shirani, H., Hajabbasi, M.A., Afyuni, M., and Hemmat, A., 2002. Effects of farmyard manure and tillage systems on soil physical properties and corn yield in central Iran. *Soil and Tillage Research* 68: 101-108.
- 61- Singh, G., Bala, N., Chaudhuri, K.K., and Meena, R.L., 2003. Carbon sequestration potential of common access

- resources in arid and semi-arid regions of northwestern India. *Indian Forester* 129(7): 859-864.
- 62- Skowrońska, M., and Filipek, T., 2014. Life cycle assessment of fertilizers: A review. *International. Agrophysics* 28: 101-110.
- 63- Snedecor, G.W., and Cochran, W.G., 1980. *Statistical Methods*. Iowa State University Press.
- 64- Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L., and Fixen, P.E., 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133: 247-266.
- 65- Tamartash, R., Tatian, M.R., and Yousefian, M., 2012. The ability of different vegetative forms to carbon sequestration in plain rangeland of Miankaleh. *Polish Journal of Environmental Studies* 38(62): 45-54.
- 66- Tzilivakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A., and Jaggard, K., 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agricultural Systems* 85: 101-119.
- 67- Walkley, A., and Black, I., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science Society of America Journal* 37: 29-38.
- 68- West, T.O., and Post, W.M., 2002. Soil carbon sequestration by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Science Society of America Journal* 66: 1930-1946.
- 69- Yan, H., Cao, M., Liu, J., and Tao, B., 2007. Potential and sustainability for carbon sequestration with improved soil management in agricultural soils of China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121(4): 325-335.
- 70- Yong, Z.S., 2007. Soil carbon and nitrogen sequestration following the conversion of cropland to alfalfa land in northwest china. *Soil and Tillage Research* 92: 181-189.



Evaluation of Carbon Sequestration for Above-Ground and Below-Ground Tissues and Global Warming Potential of Wheat (*Triticum aestivum* L.)

A. Mollafilabi^{1*} and J. Shabahng²

Submitted: 21-09-2018

Accepted: 20-11-2018

Mollafilabi, A., and Shabahng, J., 2020. Evaluation of carbon sequestration for above-ground and below-ground tissues and global warming potential of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Agroecology. 12(2):265-279.

Introduction

CO₂ is considered the most important greenhouse gas, due to the dependence of world economies on fossil fuels. CO₂ concentration are enhancing in the last decades, mainly due to the increase of anthropogenic emissions. Carbon dioxide capture is a technology aimed at mitigating greenhouse gas emissions from burning fossil fuels during industrial processes. Conservation tillage, crop rotation, and crop residue management are agronomic practices that potentially decrease CO₂ and other greenhouse gas emissions from agriculture. Crop residues also improve organic matter decomposition due to declined soil-residue contact. Soil is one of the significant “friends” in combating climate change and global warming, and a zero-soil consumption approach is the best way to stop adverse effects, although it is not the only one that should be applied. The soil has been considered as a possible carbon sink for sequestering atmospheric CO₂.

Our purposes were to determine a set of coefficients for calculating conversion coefficients, dry weight, organic carbon, and carbon sequestration of above-ground and below-ground tissues and assess global warming potential (GWP) for wheat as an essential crop in Khorasan-e Razavi province.

Materials and Methods

A systematic random sampling method was employed to select five samples from 25 fields situated in Khorasan-Razavi Province, Iran, during 2016 and 2017. The experimental design was a completely randomized design with three replications. Below-ground tissues by using a cylinder were manually sampled and then separated from the soil. After sampling, the above-ground tissues (such as flower and leaf) were isolated from below-ground tissues (including tunic and corm) to measure the above-ground and below-ground biomasses, respectively. Above-ground and below-ground biomasses were separately dried to constant weight and expressed on a dry matter basis. Conversion coefficients of above- ground and below- ground tissues were determined with the combustion method separately. Then, sequestration carbon potential for above- ground and below- ground tissues of saffron and soil were computed. The ash method was used to determine the conversion coefficients in spikes, stems, leaves, and roots. Finally, greenhouse gases (such as CO₂, N₂O, and CH₄) emission were also calculated using emission coefficients. Cronbach's alpha was used for assessing the reliability of the questionnaire.

For statistical analysis, analysis of variance and Duncan's test were performed using SAS version 9.3.

Results and Discussion

The results showed that dry weight, organic carbon content, conversion coefficients, and carbon sequestration for above- ground and below- ground tissues of wheat were significantly different. The biomass of above-ground tissues was higher than below-ground tissues of wheat. The results revealed that the maximum (52.0%) and minimum (31.99%) conversion coefficients of wheat were related to spikes (seeds included) and roots, respectively. Besides, the total carbon sequestration of below-ground and above-ground of wheat was calculated 8.25 t.ha⁻¹ so that the maximum (4.28 t.ha⁻¹) and minimum (0.35 t.ha⁻¹) values were found in stems and roots,

1- Assistant Professor, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran.

2- Ph.D. in Agroecology, Department of Agrotechnology, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

(*- Corresponding Author Email: a.filabi@rifst.ac.ir)

Doi:10.22067/jag.v12i2.75482

respectively. GWP was recorded as 8884.86 kg CO₂-equiv. per one ton of seed.

Conclusion

This study shows that while there is significant potential for sequestering carbon in wheat agroecosystems through root and straw incorporations. It is recommended that returning wheat crop residues to the soil affected the soil's physical, chemical, and biological properties. Furthermore, as nitrogenous fertilizer application plays a crucial role in increasing GWP, thus it is suggested that organic fertilizers and legumes might be suitable alternatives for chemical fertilizers. It is therefore concluded that the application of crop residues in agroecosystems seems to be a rational ecological approach for sustainable management of wheat agroecosystems with a consequence of the reduction in greenhouse gases and mitigation of climate change. This could make a significant contribution to improving agricultural sustainability and stability in arid and semiarid regions.

Keywords: Conversion coefficient, Greenhouse gas emissions, Nitrogen fertilizer, Organic carbon



مقاله علمی - پژوهشی

بررسی اثر آبیاری تناوبی و مقادیر مختلف کود نیتروژن بر حجم آب و رشد و شاخص‌های رشدی گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) (رقم هاشمی) در شرایط آب‌وهوایی گیلان

کاوه سبک‌رو فومنی^۱، سیدعلیرضا ولدآبادی^{۲*}، مسعود کاووسی^۳، حمیدرضا ذاکرین^۴ و محمدرضا یزدانی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱۵

سبک‌رو فومنی، ک.، ولدآبادی، س. ع.، کاووسی، م.، ذاکرین، ح. ر. و یزدانی، م. ر. ۱۳۹۹. بررسی اثر آبیاری تناوبی و مقادیر مختلف کود نیتروژن بر حجم آب و رشد و شاخص‌های رشدی گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) (رقم هاشمی) در شرایط آب‌وهوایی گیلان. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۲(۲): ۲۸۱-۲۹۸.

چکیده

به‌منظور بررسی اثر آبیاری تناوبی و مقادیر مختلف کود نیتروژن بر سرعت رشد و شاخص‌های رشدی گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) رقم هاشمی، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات برنج استان گیلان در دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ به‌صورت آزمایش اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به‌اجرا درآمد. عامل اصلی آزمایش شامل آبیاری تناوبی در پنج سطح (آبیاری روزانه به‌صورت غرقاب (شاهد) دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان ۵، ۸، ۱۰ و ۱۵ روز یک‌بار) و عامل فرعی شامل کود نیتروژن با شش سطح (۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) بودند. نتایج نشان داد که اثر متقابل آبیاری و مقادیر مختلف کود نیتروژن بر صفات وزن خشک برگ، ساقه و کل، شاخص سطح برگ و سرعت جذب خالص در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. همچنین CGR در عامل آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. در بین سطوح آبیاری، آبیاری هر روزه بیشترین سطح برگ و سرعت رشد محصول را دارا بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد که در شرایط تنش کم (آبیاری هر روزه و ۵ روزه) با توجه به اختلاف کم معنی‌دار بین مقدار کود نیتروژن ۷۵ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار، با در نظر گرفتن مشکلات زیست‌محیطی و اجتناب از آلاینده‌گی و کاهش هزینه‌ها در اراضی شالیزاری مقدار ۷۵ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره را می‌توان توصیه نمود. اما در تنش زیاد مقدار کود ۹۰ کیلوگرم در هکتار شرایط بهتری را ایجاد کرد. آبیاری هر روزه و ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن با ۶۶۶۳ مترمکعب در هکتار بیشترین بهره‌وری آب مصرفی و آبیاری ۱۵ روزه و صفر کیلوگرم کود نیتروژن (۴۶۹۱ مترمکعب در هکتار) کمترین را داشتند. بر این اساس، به نظر می‌رسد مصرف کود نیتروژن با قابلیت رهاسازی آهسته و انتخاب روش مناسب آبیاری باعث بهبود عملکرد می‌گردد. با توجه به نتایج می‌توان بیان کرد که مناسب‌ترین روش آبیاری، آبیاری با فاصله ۵ روزه می‌باشد، چون با مقدار آب مصرفی کمتر نسبت به آبیاری هر روزه عملکرد دانه بالاتری به‌دست آمد که می‌توان آن را به‌عنوان راهکارهای مدیریتی برای تولید پایدار این گیاه مدنظر قرار داد که این امر به‌ویژه در شرایط محدودیت آب و با توجه به اهمیت این گیاه می‌تواند نقش بسزایی در بهبود کاهش نیاز آبی، بهره‌وری آب و امنیت غذایی ایفا نماید.

واژه‌های کلیدی: امنیت غذایی، بهره‌وری آب، تولید پایدار، رهاسازی آهسته، محدودیت آب

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از مهم‌ترین غلات می‌باشد که نقش مهمی در تغذیه مردم جهان به‌ویژه ساکنان کشورهای در حال توسعه دارد. بیش از ۸۰ درصد منابع آب شیرین آسیا در کشاورزی و حدود نیمی از آن در تولید برنج مصرف می‌شود. تخمین شده است که

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، ایران.
۳ و ۴- به‌ترتیب دانشیار و استادیار مؤسسه تحقیقات برنج، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.
(*) - نویسنده مسئول: (Email: dr.valadabady@yahoo.com)

تا سال ۲۰۵۰ میلادی تولید برنج بایستی بالغ بر ۵۰ درصد افزایش یابد که این افزایش نیازمند اصلاح ارقام و اعمال مدیریت‌های صحیح زراعی است (Dobbermann et al., 1998; Ntanos & Koutroubas, 2002; Ying et al., 1998). برای دستیابی به عملکرد بالا، حفظ حاصلخیزی خاک که از طریق مصرف متعادل کودهای شیمیایی حاصل می‌شود، ضروری است.

نیترژن مهم‌ترین عنصر غذایی در تولید گیاهان زراعی و اولین عنصر محدودکننده عملکرد در زراعت برنج است (Dahatonde, 1995; Peng, 2000; Uexkull, 1976; Yoshida, 1981). شناخت و بررسی شاخص‌های رشدی، در تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر عملکرد و اجزای آن از اهمیت زیادی برخوردار است (Gardner et al., 2010). بر این اساس، به‌کارگیری راهکارهای زراعی و مدیریتی به‌نوعی که تأثیر مثبتی بر شاخص‌های رشدی داشته باشد، بهبود عملکرد را موجب می‌گردد. کاليسكان و همکاران (Caliskan et al., 2008) گزارش کردند که کاربرد کود نیترژن می‌تواند در بهبود شاخص‌های رشدی و عملکرد گیاهان مفید واقع گردد. استقرار سطح برگ بیشتر در مراحل مختلف رشدی گونه‌های گیاهی از طریق بهبود کارایی فتوسنتز تأثیر بسزایی بر شاخص‌های رشد و عملکرد دارد (Kumudini et al., 2001). عزیزى (Azizi, 1999) اعلام کرد که کاربرد نیترات آمونیوم موجب افزایش ماده خشک اندام‌های هوایی شد و در نهایت، شاخص‌های رشدی به‌ویژه CGR و RGR را بهبود بخشید. یوشیدا (Yoshida, 1981) معتقد است که مصرف کود نیترژن از طریق بهبود سطح برگ و دوام آن موجب بهبود عملکرد می‌شود. سایر محققان نیز به همبستگی بالای شاخص سطح برگ با مصرف نیترژن تأکید کردند (Dahatonde, 1995; DeDatta & Gumez, 1980; Iqbal, 1991; Lin & Lin, 1985; Prasad & Wilson et al., 1997; Prasad, 1997). ساهو و گورو (Sahoo & Guru, 1998) نتیجه گرفتند که عملکرد دانه برنج با شاخص سطح برگ (LAI)^۱، دوام سطح برگ (LAD)^۲، سرعت رشد نسبی (RGR)^۳، سرعت رشد محصول (CGR)^۴ و سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR)^۵ همبستگی مثبتی دارد. بر این اساس، انتخاب ارقامی

که شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت آسیمیلاسیون خالص بالاتری دارند، عملکرد بالاتری را تولید خواهد نمود (Ntanos & Koutroubas, 2002). از طرف دیگر، کاهش شاخص سطح برگ در انتهای فصل رشد به‌علت پژمردگی برگ‌های پایینی و ریزش برگ‌ها می‌باشد که البته کاهش فراهمی نیترژن این موضوع را تشدید می‌نماید. از طرف دیگر، نتایج مطالعات (Ntanos & Koutroubas, 2002; Peng, 2000; Sahoo & Guru, 1998) مؤید آن است که فراهمی نیترژن با توسعه سطح برگ و افزایش دوام فتوسنتزی بهبود نسبت سطح برگ و تولید ماده خشک را به‌دنبال دارد. البته باید به این مهم توجه کرد که شاخص سطح برگ بالاتر لزوماً موجب افزایش عملکرد نمی‌گردد، زیرا با افزایش توسعه سطح برگ و تعداد پنجه، فتوسنتز خالص پوشش گیاهی، تولید ماده خشک کل و در نهایت، عملکرد دانه کاهش می‌یابد (Ntanos & Koutroubas, 2002; Ohnishi et al., 1999; Yoshida, 1981). که دلیل این امر به همبستگی بیشتر سایر شاخص‌ها همچون میزان آسیمیلاسیون خالص، سرعت رشد محصول و شاخص برداشت با عملکرد دانه مربوط می‌باشد (Yoshida, 1981). برنج از نظر میزان مصرف آب، در بین تمام محصولات کشاورزی بیشترین نیاز را به خود اختصاص داده است. تقریباً ۷۵ درصد برنج جهان از شالیزارهای فاریاب تولید می‌شود (Carmelita et al., 2011) که حدود ۵۰ درصد کل شالیزارهای دنیا را تشکیل می‌دهد (Katoh et al., 2003). برای تولید یک کیلوگرم برنج، کشاورزان مجبورند در مزارع برنج دو تا سه برابر بیشتر از سایر غلات از آب استفاده کنند (Bouman & Tuong, 2001). برنج تا رسیدن کامل به‌حدود ۸ تا ۱۱ هزار مترمکعب آب در هکتار احتیاج دارد و برای تولید یک کیلوگرم ماده خشک به ۷۰۰ لیتر آب نیاز است (Rezaei & Nahvi, 2007). یکی از راهکارهای موجود برای کاهش مصرف آب در کشت برنج، تغییر روش مرسوم آبیاری غرقاب دائم به‌روش آبیاری تناوبی با فاصله مناسب برای هر رقم می‌باشد (Abdi, 2003; Asadi et al., 2003). کشاورزان برنج‌کار تمایل دارند که مزارع را به‌طور مداوم در غرقاب نگه دارند تا از ذخیره آبی بیش از حد، برای تولید بیشتر محصول مطمئن باشند و به این ترتیب با علف‌های هرز نیز مبارزه کنند. البته بایستی توجه گردد، ایجاد غرقاب دائم در برنج نه تنها یک ضرورت نیست، بلکه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که حصول کارایی مصرف آب بیشتر حائز اهمیت فراوان است، با کاهش

- 1- Leaf area index
- 2- Leaf area duration
- 3- Relative growth rate
- 4- Crop growth rate
- 5- Net assimilation rate

این مطالعه به‌صورت اسپیلت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در محل ستاد مؤسسه تحقیقات برنج کشور در رشت در دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ انجام شد. دو عامل آبیاری (به‌عنوان عامل کرت اصلی) در پنج سطح (آبیاری غرقاب دائم و آبیاری تناوبی در فاصله ۵، ۸، ۱۰ و ۱۵ روزه) و کود نیتروژن با شش سطح (۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) به‌عنوان تیمار مدنظر قرار گرفتند. نمونه‌برداری از خاک جهت تعیین بافت و میزان ظرفیت نگهداری آب خاک در حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی و برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک انجام شد که نتایج در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک
Table 1- Chemical and physical criteria of soil

ویژگی	واحد	مقدار
Characteristic	Unit	Value
رس	Percent	46
Clay		
سیلت	Percent	42
Silt		
شن	Percent	12
Sand		
اشباع	Percent	82.1
Saturation		
هدایت الکتریکی	dS.m ⁻¹	1.48
EC		
واکنش	-	7.46
pH		
کربن آلی	Percent	2.05
Organic carbon		
نیتروژن کل	Percent	0.16
Total N		
فسفر	mg.kg ⁻¹	6.7
P		
پتاسیم	mg.kg ⁻¹	142
K		

شخم شالیزار در دو نوبت انجام گرفت، بر این اساس، شخم اول در اواخر پاییز و اوایل زمستان و شخم دوم عمود بر شخم اول در فصل بهار انجام گرفت. بعد از عملیات شخم، تسطیح و ماله‌کشی جهت آماده‌سازی زمین انجام شد. بعد از آماده‌سازی زمین مقادیر کود نیتروژن از منبع اوره و پنتا اکسید فسفر به مقدار ۴۵ کیلوگرم و اکسید پتاسیم به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب از منابع سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم اضافه شد. بر این اساس، کودپاشی بر اساس مقادیر تعیین شده (صفر، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در

زمان یا مقدار آبیاری می‌توان در مصرف آب صرفه‌جویی نمود (Asadi et al., 2003). ماکارا و همکاران (Makara et al., 2006) عنوان نمودند که تنش خشکی در طی مرحله زایشی برنج موجب کاهش عملکرد دانه به میزان ۱۲ تا ۴۶ درصد گردید. پانتیوان و همکاران (Pantuwan et al., 2004) گزارش کردند که تنوع شدیدی در عملکرد دانه و سایر صفات در هر دو شرایط با تنش و بدون تنش آبی مشاهده شده است. رضایی و نحوی (Rezaei & Nahvi, 2007) در تحقیقاتی هشت روز را بهترین دوره تناوب برای رقم هاشمی در آبیاری با عمق پنج سانتی‌متر گزارش نمودند. کادیالا و همکاران (Kadiyala et al., 2015) آبیاری تناوبی را راهکاری زراعی برای بهینه‌سازی مصرف آب و دستیابی به عملکرد مطلوب به‌ویژه در شرایط کاهش منابع آبی قابل دسترس توصیه کردند. رضایی و نحوی (Rezaei & Nahvi, 2005) نتیجه گرفتند اگر چه آبیاری غرقاب دائم بیشترین عملکرد دانه برنج را تولید کرد، اما بهره‌وری مصرف آب و راندمان مصرف آب در آبیاری تناوبی بالاتر بود. بررسی‌ها همچنین نشان داده است که کیفیت دانه برنج تولیدی در شرایط آبیاری تناوبی بهتر از آبیاری غرقابی می‌باشد (Shahin Rokhsar et al., 2011). همچنین آب و نیتروژن فاکتورهای مهمی هستند که کاهش فراهمی آب، جذب نیتروژن را کاهش می‌دهد (Youshida, 1975). عزیز و همکاران (Aziz et al., 2018) مدیریت مصرف نیتروژن و روش آبیاری را راهکارهایی زراعی برای بهینه‌سازی مصرف این نهاده‌ها در راستای تولید پایدار برنج معرفی نمودند. علاوه‌براین، یوسفی فلکدهی (Yousefi Falakdehi, 2006) نتیجه گرفت که آبیاری تناوبی به دلیل کاهش تبخیر و تعرق و جذب آب باعث افت تجمع نمک در بافت‌های گیاهی شد.

بر این اساس، با توجه به بالا بودن مصرف آب در برنج و در نظر گرفتن خشکسالی‌ها اخیر، اهمیت بهبود کارایی مصرف آب و بهره‌وری آن در تولید این گیاه و همچنین وجود روابط متقابل بین آب و نیتروژن (Aziz et al., 2018; Youshida, 1975) از یک طرف و اهمیت بررسی شاخص‌های رشدی در تجزیه و تحلیل عملکرد (Gardner et al., 2010) از طرف دیگر، هدف از اجرای این مطالعه بررسی اثر سطوح نیتروژن و فاصله آبیاری بر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد برنج بود.

مواد و روش‌ها

پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که وزن خشک برگ و ساقه، شاخص سطح برگ، LDW، TDW، NAR در اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن در سطح احتمال ۱ درصد و همچنین CGR در عامل آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شدند. صفات RGR، LAR، LWR و SLA معنی‌دار نشدند (جدول ۲). تغییرات شاخص سطح برگ در ابتدای فصل، رشد کند و تدریجی بوده و با تولید برگ‌های بیشتر توسط گیاه و تقریباً در تمامی تیمارها کمی قبل از شروع گل‌دهی (حدود ۳۵ روز پس از کاشت)، با سرعت زیادی افزایش و پس از گل‌دهی کامل و کاسته شدن از روند افزایشی مرحله قبل، کلیه تیمارها هنگام شروع رسیدگی فیزیولوژیک به حداکثر مقدار شاخص برگ رسیده و پس از آن کاهش می‌یابد. بالاترین شاخص سطح برگ در آبیاری هر روزه با ۲/۰۳۹ و کمترین شاخص سطح برگ در آبیاری ۱۵ روزه با ۱/۲۲۵ مشاهده شد (جدول ۳). اثر متقابل دو فاکتور آبیاری هر روزه و مصرف ۹۰ کیلوگرم نیتروژن بیشترین شاخص سطح برگ (با ۲/۷۳۰) و آبیاری ۱۵ روزه و صفر کیلوگرم نیتروژن (با ۰/۶۸۱) کمترین سطح برگ را دارا بودند (جدول ۳). یوشیدا (Yoshida, 1981) عقیده دارد که شاخص سطح برگ برنج مطلوب می‌باشد، به‌طوری‌که با افزایش تنفس پوشش گیاهی و یا افزایش سرعت آسیمیلاسیون خالص به‌صورت خطی و با افزایش شاخص سطح برگ به‌صورت منحنی مجانب افزایش می‌یابد (Peng, 2000; Yoshida, 1981). شاخص سطح برگ سبب افزایش میانگین سرعت رشد محصول در دوره رشد گیاه شده که این امر در نهایت، منجر به افزایش تولید ماده خشک می‌گردد (Karimi & Siddique, 1991). یافته‌های قبادی و همکاران (Ghobady et al., 2011) بر همبستگی بالای شاخص سطح برگ و عملکرد گیاه زراعی اشاره دارد. از جمله دلایلی که آبیاری سطح برگ را تحت تأثیر قرار داد، این است که آبیاری جذب عناصر غذایی توسط گیاه را افزایش داده و باعث افزایش فعالیت فتوسنتزی و افزایش مواد فتوسنتزی می‌گردد، افزایش مواد فتوسنتزی هم می‌تواند سطح برگ را تحت تأثیر قرار دهد. آبیاری همچنین از طریق افزایش انعطاف‌پذیری دیواره سلولی، افزایش پتانسیل اسمزی و فشار تورژانس سطح برگ سبب افزایش سطح برگ می‌شود. آبیاری می‌تواند سطح برگ را از طریق تغییر در توسعه برگ و تغییر در پیری برگ تحت تأثیر قرار دهد (Gilani & Absalan, 2004). کاهش شاخص سطح برگ در شرایط کم‌آبیاری را می‌توان به کاهش انعطاف‌پذیری دیواره سلولی و کاهش

هکتار) زمین انجام شد. خزانه‌گیری به‌روش مرسوم منطقه انجام شد. نشاهای سالم و یکنواخت رقم هاشمی به فواصل ۲۰×۲۰ سانتی‌متر به‌صورت دستی در ۲۰ اردیبهشت‌ماه کاشته شد. در این زمان نشاءها به اندازه طبیعی خود یعنی ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر رسیده و دارای چهار تا پنج برگ بودند. لازم به ذکر است طی ۱۵ روز اول بعد از نشاکاری آبیاری تناوبی اعمال نشد تا از استقرار کامل بوته‌ها اطمینان حاصل شود. در زمان بارندگی سطح آب در مقدار قبل از شروع بارندگی تثبیت و از ازدیاد عمق آب در اثر باران جلوگیری شد. عملیات داشت طبق توصیه مؤسسه تحقیقات برنج کشور برای تمام کرت‌ها به‌صورت یکنواخت و در کل دوره رویش گیاه اعمال شد.

در پایان فصل رشد و مرحله خوشه‌دهی، وزن خشک ساقه و برگ اندازه‌گیری و سپس شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد شامل شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت رشد محصول (CGR)، سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR)، نسبت سطح برگ (LAR)^۱، سرعت رشد نسبی (RGR) و سطح ویژه برگ (SLA)^۲ محاسبه گردید.

شاخص سطح برگ (LAI) با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید.

$$\text{معادله (۱)} \quad \text{LAI} = \text{LA} / \text{GA}$$

که در آن، LA: سطح برگ به مترمربع و GA: سطح زمین اشغال شده توسط برگ می‌باشد.

سرعت رشد گیاه (CGR) با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد.

$$\text{معادله (۲)} \quad \text{CGR} = W_2 - W_1 / T_2 - T_1$$

که در آن، $W_2 - W_1$ تغییرات وزن خشک و $T_2 - T_1$ فاصله زمانی نمونه‌برداری می‌باشد.

سرعت جذب خالص (NAR) با استفاده از معادله ۳ محاسبه شد.

$$\text{معادله (۳)} \quad \text{NAR} = \text{CGR} / \text{LAI}$$

سرعت رشد نسبی (RGR) طبق معادله ۴ محاسبه شد.

$$\text{معادله (۴)} \quad \text{RGR} = \text{CGR} / \text{TDW}$$

که در آن، TDW: وزن خشک کل گیاه است.

سطح ویژه برگ (SLA) طبق معادله ۵ محاسبه شد.

$$\text{معادله (۵)} \quad \text{SLA} = \text{LA} / \text{LDW}$$

که در آن، LA: سطح برگ و LDW: وزن خشک برگ می‌باشد.

نسبت سطح برگ (LAR) با استفاده از معادله ۶ محاسبه شد.

$$\text{معادله (۶)} \quad \text{LAR} = \text{LA} / \text{TDW}$$

به‌منظور انجام تجزیه واریانس از نرم‌افزارهای SAS 9.4 و SPSS Statistics 25.0، برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel و برای مقایسه میانگین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال

1- Leaf area ratio

2- Specific leaf area

گیاهان زراعی معرفی کردند که بر اساس آن مصرف کود نیتروژن با خاصیت رهاسازی آهسته و به‌فرم اوره پوشش‌دار به‌روش جای‌گذاری عمیق با تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه طی مرحله پر شدن دانه و تحریک رشد اندام‌های هوایی در نهایت، موجب ایجاد شاخص سطح برگ بالاتر در طول دوره رشد زایشی می‌شود. بررسی‌ها مؤید آن است که مصرف کودهای نیتروژن با قابلیت رهاسازی آهسته، رشد اندام‌های هوایی را تحریک نموده و موجب تولید شاخص سطح برگ بیشتر در مراحل زایشی به‌ویژه طی مرحله پر شدن دانه شده و در نتیجه، بهبود عملکرد دانه را به‌دنبال دارد (Kaushal et al., 2006). روند تغییرات ماده خشک در گیاهان به‌صورت سیگموئیدی می‌باشد. به‌طوری‌که در اوایل دوره رشد، مقدار و سرعت تجمع ماده خشک کم بوده و با گذشت زمان و همراه با افزایش سطح برگ میزان فتوسنتز جامعه گیاهی افزایش می‌یابد و شیب منحنی تجمع ماده خشک شدت بیشتری می‌گیرد و بعد از آن به‌دلایلی همچون پیری و زردی برگ‌ها، سایه‌اندازی برگ‌های بالایی بر برگ‌های پایینی و ریزش برگ‌های پایینی، انتقال مجدد^۲ کربوهیدرات‌های ذخیره شده به دانه، افزایش بافت‌های ساختمانی غیرفتوسنتزی گیاه و افزایش تنفس کلی گیاه شیب تجمع ماده خشک کم شده و سپس تقریباً ثابت می‌شود. آبیاری هر روزه با ۱۵/۱۸ گرم بر مترمربع دارای بیشترین وزن خشک برگ و آبیاری ۱۵ روزه با ۱۳/۴۵ گرم بر مترمربع کمترین مقدار را دارا بود (جدول ۳).

پتانسیل اسمزی و فشار تورژانس در شرایط کم‌آبی نسبت داد (Lu & Neumann, 1998). در سطوح مختلف کود نیتروژن، ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۲/۲۹۱ بیشترین شاخص سطح برگ و صفر کیلوگرم نیتروژن با ۱/۰۱۶ کمترین سطح برگ را دارا بود (جدول ۲). با افزایش کود نیتروژن مقدار سطح برگ افزایش یافت که این موضوع به‌دلیل تأثیر مثبت نیتروژن بر توسعه سطح برگ و تولید پنجه، افزایش جذب تابش خورشیدی و افزایش دوام فعالیت فتوسنتزی برگ‌ها می‌باشد. مطالعات یزدان‌دوست همدانی (Yazdandoost Hamedani, 2003) نشان داد که مصرف کودهای نیتروژنه در اوایل فصل رشد سبب گسترش سطح برگ و افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه و تولید مواد پرورده بیشتر می‌گردد. یافته‌های سجادی‌نیک و همکاران (Sajadi Nik & Yadavi, 2013) و جهان و همکاران (Jahan et al., 2013) نیز نشان داد که کاربرد کودهای مختلف با تأمین نیتروژن و تحریک رشد گیاه موجب بهبود رشد و افزایش شاخص برگ می‌شود. همچنین ال-باراک (Al-Barrak, 2006) گزارش کرد که نیتروژن سبب افزایش تعداد برگ و شاخص سطح برگ در کلزا (*Brassica napus* L.) می‌شود. این محقق بیان داشت که جذب نیتروژن توسط گیاه سبب افزایش رشد، تولید شاخه فرعی بیشتر و در نتیجه، افزایش شاخص سطح برگ می‌شود. همچنین بر اساس نتایج مطالعات آثرندیم و همکاران (Ather Nadeem et al., 2009) کود نیتروژن اثر مثبت و معنی‌داری بر تعداد برگ در گیاه ذرت داشت، به‌طوری‌که با افزایش مصرف کود نیتروژن تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین تعداد برگ حاصل شد. نتایج مطالعات مختلف مؤید آن است که با افزایش مقدار کود نیتروژن، شاخص سطح برگ افزایش می‌یابد (Ghosh & Singh, 1998; Hasegawa & Horie, 1996; Lin & Li, 1985; Ohnishi et al., 1999). البته به نظر می‌رسد در سطوح بالای نیتروژن از طریق برهم زدن نسبت رشد رویشی به زایشی و افزایش رشد رویشی، کاهش عملکرد را موجب می‌گردد. در حالی‌که در شرایط ناکافی بودن نیتروژن به‌دلیل کاهش سطح اندام‌های فتوسنتزکننده کاهش عملکرد را موجب می‌گردد. بر این اساس، با توجه به این که عامل مهم مؤثر بر رشد و تولیدات گیاهی میزان جذب نور توسط برگ‌ها و تبدیل آن‌ها به مواد فتوسنتزی است، افزایش میزان برگ در مزرعه باعث افزایش میزان جذب نور خواهد شد که در نهایت، به‌شرط محدودکننده نبودن عوامل محیطی زنده و غیرزنده، می‌تواند منجر به افزایش تولید ماده خشک و عملکرد شود. بر این اساس، به‌کارگیری تیمارهای مدیریتی که به‌نوعی در افزایش شاخص سطح برگ تأثیر داشته باشند، می‌تواند موجب بهبود عملکرد شود. برخی محققان (Takahashi et al., 1991; Takahashi et al., 1992) تکنیک جدیدی را برای کوددهی

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر آبیاری تناوبی و سطوح نیتروژن بر شاخص های فیزیولوژیکی رشدی برنج طی دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for the effects of alternating irrigation and nitrogen rate on physiological growth indices of rice during two growing seasons of 2014-2015 and 2015-2016

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	نسبت وزن خشک برگ LWR	حداکثر سرعته رشد نسبی CGR _{max}	نسبت سطح برگ LAR	سطح ویژه برگ SLA	حداکثر وزن خشک کل TDW _{max}	سرعته آسیمپلاسیون خالص NAR	حداکثر شاخص سطح برگ LAI _{max}	حداکثر وزن خشک برگ Leaf dry weight _{max}	حداکثر وزن خشک ساقه Stem dry weight _{max}	سرعته رشد نسبی RGR	عملکرد دانه Seed yield
سال Year (Y)	1	0.000 ^{ns}	1.918 ^{ns}	1.682 ^{ns}	0.000 ^{ns}	9.981 ^{ns}	1841.153 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	5.202 ^{ns}	0.000 ^{ns}	873480 ^{ns}
خطای اصلی Main error	4	0.000	0.081	0.105	0.017	6.374	93.108	0.000	0.000	1.236	0.000	11063
آبیاری تناوبی Alternating irrigation (I)	4	0.000 ^{ns}	17.183 ^{**}	17.192 ^{**}	4.331 ^{**}	138.216 ^{**}	17599.841 ^{**}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	3.224 ^{**}	0.000 ^{ns}	19985623 ^{**}
I × Y	4	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.041 ^{ns}	3.537 ^{ns}	0.090 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	40653 ^{ns}
خطای فرعی Sub error	16	0.000	0.031	0.031	0.034	1.345	31.638	0.000	0.000	0.000	0.000	36603
سطح نیتروژن Nitrogen rate (N)	3	0.000 ^{ns}	11.725 ^{**}	0.021 ^{**}	8.784 ^{**}	248.799 ^{**}	12040.816 ^{**}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	8.160 ^{ns}	0.000 ^{ns}	17040964 ^{**}
N × Y	3	0.000 ^{ns}	0.001 ^{ns}	11.793 ^{ns}	0.007 ^{ns}	2.134 ^{ns}	0.267 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	144261 ^{**}
I × M	12	0.000 ^{ns}	0.048 ^{**}	0.052 ^{**}	0.117 ^{**}	7.606 ^{**}	21.227 ^{**}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	281575 ^{**}
I × N × Y	12	0.000 ^{ns}	0.021 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.019 ^{ns}	1.502 ^{ns}	0.244 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	17077 ^{ns}
خطای فرعی Sub error	60	0.000	0.001	0.000	0.201	1.854	51.392	0.000	0.000	0.009	0.000	28747
ضریب تغییرات CV (%)		0.39	0.98	1.12	8.17	15.15	0.98	7.18	8.33	0.38	0.61	6.80

ns و *، ** به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی دار می باشد.
**، * and ns: are significant at 1 and 5% probability levels and non-significant, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری تناوبی و سطوح نیتروژن بر شاخص‌های رشدی گیاه برنج طی دو سال زراعی

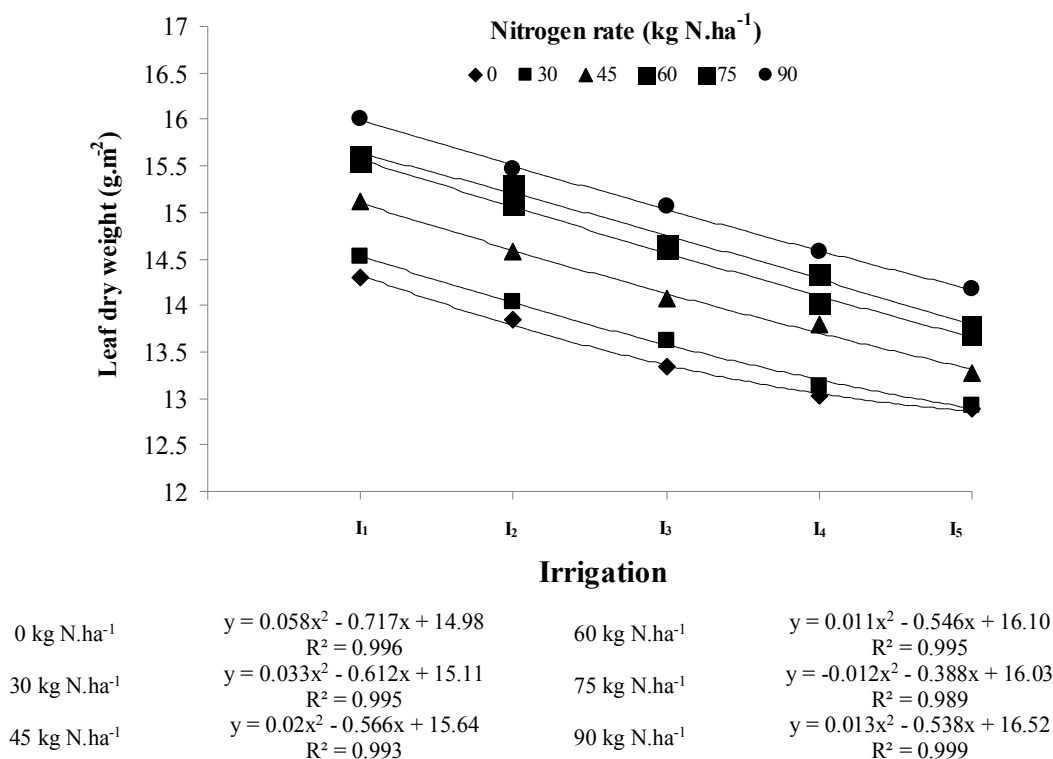
Table 3- Mean comparisons for the interaction effects of alternating irrigation nitrogen rates on growth indices of rice during two growing seasons												
Treatment	شاخص سطح برگ LAI	محصول CGR (g.m ⁻² .day ⁻¹)	سرعت خشک LDW (g.m ⁻²)	وزن خشک کل TDW (g.m ⁻²)	رشد نسبی RGR (g.m ⁻²)	رشد نسبی NAR (g.m ⁻² .day ⁻¹)	سرعت سطح LAR (m ² .g ⁻¹)	نسبت سطح SLA (m ² .g ⁻¹)	وزن برگ LWR (g.g ⁻¹)	نسبت نسبت برگ Leaf weight (g.m ⁻²)	وزن خشک ساقه Stem dry weight (g.m ⁻²)	وزن خشک ساقه Stem dry weight (g.m ⁻²)
I ₁ × N ₁	1.357 ^{klm}	12.88 ^f	228.7 ^{gh}	468.6 ^{gh}	0.02749 ^a	9.546 ^{ghijk}	0.002895 ^a	0.005931 ^a	0.4882 ^a	14.30 ^{ghi}	14.99 ^{ghi}	14.99 ^{ghi}
I ₁ × N ₂	1.530 ^{ijk}	13.17 ^o	232.3 ^{gh}	475.8 ^{ef}	0.02768 ^a	8.81 ^{lhiijkl}	0.003214 ^a	0.006583 ^a	0.4882 ^a	14.52 ^{fg}	15.22 ^{ef}	15.22 ^{ef}
I ₁ × N ₃	1.760 ^{gh}	13.47 ⁱ	241.9 ^{de}	495.0 ^d	0.02723 ^a	7.824 ^{ijklmn}	0.003563 ^a	0.007291 ^a	0.4887 ^a	15.12 ^{de}	15.82 ^d	15.82 ^d
I ₁ × N ₄	2.263 ^{cd}	13.80 ^d	248.7 ^b	508.6 ^b	0.02713 ^a	6.133 ^{lmnopq}	0.004448 ^a	0.009094 ^a	0.4891 ^a	15.55 ^b	16.24 ^b	16.24 ^b
I ₁ × N ₅	2.597 ^{ab}	13.93 ^c	249.7 ^b	510.4 ^b	0.02729 ^a	5.369 ^{pq}	0.005088 ^a	0.01040 ^a	0.4891 ^a	15.60 ^b	16.30 ^b	16.30 ^b
I ₁ × N ₆	2.730 ^a	14.17 ^a	256.1 ^a	523.0 ^a	0.02710 ^a	5.202 ^{pq}	0.005221 ^a	0.01066 ^a	0.4897 ^a	16.01 ^a	16.68 ^a	16.68 ^a
I ₂ × N ₁	1.152 ^{mno}	12.66 ^v	221.4 ^{kl}	454.0 ^{jk}	0.02789 ^a	11.11 ^{defg}	0.002538 ^a	0.005203 ^a	0.4878 ^a	13.84 ^{kl}	14.53 ^{jk}	14.53 ^{jk}
I ₂ × N ₂	1.313 ^{klm}	12.94 ^q	224.7 ^{jk}	460.5 ^{ij}	0.02810 ^a	10.00 ^{efgh}	0.002851 ^a	0.005844 ^a	0.4879 ^a	14.04 ^{jk}	14.74 ^{ij}	14.74 ^{ij}
I ₂ × N ₃	1.598 ^{hij}	13.19 ⁿ	233.1 ^f	477.3 ^e	0.02763 ^a	8.273 ^{hijklm}	0.003349 ^a	0.006859 ^a	0.4883 ^a	14.57 ^f	15.27 ^e	15.27 ^e
I ₂ × N ₄	2.450 ^{bc}	13.63 ^g	241.2 ^{de}	493.5 ^d	0.02762 ^a	5.595 ^{opq}	0.004972 ^a	0.01017 ^a	0.4888 ^a	15.08 ^{de}	15.76 ^d	15.76 ^d
I ₂ × N ₅	2.630 ^{ab}	13.76 ^f	244.7 ^{cd}	506.4 ^{cd}	0.02750 ^a	5.240 ^{pq}	0.005259 ^a	0.01075 ^a	0.4891 ^a	15.30 ^{cd}	15.98 ^{cd}	15.98 ^{cd}
I ₂ × N ₆	2.792 ^a	13.95 ^b	247.5 ^b	506.2 ^{bc}	0.02756 ^a	5.016 ^q	0.005514 ^a	0.01128 ^a	0.4881 ^a	15.47 ^{bc}	16.17 ^{bc}	16.17 ^{bc}
I ₃ × N ₁	1.055 ^{mop}	12.42 ^x	213.5 ^m	438.0 ⁱ	0.02835 ^a	11.92 ^{def}	0.002408 ^a	0.004941 ^a	0.4874 ^a	13.34 ^m	14.03 ⁱ	14.03 ⁱ
I ₃ × N ₂	1.228 ^{lmn}	12.70 ^t	217.9 ⁱ	447.0 ^k	0.02842 ^a	10.44 ^{efgh}	0.002750 ^a	0.005641 ^a	0.4875 ^a	13.62 ^l	14.32 ^k	14.32 ^k
I ₃ × N ₃	1.365 ^{klm}	13.02 ^p	225.3 ^{ij}	461.9 ^{hi}	0.02819 ^a	9.618 ^{ghij}	0.002957 ^a	0.006060 ^a	0.4879 ^a	14.08 ^{ij}	14.78 ^{ghi}	14.78 ^{ghi}
I ₃ × N ₄	2.015 ^{ef}	13.47 ^j	233.8 ^f	478.7 ^e	0.02813 ^a	6.728 ^{lmnopq}	0.004209 ^a	0.008621 ^a	0.4883 ^a	14.61 ^f	15.31 ^e	15.31 ^e
I ₃ × N ₅	2.207 ^{de}	13.55 ^h	234.4 ^f	480.1 ^e	0.02822 ^a	6.146 ^{lmnopq}	0.004596 ^a	0.009414 ^a	0.4883 ^a	14.65 ^f	15.35 ^e	15.35 ^e
I ₃ × N ₆	2.318 ^{cd}	13.78 ^e	240.9 ^e	493.0 ^d	0.02795 ^a	5.948 ^{lmnopq}	0.004702 ^a	0.009623 ^a	0.4887 ^a	15.06 ^e	15.76 ^d	15.76 ^d
I ₄ × N ₁	0.8350 ^{pqr}	12.22 ^z	208.3 ^{no}	427.7 ^{mn}	0.02857 ^a	14.87 ^{bc}	0.001953 ^a	0.004012 ^a	0.4869 ^a	13.02 ^{no}	13.72 ^{mn}	13.72 ^{mn}
I ₄ × N ₂	1.025 ^{mop}	12.50 ^w	210.1 ^{nm}	431.1 ^{lm}	0.02900 ^a	12.34 ^{de}	0.002379 ^a	0.004881 ^a	0.4873 ^a	13.13 ^{nm}	13.81 ^{lm}	13.81 ^{lm}
I ₄ × N ₃	1.512 ^{ijk}	12.85 ^s	220.6 ^l	452.1 ^k	0.02842 ^a	8.530 ^{hijkl}	0.003343 ^a	0.006852 ^a	0.4879 ^a	13.79 ^l	14.47 ^k	14.47 ^k
I ₄ × N ₄	1.705 ^{ghi}	13.30 ⁱ	224.4 ^{jk}	460.6 ^{ij}	0.02888 ^a	7.823 ^{ijklmn}	0.003701 ^a	0.007597 ^a	0.4872 ^a	14.02 ^{jk}	14.76 ^{hij}	14.76 ^{hij}
I ₄ × N ₅	1.813 ^{fgh}	13.38 ^k	229.3 ^{gh}	469.3 ^{fg}	0.02851 ^a	7.396 ^{klmnop}	0.003862 ^a	0.007760 ^a	0.4885 ^a	14.33 ^{gh}	15.00 ^{fg}	15.00 ^{fg}
I ₄ × N ₆	1.857 ^{fg}	13.62 ^g	233.2 ^f	477.2 ^e	0.02854 ^a	7.726 ^{klmno}	0.003896 ^a	0.007970 ^a	0.4888 ^a	14.58 ^f	15.25 ^e	15.25 ^e
I ₅ × N ₁	0.6817 ^r	12.10 ^z	206.0 ^o	423.1 ⁿ	0.02860 ^a	18.72 ^a	0.001613 ^a	0.003312 ^a	0.4869 ^a	12.88 ^o	13.57 ⁿ	13.57 ⁿ
I ₅ × N ₂	0.7950 ^{qr}	12.29 ^y	206.7 ^{no}	424.5 ^{nm}	0.02895 ^a	15.55 ^b	0.001874 ^a	0.003847 ^a	0.4870 ^a	12.92 ^{no}	13.61 ^{nm}	13.61 ^{nm}
I ₅ × N ₃	0.9950 ^{opq}	12.68 ^u	212.5 ^m	436.1 ^l	0.02908 ^a	12.76 ^{cd}	0.002282 ^a	0.004684 ^a	0.4873 ^a	13.28 ^m	13.97 ^l	13.97 ^l
I ₅ × N ₄	1.432 ^{kl}	13.18 ⁿ	219.0 ^j	449.2 ^k	0.02934 ^a	9.340 ^{ghijk}	0.003188 ^a	0.006538 ^a	0.4876 ^a	13.69 ^j	14.38 ^k	14.38 ^k
I ₅ × N ₅	1.688 ^{ghi}	13.22 ^m	220.5 ⁱ	452.1 ^k	0.02924 ^a	7.873 ^{ijklmn}	0.003734 ^a	0.007656 ^a	0.4877 ^a	13.78 ⁱ	14.48 ^k	14.48 ^k
I ₅ × N ₆	1.760 ^{gh}	13.41 ^j	226.8 ^{hij}	464.6 ^{ghi}	0.02886 ^a	7.654 ^{ijklmno}	0.003788 ^a	0.007906 ^a	0.4890 ^a	14.17 ^{hij}	14.86 ^{ghi}	14.86 ^{ghi}

I₁, I₂, I₃, I₄ and I₅: are present irrigation at every day, every 5 days, 8 days, 10 days and 15 days and D₁, D₂, D₃, D₄, D₅ and D₆: 0, 35, 45, 60, 75 and 90 kg N per ha, respectively.

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

۹۰ کیلوگرم نیتروژن بیشترین وزن خشک برگ (با ۱۶/۰۱ گرم بر مترمربع) و آبیاری ۱۵ روزه و صفر کیلوگرم نیتروژن (با ۱۲/۸۸ گرم بر مترمربع) کمترین وزن خشک برگ را دارا بودند (جدول ۳). تجمع ماده خشک، انعکاسی از فتوسنتز خالص گیاه است. ماده فتوسنتزی تولیدی می‌تواند به مصرف رشد گیاه رسیده و یا در اندام‌های ذخیره‌ای تجمع یابد و تعیین‌کننده عملکرد گیاهان زراعی باشد. افزایش سطح برگ می‌تواند موجب افزایش توان فتوسنتزی گیاه و در نتیجه، افزایش تولید ماده خشک شود که این امر به نوبه خود می‌تواند منجر به افزایش عملکرد گیاه شود (Keshavarz Afshar et al., 2011). نتایج برخی مطالعات مؤید افزایش رشد و بهبود میزان تجمع ماده خشک ناشی از کاربرد نیتروژن می‌باشد (Afza et al., 1987; Ithawi et al., 1980; Ham et al., 1975; Rickerl, 1986; Touchton & Wood et al., 1993).

آبیاری باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی در گیاه شده و همچنین از طریق تحت تأثیر قرار دادن فرآیندهای بیولوژیک گیاه سبب افزایش وزن خشک می‌گردد. با کاهش مقدار آب، وزن خشک گیاه کاهش می‌یابد. از جمله دلایل آن می‌توان به تغییر در انتقال آنزیم‌ها در فتوسنتز و آنزیم ریبولوز بیسفسفات کربوکسیلاز در کلروپلاست اشاره کرد. در بین سطوح مختلف کود نیتروژن، ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۱۵/۰۶ گرم بر مترمربع بیشترین و صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۱۳/۴۷ گرم بر مترمربع کمترین وزن خشک برگ را داشتند (جدول ۳). می‌توان بیان نمود که افزایش کود نیتروژن باعث افزایش غلظت نیتروژن، حفظ سبزیگی و دوام سطح برگ می‌شود و همچنین افزایش مقدار این کود باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی می‌شود که همه این موارد باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی می‌گردد. در اثر متقابل دو فاکتور آبیاری هر روزه و مقدار



شکل ۱- اثر متقابل آبیاری تناوبی و سطوح نیتروژن بر وزن خشک برگ برنج
Fig. 1- Interaction of alternating irrigation and nitrogen rates on leaf dry weight of rice

I₁, I₂, I₃, I₄ and I₅: به ترتیب آبیاری روزانه، ۵ روزه، ۸ روزه، ۱۰ روزه و ۱۵ روز یکبار

I₁, I₂, I₃, I₄ and I₅: are present irrigation at every day, every 5 days, 8 days, 10 days and 15 days, respectively.

نیتروژن شده که با نتایج عزیزی (Azizi, 1999) مطابقت دارد. سرعت رشد محصول یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تجزیه و تحلیل رشد در جوامع گیاهی می‌باشد، که عبارت است از افزایش وزن خشک یک اجتماع گیاهی در واحد سطح مزرعه در واحد زمان بوده و معمولاً بر حسب گرم (وزن خشک کل گیاه) در مترمربع (سطح زمین) در روز بیان می‌گردد. از این شاخص به‌طور وسیعی در تجزیه و تحلیل رشد محصولات به‌کار گرفته می‌شود (Gardner et al., 2010). از نظر CGR، ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن با ۱۳/۷۹ گرم بر مترمربع در روز بیشترین و صفر کیلوگرم کود نیتروژن با ۱۲/۴۶ گرم بر مترمربع در روز کمترین مقدار را دارا بودند (جدول ۳). در نتیجه با افزایش کود نیتروژن سرعت رشد گیاه برنج افزایش می‌یابد که این به‌دلیل افزایش جذب تابش خورشیدی همراه با افزایش سطح برگ و در نتیجه، افزایش سرعت تجمع ماده خشک در گیاه می‌باشد. فرجی و همکاران (Faraji et al., 2011) و اصفهانی و همکاران (Esfahani et al., 2005) بیان کردند که با افزایش کود نیتروژن، سرعت رشد گیاه برنج افزایش می‌یابد. آبیاری هر روز بیشترین CGR را با ۱۳/۵۷ گرم بر مترمربع در روز ایجاد نمود و آبیاری ۱۵ روزه با ۱۲/۸۱ گرم بر مترمربع در روز کمترین مقدار را دارا بود (جدول ۳). آبیاری توان تولید مواد فتوسنتزی را در گیاه برنج افزایش می‌دهد که باعث افزایش وزن خشک برگ و ساقه و در نتیجه، سبب افزایش شاخص TDW می‌گردد. از آن‌جا که مقدار CGR ارتباط زیادی به‌مقدار TDW دارد، در نتیجه افزایش TDW باعث افزایش CGR می‌گردد. با کاهش آبیاری در نتیجه کاهش وزن خشک گیاه CGR نیز کاهش می‌یابد. نتایج حاصل با نتایج خادم باشی و همکاران (۱۳۸۹) در خصوص تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری بر CGR مطابقت می‌نماید. آبیاری هر روز و ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن در اثر متقابل دو فاکتور دارای بیشترین CGR با ۱۴/۱۷ گرم بر مترمربع در روز بودند. همچنین آبیاری ۱۵ روزه و صفر کیلوگرم کود نیتروژن با ۱۲/۱۰ گرم بر مترمربع در روز کمترین مقدار را دارا بودند. بررسی‌ها مؤید آن است که با کاهش محتوی آب قابل دسترس مقدار فتوسنتز کاهش می‌یابد (Murata, 1961) که کاهش مقدار آب برگ به‌شدت کاهش وزن خشک آن را به‌دنبال دارد (Matsuo et al., 1995). به‌طور کلی، کاربرد نیتروژن با بهبود رشد، توسعه سیستم ریشه‌ای، بهبود جذب آب و عناصر غذایی، سرعت رشد گیاه را تقویت و رشد گیاه را بهبود می‌بخشد.

از نظر وزن خشک ساقه، آبیاری هر روزه دارای بیشترین (۱۵/۸۷ گرم بر مترمربع) و آبیاری ۱۵ روزه دارای کمترین مقدار (۱۴/۱۵ گرم بر مترمربع) بودند (جدول ۳). آبیاری باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی در گیاه شده و همچنین از طریق تحت تأثیر قرار دادن فرآیندهای بیولوژیک گیاه سبب افزایش وزن خشک می‌گردد. با کاهش مقدار آب، وزن خشک گیاه کاهش می‌یابد. از جمله دلایل آن می‌توان به تغییر در انتقال آنزیم‌ها در فتوسنتز و آنزیم ریبولوز بیس فسفات کربوکسیلاز در کلروپلاست اشاره کرد. در بین سطوح کود نیتروژن، مصرف ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۱۵/۷۴ گرم بر مترمربع بیشترین و صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۱۴/۱۷ گرم بر مترمربع کمترین وزن خشک ساقه را داشتند (جدول ۳). آبیاری هر روزه و مقدار ۹۰ کیلوگرم نیتروژن بیشترین وزن خشک ساقه (با ۱۶/۶۸ گرم بر مترمربع) و آبیاری ۱۵ روزه و صفر کیلوگرم نیتروژن (با ۱۳/۶۱ گرم بر مترمربع) کمترین وزن خشک ساقه را دارا بودند (جدول ۳). نیومن (Neumann, 1993) نتیجه گرفت که کاهش آب سبب کاهش انعطاف‌پذیری دیواره سلول‌های ساقه شده و مانعی برای طول شدن ساقه محسوب می‌شود که این امر کاهش وزن خشک این اندام را موجب می‌شود. اختلاف در تجمع ماده خشک در پاسخ به نیتروژن از تفاوت در میزان دریافت تشعشع فعال فتوسنتزی توسط کانوپی گیاهی و راندمان گیاه در استفاده از تابش خورشیدی ناشی می‌شود. در ارتباط با محتوی نیتروژن و تجمع ماده خشک مطالعات نشان‌دهنده آن است که کاهش در زیست توده عمدتاً در اثر کاهش سطح برگ اتفاق می‌افتد (Dordas & Sioulas, 2009). برخی محققان بر این باورند که مصرف نیتروژن موجب بهبود و تقویت رشد رویشی شده و گیاه با آمادگی بیشتر به مرحله زایشی وارد شده و در نهایت، میزان تجمع ماده خشک اندام‌های هوایی و عملکرد دانه افزایش می‌یابد (Dibert et al., 1979; Starling et al., 1998). ایگلی و همکاران (Egli et al., 1985) بیان داشتند که مصرف کود نیتروژن به‌صورت سرک در طی مراحل رشدی گیاهان با تولید مخازن زایشی، از طریق بهبود تخصیص مواد فتوسنتزی و افزایش CGR، در نهایت افزایش میزان تجمع ماده خشک را به‌دنبال دارد. از طرف دیگر، عدم دسترسی به منابع تکمیلی نیتروژن در مراحل حساس رشدی منجر به تولید ماده فتوسنتزی کمتر و در نهایت، میزان تجمع ماده خشک اندک به‌دلیل شدت ریزش برگ‌ها در این سطح از

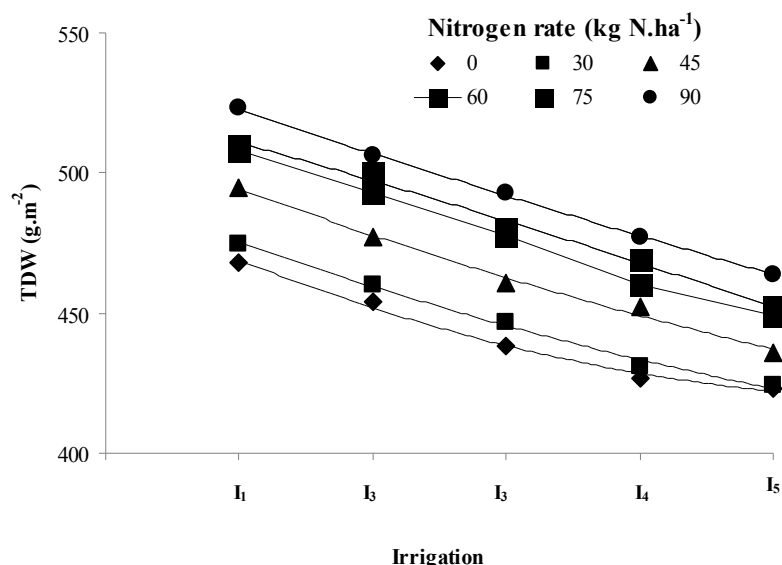
به دلیل افزایش تدریجی و فزاینده جذب تشعشع خورشیدی، هم‌زمان با افزایش شاخص سطح برگ در اوایل فصل رشد و در نتیجه افزایش سرعت تجمع ماده خشک در گیاه می‌باشد و با گذشت زمان، پس از رسیدن به حد نهایی خود با پیر شدن برگ‌ها و کاهش فتوسنتز خالص، سرعت رشد محصول کاهش می‌یابد. می‌توان گفت، بالا بودن میزان تنفس نسبت به فتوسنتز جاری در مراحل انتهایی رشد (Van Iersel, 2000; Van Iersel & Seymour, 2000)، نیز باعث کاهش شدیدتر سرعت رشد محصول می‌شود.

آسیمیلیسیون خالص مقدار مواد ساخته شده خالص در واحد زمان و واحد سطح برگ بوده و معمولاً بر حسب گرم (وزن خشک) بر مترمربع (سطح برگ) در روز بیان می‌گردد (Gardner et al., 2010). میزان آسیمیلیسیون خالص در اوایل فصل رشد به دلیل پایین بودن سطح برگ و فتوسنتز پایین بوده و به تدریج همراه با رشد و افزایش سطح برگ گیاه، در اواسط فصل رشد افزایش چشم‌گیری یافته و پس از آن به دلایلی چون سایه‌اندازی برگ‌ها بر روی یکدیگر، انتقال مجدد عناصر و پیری برگ‌ها و کاهش کارایی فتوسنتزی آن‌ها کاهش شدیدی پیدا می‌کند. آبیاری هر روزه با $11/98$ گرم بر مترمربع در روز دارای کمترین NAR و آبیاری 15 روزه با $7/14$ گرم بر مترمربع در روز بیشترین مقدار را دارا بود. در بین سطوح مختلف کود نیتروژن، 90 کیلوگرم نیتروژن بر مترمربع در روز کمترین و صفر کیلوگرم نیتروژن بر مترمربع در روز بیشترین NAR را داشتند (جدول ۳). با افزایش شاخص سطح برگ، در همه تیمارها سرعت جذب خالص کاهش یافت که این امر می‌تواند به این علت باشد که مقادیر بالای نیتروژن، تولید پنجه و توسعه سطح برگ را افزایش می‌دهد که این خود موجب سایه‌اندازی برگ‌ها بر روی یکدیگر و در نتیجه، کاهش مقدار فتوسنتز خالص می‌گردد. روند کاهشی سرعت جذب خالص در سطوح بالاتر نیتروژن شدیدتر بود. به نظر می‌رسد که علت این امر می‌تواند تسریع در تولید برگ و زودتر بسته شدن پوشش گیاهی باشد. نتایج تحقیق فرجی و همکاران (Faraji et al., 2011) و اصفهانی و همکاران (Esfahani et al., 2005) مطابق نتایج فوق‌الذکر بود. در اثر متقابل آبیاری و نیتروژن، آبیاری 5 روزه و 90 کیلوگرم نیتروژن با $5/01$ گرم بر مترمربع در روز دارای کمترین NAR و آبیاری 15 روزه و صفر کیلوگرم نیتروژن با $18/72$ گرم بر مترمربع در روز دارای بیشترین NAR بودند (جدول ۳). افزایش مصرف کود نیتروژن به دلیل بهبود شاخص سطح برگ

بهبود سرعت آسیمیلیسیون خالص را موجب می‌گردد. البته در مقادیر بالاتر کود تشکیل پنجه‌های جدید تا انتهای دوره رشد ادامه دارد، ولی این پنجه‌های جوان معمولاً به مرحله باروری نرسیده و در سایه پنجه‌های بالایی قرار می‌گیرند که در نتیجه، کاهش سرعت فتوسنتز خالص را موجب می‌گردد. لذا افزایش بی‌رویه مصرف نیتروژن از طریق سایه‌اندازی برگ‌ها کاهش سرعت آسیمیلیسیون خالص را در پی دارد.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بالاترین LDW در آبیاری هر روز با میانگین $242/9$ گرم بر مترمربع به دست آمد. کمترین مقدار در آبیاری 15 روزه با $215/3$ گرم بر مترمربع مشاهده شد. در بین سطوح کود نیتروژن، 90 کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار با $240/9$ گرم بر مترمربع بیشترین و صفر کیلوگرم کود نیتروژن با $215/6$ گرم بر مترمربع کمترین مقدار LDW را دارا بود. در اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن، آبیاری هر روز و 90 کیلوگرم کود نیتروژن با $248/7$ گرم بر مترمربع بیشترین LDW و آبیاری 15 روزه 45 کیلوگرم کود نیتروژن با 206 گرم بر مترمربع کمترین LDW را داشتند (جدول ۳). شاخص LDW همبستگی زیادی با وزن خشک برگ دارد و از حاصل‌ضرب وزن خشک برگ در ضریب به دست می‌یابد. در نتیجه آبیاری، تولید مواد فتوسنتزی افزایش می‌یابد که باعث افزایش وزن خشک برگ می‌شود و افزایش این عامل باعث افزایش شاخص LDW می‌گردد. کاهش آبیاری باعث کاهش سطح برگ و جذب نور خورشید می‌گردد که این عامل باعث کاهش فتوسنتز و تولید مواد در گیاه می‌گردد و در نتیجه، وزن خشک برگ کاهش می‌یابد.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بالاترین TDW در آبیاری هر روز با میانگین $496/9$ گرم بر مترمربع به دست آمد. کمترین مقدار در آبیاری 15 روزه با $441/6$ گرم بر مترمربع مشاهده شد. در بین سطوح کود نیتروژن، 90 کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار با $492/8$ گرم بر مترمربع بیشترین و صفر کیلوگرم کود نیتروژن با $442/3$ گرم بر مترمربع کمترین مقدار TDW را دارا بود (جدول ۳). در اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن، آبیاری هر روز و 90 کیلوگرم کود نیتروژن با 523 گرم بر مترمربع بیشترین TDW و آبیاری 15 روزه صفر کیلوگرم کود نیتروژن با $423/1$ گرم بر مترمربع کمترین TDW را داشتند (جدول ۳). همبستگی بین محتوای نیتروژن و تبادل خالص دی‌اکسید کربن در نوتیپ‌های برنج مؤید آن است که افزایش نیتروژن برای تولید ماده خشک ضروری است (Murata, 1961).



0 kg N.ha ⁻¹	$y = 1.785x^2 - 22.41x + 489.6$ $R^2 = 0.994$	60 kg N.ha ⁻¹	$y = 0.357x^2 - 16.84x + 539.2$ $R^2 = 0.998$
30 kg N.ha ⁻¹	$y = 0.785x^2 - 19.01x + 512.6$ $R^2 = 0.993$	75 kg N.ha ⁻¹	$y = -0.357x^2 - 12.55x + 523.8$ $R^2 = 0.991$
45 kg N.ha ⁻¹	$y = -0.357x^2 - 12.55x + 523.8$ $R^2 = 0.991$	90 kg N.ha ⁻¹	$y = 0.357x^2 - 16.84x + 539.2$ $R^2 = 0.998$

شکل ۲- اثر متقابل آبیاری تناوبی و سطوح نیتروژن بر میزان تجمع ماده خشک برنج
 Fig. 2- Interaction of alternating irrigation and nitrogen rates on total dry weight of rice

I₁, I₂, I₃, I₄ and I₅: به ترتیب آبیاری روزانه، ۵ روز، ۸ روز، ۱۰ روز و ۱۵ روز یکبار

I₁, I₂, I₃, I₄ and I₅: are present irrigation at every day, every 5 days, 8 days, 10 days and 15 days, respectively.

آبیاری و کود نیتروژن، آبیاری ۱۵ روزه و ۶۰ کیلوگرم کود نیتروژن با ۰/۰۲۹۳۴ مترمربع بر گرم بیشترین RGR و آبیاری هر روزه و ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن با ۰/۰۲۷۱ مترمربع بر گرم کمترین RGR را داشتند (جدول ۳). همبستگی معنی دار بین RGR و SLA نشان می دهد که ارقام دارای برگ‌های نازک‌تر به دلیل توانایی در توزیع وزن خشک به سطح برگ بیشتر، دارای سطح فتوسنتزی بیشتر و در نتیجه، RGR بیشتری را نیز دارا می‌باشند (Ghorbanli et al., 2006). پارسا و همکاران (Parsa et al., 2011) اظهار داشتند در ابتدای فصل رشد، میزان RGR به علت نفوذ نور به داخل جامعه گیاهی، سایه‌اندازی کمتر برگ‌ها و در نتیجه تنفس کمتر، بالاتر می‌باشد، اما با افزایش سن گیاه، سرعت رشد نسبی گیاه کاهش می‌یابد، زیرا بخش‌هایی که به گیاه افزوده می‌شوند، بافت‌های ساختمانی هستند که از لحاظ متابولیسی فعال نبوده و در فتوسنتز نقشی ندارند. آن‌ها بیان کردند در مجموع، RGR در تیمار آبیاری کامل بیشتر از

سرعت رشد نسبی بیانگر وزن خشک اضافه شده نسبت به وزن اولیه در یک فاصله زمانی است، اما با این وجود توصیف‌کننده یک سرعت رشد ثابت در طول یک چارچوب زمانی مشخص نیست و می‌تواند با مقادیر لحظه‌ای RGR متفاوت باشد (Gardner et al., 2010). با گذشت زمان به دلیل سایه‌اندازی برگ‌های بالایی و کاهش پتانسیل فتوسنتزی این برگ‌ها و همچنین افزایش بافت‌های ساختمانی و غیرفتوسنتزی و ایجاد رقابت بین اندام‌های مختلف گیاهی برای دریافت آب، آسمیلات‌های فتوسنتزی و دریافت نور سرعت رشد نسبی کاهش می‌یابد. بالاترین RGR در آبیاری ۱۵ روز با میانگین ۰/۰۲۹ مترمربع بر گرم به دست آمد. کمترین مقدار در آبیاری هر روزه با ۰/۰۲۷ مترمربع بر گرم مشاهده شد. در بین سطوح کود نیتروژن، ۳۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار با ۰/۰۲۸۴۳ مترمربع بر گرم بیشترین و ۹۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار با ۰/۰۲۸ مترمربع بر گرم کمترین مقدار RGR را دارا بود. در اثر متقابل

تیمارهای آبیاری تکمیلی در نخود بود.

آبیاری ۵ روزه با $0/008$ مترمربع بر گرم دارای بیشترین SLA و آبیاری ۱۵ روزه با $0/005$ مترمربع بر گرم کمترین مقدار را دارا بود. در بین سطوح کود نیتروژن، 90 کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار با $0/009$ مترمربع بر گرم بیشترین و صفر کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار با $0/004$ مترمربع بر گرم کمترین SLA را داشتند. در اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن، آبیاری ۵ روزه و 90 کیلوگرم کود نیتروژن با $0/011$ مترمربع بر گرم دارای بیشترین SLA و آبیاری ۱۵ روزه و صفر کیلوگرم کود نیتروژن با $0/003$ مترمربع بر گرم دارای کمترین SLA بودند (جدول ۳).

آبیاری ۵ روزه با $0/004$ مترمربع بر گرم دارای بیشترین LAR و آبیاری ۱۵ روزه با $0/002$ مترمربع بر گرم کمترین مقدار را دارا بود. در بین سطوح کود نیتروژن، 90 کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار با $0/004$ مترمربع بر گرم بیشترین و صفر کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار با $0/002$ مترمربع بر گرم کمترین LAR را داشتند. در اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن، آبیاری ۵ روزه و 90 کیلوگرم کود نیتروژن با $0/005$ مترمربع بر گرم دارای بیشترین LAR و آبیاری ۱۵ روزه و صفر کیلوگرم کود نیتروژن با $0/001$ مترمربع بر گرم دارای کمترین LAR بودند (جدول ۳). کاهش محتوی آب قابل دسترس به طور معنی داری سبب کاهش انعطاف پذیری دیواره سلولی می شود که این موضوع سبب کاهش فشار تورژسانس در بافت های بالغ برنج نسبت به بافت های جوان در حال توسعه را در پی دارد (Lu & Neumann, 1998).

آبیاری هر روزه با $0/4888$ مترمربع بر گرم دارای بیشترین LWR و آبیاری ۱۵ روزه با $0/4874$ مترمربع بر گرم کمترین مقدار را دارا بود. در بین سطوح کود نیتروژن، 90 کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار با $0/4889$ مترمربع بر گرم بیشترین و صفر کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار با $0/4874$ مترمربع بر گرم کمترین LWR را داشتند. در اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژن، آبیاری هر روزه و 90 کیلوگرم کود نیتروژن با $0/4897$ مترمربع بر گرم دارای بیشترین LWR و آبیاری ۱۵ روزه و صفر کیلوگرم کود نیتروژن با $0/4869$ مترمربع بر گرم دارای کمترین LWR بودند (جدول ۳). نیتروژن جزء عناصر پرمصرف گیاهان به شمار می رود که می تواند سبب تولید بیشتر بافت های سبزینه ای شده و با اثر غیرمستقیمی که بر تولید بیشتر گیاه دارد می تواند موجب افزایش عملکرد گیاه شود (Marschner, 1995).

نیتروژن به واسطه تأثیر بر تولید هورمون سیتوکینین از ریشه به اندام های هوایی، از طریق افزایش سرعت تقسیم سلولی موجب افزایش تقسیم سلولی و بهبود وزن خشک اندام های فتوسنتز کننده شد (Marschner, 1995).

میزان آب مصرفی یکی از شاخص های مهم کاشت برنج می باشد. آبیاری هر روزه با 6581 مترمکعب در هکتار بیشترین و آبیاری ۱۵ روزه با 4850 مترمکعب در هکتار کمترین میزان آب مصرفی را داشتند. در بین سطوح کود نیتروژن مقدار کود 90 کیلوگرم بیشترین (5940 مترمکعب در هکتار) و مقدار کود صفر کیلوگرم کمترین میزان آب مصرفی (5643 مترمکعب در هکتار) را ایجاد نمود. در اثر متقابل دو فاکتور، آبیاری هر روزه و 90 کیلوگرم کود نیتروژن با 6663 مترمکعب در هکتار بیشترین آب مصرفی و آبیاری ۱۵ روزه و صفر کیلوگرم کود نیتروژن (4691 مترمکعب در هکتار) کمترین را داشتند. آب مهم ترین نهاده برای تولید پایدار در مناطق برنج خیز می باشد. علی رغم این که برنج غالباً به صورت غرقاب کشت می شود، کنترل آب مهم ترین عملیات مدیریتی است که نقش تعیین کننده ای در سودمندی سایر نهاده های مصرفی اعم از عناصر غذایی، آفت کش ها، علف کش ها و غیره دارد (Darzi et al., 2013). بهره وری آب (WP) در برنج مفهومی نسبی است که بیانگر مقدار یا ارزش تولید به ازای حجم یا مقدار آب مصرفی می باشد. اگرچه اختلافات زیادی در مقادیر بهره وری آب در برنج گزارش شده است (Tuong, 1999)، ولی این تفاوت ها به میزان زیادی تحت تأثیر تنوع و اختلافات زیاد در عملکرد است، ولی متأثر از میزان آب مصرفی می باشد (Tuong, 1999). نتایج برخی پژوهش ها نشان دهنده آن است که بسته به شرایط اقلیمی و خاکی متفاوت، غرقاب دائم برنج ضرورت ندارد، بلکه در برخی از مراحل رشد می توان گیاه را تحت تأثیر تنش آب به صورت کاهش ارتفاع آب ایستایی در کرت و خشکاندن خاک در حد اشباع قرار داد، بدون اینکه عملکرد محصول کاهش معنی داری یابد (Yang et al., 2005). بر این اساس، پیشنهاد می شود با بهره گیری از راهکارهای مدیریتی نیاز آبی برنج را به عنوان یکی از گیاهان اصلی مورد نیاز کشور کاهش داد و از این طریق گامی مؤثر در بهره وری آب و بهبود راندمان مصرف آن و بهره وری تولید (Darzi et al., 2013; Tuong, 1999) ایفا نمود. سایر محققان (Aziz et al., 2018; Kadiyala et al., 2015) نیز بر این باورند که مدیریت آبیاری راهکاری زراعی در

کود نیتروژن ۷۵ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار، با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی و اجتناب از آلاینده‌گی مقادیر بالاتر کاربرد کود نیتروژنی و کاهش هزینه‌های کاشت در اثر خرید و کاربرد کود نیتروژن در اراضی شالیزاری مقدار ۷۵ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره را می‌توان توصیه نمود. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که در شرایط تنش متوسط و زیاد (آبیاری ۸، ۱۰ و ۱۵ روزه) مصرف ۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌عنوان بهترین گزینه می‌باشد که البته این امر نیازمند مطالعات و تحقیق به‌ویژه در شرایط مختلف آب‌وهوایی و خاکی می‌باشد. به‌طور کلی، از آن‌جا که عملکرد گیاه زراعی نتیجه عوامل بسیار زیاد ژنتیکی، محیطی و اثرات متقابل آن‌ها می‌باشد، لذا پیشنهاد می‌گردد در آینده، تکنیک‌هایی همچون جای‌گذاری عمیق کود نیتروژن با خاصیت رهاسازی آهسته به‌منظور تأمین نیتروژن مورد نیاز برنج همراه با مدیریت آبیاری تناوبی مورد بررسی قرار گیرد.

راستای تولید پایدار برنج به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک و کمبود منابع آب زیرزمینی می‌باشد. علاوه‌براین، به نظر می‌رسد اعمال مدیریت آبیاری تناوبی با فراهمی اکسیژن کافی در طول فصل رشد برای ریشه و خرج مواد سمی از منطقه ریزوسفر می‌تواند موجب بهبود رشد و عملکرد گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد کود نیتروژن و تیمارهای آبیاری با افزایش شاخص سطح برگ و بهبود توانمندی گیاه برنج برای رشد بهتر و تولید بیشتر ماده خشک، موجب دستیابی به شاخص‌های فیزیولوژیکی بالاتر محصول گردید. در بین سطوح آبیاری، آبیاری هر روزه بیشترین سطح برگ و سرعت رشد محصول را دارا بود. نتایج به‌دست آمده نشان داد که در شرایط تنش کم (آبیاری هر روزه و ۵ روزه) با توجه به اختلاف کم معنی‌دار بین مقدار

References

1. Afza, R., Hardarson, G., Zapata, F., and Danso, S.K.A., 1987. Effects of delayed soil and foliar N fertilization on yield and N_2 fixation of soybean. *Plant and Soil* 3: 361-368.
2. Al-Barrak, K.M., 2006. Irrigation interval and nitrogen level effects on growth and yield of canola (*Brassica napus* L.). *Science Journal of King Faisal University Basis of Applied Science* 7(1): 87-103.
3. Al-Ithawi, B., Deibert, E.J., and Olson, R.A., 1980. Applied N and moisture level effects on yield, depth of root activity, and nutrient uptake by soybeans. *Agronomy Journal* 72: 827-832.
4. Amiri, E., Razavipour, T., and Bannayan, M., 2011. Evaluation of yield and water productivity in rice under irrigation management and plant density with use ORYZA₂₀₀₀ model. *Electronic Journal of Crop Production* 4(3): 1-19. (In Persian with English Summary)
5. Ather Nadeem, M., Iqbal, Z., Ayub, M., Mubeen, K., and Ibrahim, M., 2009. Effect of nitrogen application on forage yield and quality of maize sown alone and in mixture with legumes. *Pakistani Journal of Life Society Science* 7(2): 161-167.
6. Aziz, O., Hussain, S., Rizwan, M., Riaz, M., Bashir, S., Lin, L., Mehmood, S., Imran, M., Yaseen, R., and Guoan, L., 2018. Increasing water productivity, nitrogen economy, and grain yield of rice by water saving irrigation and Fertilizer-N management. *Environmental Science and Pollution Research* 25(17): 16601-16615.
7. Azizi, M., 1999. Effect of irrigation regimes and K fertilizer on agronomic, physiologic and biochemic characters of soybean. Ph.D. Thesis in Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
8. Bouman, B.A.M., and Tuong, T.P., 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agriculture and Water Management* 49(1, 2): 11-30.
9. Caliskan, S., Ozakaya, I., Caliskan, M.E., and Arslan, M., 2008. The effects of nitrogen and iron fertilization on growth, yield and fertilizer use efficiency of soybean in a Mediterranean-type soil. *Field Crops Research* 108: 126-132.
10. Carmelita, M., Albertoa, R., Wassmanna, R., Hiranob, T., Miyatac, A., Hatanob, R., Kumara, A., Padrea, A., and Amante, M., 2011. Comparisons of energy balance and evapotranspiration between flooded and aerobic rice fields in the Philippines. *Agricultural Water Management* 98: 1417-1430.
11. Dahatonde, B.N., 1995. Effect of NPK fertilization on growth and yield of paddy. *PKV Research Journal* 19: 184-

- 185.
12. Darzi, A.A., Mirlotfi, S.M., Shahnazari, A., Ejlali, F., and Mahdian, M.H., 2013. Effect of surface and subsurface drainage in paddy fields on rice yield and its components. *Iranian Journal of Water Research in Agriculture* 26: 61-70. (In Persian with English Summary)
13. De Datta, S.K., and Gumez, K.A., 1980. Changes in phosphorus and potassium response in wetland rice soils in south and south-east Asia. International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines.
14. Dibert, E.J., Bigercyo, M., and Olson, R.A., 1979. Utilization of N₁₅ fertilizer by nodulating and nonnodulating soybean isolines. *Agronomy Journal* 71: 715-723.
15. Dobbermann, A., Cassman, K.G., Mamaril, C.P., and Sheehy, J.E., 1998. Management of phosphorus, potassium and sulfur in intensive, irrigated lowland rice. *Field Crops Research* 56: 113-138.
16. Egli, D.B., Guffy, R.G., and Leggett, J.E., 1985. Partitioning of assimilate between vegetative and reproductive growth in soybean. *Agronomy Journal* 77: 917-922.
17. Esfahani, M., S.M., Sadrzadeh, S.M., Kavooosi, M., and Dabagh- Mohammadi-Nasab, A., 2005. Study the effect of different levels of nitrogen and potassium fertilizers on yield, yield components and growth of rice cv. Khazar. *Iranian Journal of Crop Science* 7(3): 226-242. (In Persian with English Summary)
18. Faraji, F., Esfahani, M., Kavooosi, M., Nahvi, M., and Rabiei, B., 2011. Effect of nitrogen fertilizer application on grain yield and milling recovery of rice (*Oryza sativa* cv. Khazar). *Iranian Journal of Crop Sciences* 13(1): 61-77. (In Persian with English Summary)
19. Gardner, F.P., Pearce, R.B., and Mitchell, R.L., 2010. *Physiology of Crop Plants*. Scientific Publishers (India), Crops, 327 pp.
20. Ghobady, M., Jahanbin, S.H., Motalebifard, R., and Parvizi, K.H., 2011. Effect of Phosphorus biofertilizers on yield and yield components of potato. *Journal of Management System* 21(2): 117-130. (In Persian with English Summary)
21. Ghorbanli, M., Hashemi Moghaddam, S., and Fallah, A., 2006. Study of interaction effects of irrigation and nitrogen on some morphological and physiological characteristic of rice plant (*Oryza sativa* L.). *Journal of Agricultural Sciences* 12(2): 415- 428. (In Persian with English Summary)
22. Gilani, A., and Absalan, S.A., 2004. Effects of different irrigation regimes on the performance level and growth of rice cultivars in Khuzestan. Final Report of the Research Project. Agricultural Research and Education Organization. (In Persian)
23. Ham, G.E., Liener, I.E., Evans, S.D., Frazier, R.D., and Nelson, W.W., 1975. Yield and composition of soybean seed as affected by N and S fertilization. *Agronomy Journal* 67: 293-297.
24. Iqbal, J., Cheema, A.A., Niazi, M.N., and Dogar, M.S., 1991. Response of potassium application to rice wheat in salt affected soils. *Technique* 8: 19-30.
25. Jahan, M., Nassiri Mahallati, M., Amiri, M.B., and Ehyayi, H.R., 2013. Radiation absorption and use efficiency of sesame as affected by biofertilizers inoculation in a low input cropping system. *Industrial Crops and Products* 43: 606-611.
26. Kadiyala, M.D.M., Jones, J.W., Mylavarapu, R.S., Li, Y.C., and Reddy, M.D., 2015. Identifying irrigation and nitrogen best management practices for aerobic rice–maize cropping system for semi-arid tropics using CERES-rice and maize models. *Agricultural Water Management* 149: 23-32.
27. Karimi, M.M., and Siddique, K.H.M., 1991. Crop growth and relative growth rates of old and modern wheat cultivars. *Australian Journal of Agriculture Research* 42: 13-20.
28. Katoh, M., Iwata, A., Shaku, I., Nakajima, Y., Matsuya, K., and Kimura, M., 2003. Impact of water percolation on nutrient leaching from an irrigated paddy field in Japan. *Soil Use and Management* 19: 298-304.
29. Kaushal, T., Onda, M., Ito, S., Yamazaki, A., Fujikake, H., Ohtake, N., Sueyoshi, K., Takahashi, Y., and Ohyama, T., 2006. Effect of placement of slow- release fertilizer (Lime nitrogen) applied at different rates on growth, N₂ fixation and yield of soybean (*Glycine max*). *Journal of Agronomy and Crop Science* 192: 417-426.
30. Keshavarz Afshar, R., Chaichi, M.R., Alipour Jahangiri, A., Ansari Jovini, M., Moghaddam, H., Ehteshami, S.M.R., and Khavazi, K., 2011. Effects of foliar application of plant growth promoting rhizobacteria on forage and grain yield of forage sorghum (var. Speedfeed). *Iranian Journal of Field Crop Science* 42(3): 575-584. (In Persian with English Summary)
31. Kumudini, S.D., Hume, J., and Chu, G., 2001. Genetic improvement in short- season soybeans. I. Dry matter

- accumulation, partitioning, and leaf area duration. *Crop Science* 41: 391-398.
32. Lin, J.L., and Lin, T.L., 1985. Tiller number and leaf area index in rice community as influenced by planting density and N-fertilizer. *Journal of the Agricultural Association of China* 129: 14-34.
33. Lu, Z., and Neumann, P.M., 1998. Water- stressed maize, barley and rice seedling show species diversity in mechanisms of leaf growth inhibition. *Journal of Experimental Botany* 49(329): 1945-1952.
34. Makara, O., Basnayake, J., Tsubo, M., Fukai, S., Fisher, K.S., Cooper, M., and Nesbitt, H., 2006. Use of drought response index for identification of drought tolerant genotypes in rainfed lowland rice. *Field Crops Research* 1: 48-58.
35. Marschner, H., 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press London.
36. Matsuo, T., Kumazawa, K., Ishii, R., and Hirata, H., 1995. *Science of the Rice*. Food and Agriculture Policy Research Center.
37. Murata, Y., 1961. Studies on the photosynthesis of rice plant and culture significance. *Bulletin of National Institute for Agriculture Science* 9: 1-169.
38. Neumann, P.M., 1993. Rapid and reversible modification of extension capacity of cell walls in elongating maize leaf tissues responding to root addition and removal of NaCl. *Plant, Cell and Environment* 16: 1107-14.
39. Ntanos, D.A., and Koutroubas, S.D., 2002. Dry matter and N accumulation and translocation for Indica and Japonica rice under Mediterranean conditions. *Field Crops Research* 74: 93-101.
40. Ohnishi, M., Horie, T., Homma, K., Supapoj, N., Takano, H., and Yamamoto, S., 1999. Nitrogen management and cultivar effects on rice yield and nitrogen use efficiency in Northeast Thailand. *Field Crops Research* 64: 109-120.
41. Pantuwan, G., Fukai, S., Cooper, M., Rajatasereekul, S., O'Toole J.C., and Basnayake, J., 2004. Yield response of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to drought under rainfed lowlands. *Field Crops Research* 89: 281-297.
42. Parsa, M., Ganjali, A., Rezayeeanzadeh, A., and Nezami, A., 2011. Effect of supplemental irrigation on yield and yield components and correlation between varieties cultivated in spring chickpea. *Iranian Journal of Field Crops Research* 9(3): 310-321. (In Persian with English Summary)
43. Peng, S., 2000. Single-leaf and canopy photosynthesis of rice. In: J.E. Sheehy, P.L. Mitchell, and B. Hardy (Eds.). *Redesigning Rice Photosynthesis to Increase Yield*. International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines.
44. Prasad, B., and Prasad, J., 1997. Response of rice to potassium application in calcareous soils. *Journal of Potassium Research* 13: 50-57.
45. Rezaei, M., and Nahvi, M., 2007. Effect of different irrigation management methods on water use efficiency and rice yield. *Agricultural Science* 1(9): 15-25.
46. Sahoo, N.C., and Guru, S.K., 1998. Physiological basis of yield variation in short duration cultivars of yield variation in short duration cultivars of rice. *Indian Journal of Physiology* 3: 36-41.
47. Sajadi Nik, R., and Yadavi, A.R., 2013. Effect of nitrogen fertilizer, vermicompost and nitroxin on growth indices, phenological stages and grain yield of sesame. *Electronic Journal of Crop Production* 6(2): 73-99. (In Persian with English Summary)
48. Starling, M.E., Wood, C.W., and Weaver, D.B., 1998. Starter nitrogen and growth habit effects on late-planted soybean. *Agronomy Journal* 90: 658-662.
49. Takahashi, Y., Chinushi, T., Nagumo, Y., Nakano, T., and Ohyama, T., 1991. Effect of deep placement of controlled release nitrogen fertilizer (coated urea) on growth, yield and nitrogen fixation of soybean plants. *Soil Science and Plant Nutrition* 37: 223-231.
50. Takahashi, Y., Chinushi, T., Nakano, T., and Ohyama, T., 1992. Evaluation of N₂ fixation and N absorption activity by relative Ureide method in field grown soybean plants with deep placement of coated urea. *Soil Science and Plant Nutrition* 38: 699-708.
51. Touchton, J.T., and Rickerl, D.H., 1986. Soybean growth and yield response to starter fertilizers. *Soil Science and Society of America Journal* 50: 234-237.
52. Tuong, T.P., 1999. Productive water use in rice production: Opportunities and limitations. *Journal of Crop Production* 2: 241-264.
53. Uexkull, H.R.V., 1976. *Fertilizing for high yield rice*. International Potash Institute. Berne, Switzerland.
54. Van Iersel, M.W., 2000. Growth and maintenance respiration of *Catharanthus roseus* L. estimated from CO₂ exchange. *Journal of American Society of Horticulture Science Acta Horticulture* 519: 133-140.
55. Van Iersel, M.W., and Seymour, L., 2000. Growth respiration, maintenance respiration, and carbon fixation of

- vinca: a time series analysis. *Journal of American Society of Horticulture Science* 125(6): 702-706.
56. Wilson, C.E., Slaton, N.A., Dickson, P.A., Norman, R.J., and Wells, B.R., 1996. Rice response to phosphorus and potassium fertilizer application. *Research Series- Arkansas Agricultural Experimental Station* 450: 15-18.
57. Wood, C.W., Torbert, H.A., and Weaver, D.B., 1993. Nitrogen fertilizer effects on soybean growth, yield, and composition. *Journal of Production Agriculture* 6: 354-360.
58. Yang, X., Bouman, B.A.M., Wang, H., Wang, Z., and Zhao, J., 2005. Performance of temperate aerobic rice under different water regimes in North China. *Agricultural Water Management* 74: 107-122.
59. Yazdandoost Hamedani, M., 2003. A study of the effect of nitrogen rates on yield, yield components and nitrate accumulation in potato varieties. *Iranian Journal of Agriculture Science* 24(4): 977-985. (In Persian with English Summary)
60. Ying, J., Peng, S., He, Q., Yang, H., Yang, C., Visperas, R.M., and Cassman, K.G., 1998. Comparison of high-yield rice in tropical and subtropical environments. I. Determinants of grain and dry matter yields. *Field Crops Research* 57: 71-84.
61. Yoshida, S., 1975. Factors that limit the growth and yields of upland rice In: *Major Research in upland Rice*. IRRI. Los Banos. Philippines pp. 46-71
62. Yoshida, S., 1981. *Fundamental of rice crop science*. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines.
63. Yousefi Falakdehi, A., 2006. The interaction effect of water stress and salinity on yield of rice. M.Sc. Thesis in Department of Irrigation, Faculty of Agriculture, University of Shiraz, Shiraz, Iran. (In Persian with English Summary)



Effect of Irrigation Interval and Nitrogen Amount on Water Requirement, and growth of Rice (*Oryza sativa* L.) Hashemi Cultivar under Gilan Climate Conditions

K. Sabokrow Foomani¹, S.A. Valad Abadi^{2*}, M. Kavosi³, H. Zakerin², M. Yazdani⁴

Submitted: 05-09-2018

Accepted: 05-01-2019

Sabokrow Foomani, K., Valad Abadi, S.A., Kavosi, M., Zakerin, H. and Yazdani, M., 2020. Effect of irrigation interval and nitrogen amount on water requirement, and growth of rice (*Oryza sativa* L.) Hashemi cultivar under Gilan climate conditions. Journal of Agroecology. 12(2):281-298.

Introduction

Rice (*Oryza sativa* L.) is an essential crop among cereals and shared a significant component in the global human diet, especially in developing countries. About 80% of water consumption in Asia is for the agriculture sector, and half of it would be used for rice production. Rice needs roughly 8000 to 10000 m³ of water per hectare and 1Kg of its dry matter needs to 700 liters of water. Rice farmers tend to keep their farms flooded continuously to make sure the product is more productive by too much water storage and, in this way, prevent against weeds. Up to the year 2050, rice production should increase by 50%, which requires improved cultivars and enhanced field management. For achieving high crop yield, applying fertilizers to maintain high soil fertility is quite necessary. Nitrogen is one of the main crop's nutrient requirements and is a limiting factor for rice production. Nitrogen fertilizer affects the accumulation of dry matter and its allocation in different parts of the plants. The difference in the accumulation of dry matter in response to nitrogen arises from the difference in the amount of active radiation received by photosynthesis of vegetative canopy and plant efficiency in the use of solar radiation. Nitrogen deficiency reduces leaf growth, and leaves become less colorful since the amount of chlorophyll in the leaves decreases, accelerates aging leaves, therefore, reduce the amount of solar radiation, and it reduces the accumulation of dry matter in plants, finally. Nitrogen, plays an important and direct role in the development of grains by increasing the level of enzymes and enzyme activity, and this increases the transfer and processing of sucrose to seeds. Many studies have shown that increasing nitrogen up to a threshold has highly increased rice grain yield. Growth analysis indices are essential to realize how the crop yield may change in response to management and environmental factors. Therefore the application of appropriate management factors that have a positive effect on growth indices can enhance grain yield.

Materials and Methods

This study was conducted as split-plot based on a randomized complete block design in Rice Research Center of Rasht in 2014-2015 and 2015-2016. Irrigation with five levels (daily irrigation, rotational irrigation with 5, 8, 10, and 15 days interval) as main plot and nitrogen at six levels (0.0, 30, 45, 60, 75, and 90 kg.ha⁻¹) as subplot were considered in this experiment. At flowering and harvest leaf and dry stem matter was measured. Then leaf area index (LAI), Crop Growth Rate (CGR), Net Assimilation Rate (NAR), Leaf Area Ratio (LAR), Relative Growth Rate (RGR) and Specific Leaf Area (SLA) were calculated.

Results and Discussion

Our results showed that the interaction of irrigation and nitrogen significantly ($P \leq 0.01$) affects stem and leaf dry matter, LAI, and NAR. Irrigation was significantly ($P \leq 0.01$) effective on CGR. Among irrigation levels, daily irrigation resulted in the highest LAI and NAR. Our results indicated that daily and every five days

1 and 2- Ph.D. Student and Associate Professor of Islamic Azad University, Takestan Branch, Iran, respectively.

3 and 4- Associate Professor and Assistant Professor Rice Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran, respectively.

(* - Corresponding Author Email: dr.valadabady@yahoo.com)

Doi:10.22067/jag.v12i2.75192

irrigation and considering almost no difference between 75 and 90 kg.ha⁻¹ nitrogen, then 75 kg.ha⁻¹ urea can be suggested as the optimum fertilization value. However, at higher irrigation intervals, 90 kg.ha⁻¹ nitrogen would be recommended. Daily irrigation and 90 kg.ha⁻¹nitrogen showed the highest water consumption (6663 m³.ha⁻¹), but 15 days irrigation interval and 0.0 kg.ha⁻¹nitrogen showed the lowest water consumption (4691 m³.ha⁻¹). It seems that low rate release nitrogen fertilizers, along with suitable irrigation practice, would be the optimum management to achieve high yield and lowest possible irrigation water consumption.

Conclusion

The results of this study showed that applying nitrogen and irrigation increased LAI and crop productivity indices, which resulted in higher biomass yield production. Among irrigation levels, daily irrigation resulted in the highest LAI and CGR. Under daily irrigation and five days of interval irrigation, the application of 75 kg.ha⁻¹ nitrogen can be recommended. Although there was not a significant difference between 70 and 95 kg.ha⁻¹ nitroge, but due to environmental concerns, 75 kg.ha⁻¹was recommended.

Keywords: Food security, Slow-release fertilizers, Sustainable production, Water productivity, Water scarcity



مقاله علمی - پژوهشی

تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و بقایای گیاهی بر عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) و خصوصیات فیزیکی خاک در تناوب آیش - گندم در شرایط دیم

علیرضا کوچکی^{۱*}، مهدی نصیری محلاتی^۱ و سید جواد عظیم‌زاده^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۰۳

کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م.، و عظیم‌زاده، س.ج.، ۱۳۹۹. تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و بقایای گیاهی بر عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) و خصوصیات فیزیکی خاک در تناوب آیش - گندم در شرایط دیم. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۲(۲): ۲۹۹-۳۱۷.

چکیده

به‌منظور بررسی اثر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) در تناوب آیش گندم دیم، آزمایشی به‌صورت کرت‌های نواری، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در دو سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ در شهرستان شیروان اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی بود. سطوح خاک‌ورزی عبارت بودند از: بدون خاک‌ورزی، خاک‌ورزی با گاواهن قلمی، خاک‌ورزی با گاواهن پنجه‌غازی و برگردان‌دار. سطوح بقایای گیاهی شامل نگهداری هفت تن بقایا در هکتار، ۳/۵ تن بقایا در هکتار و بدون بقایا بود. نتایج آزمایش نشان داد که وزن مخصوص ظاهری در عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متری خاک در مقایسه با عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری افزایش یافت. تخلخل خاک از روندی برخلاف وزن مخصوص ظاهری خاک تبعیت نمود. نگهداری بقایای گیاهی موجب کاهش وزن مخصوص ظاهری و افزایش رطوبت خاک شد. خاک‌ورزی با گاواهن برگردان‌دار در تمام سطوح بقایای گیاهی کمترین وزن خشک علف‌های هرز را در مقایسه با سایر تیمارها دارا بود. بیشترین مقدار خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر از نیم میلی‌متر و کمترین مقدار خاک‌دانه‌های کوچک‌تر از نیم میلی‌متر در سیستم خاک‌ورزی با گاواهن برگردان‌دار مشاهده شد. عملکرد دانه و زیست‌توده در سیستم خاک‌ورزی با گاواهن برگردان‌دار در مقایسه با سایر سیستم‌های خاک‌ورزی بیشتر بود.

واژه‌های کلیدی: خاک‌ورزی حفاظتی، دانه‌بندی خاک، رطوبت خاک، گاواهن برگردان‌دار

مقدمه

لازم است فراهم نمی‌کنند و به‌همین دلیل تحت این شرایط مدیریت زراعی و به‌ویژه عملیاتی که باعث کاهش نوسانات رطوبتی در محیط ریشه می‌شوند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. عملیات خاک‌ورزی در شرایط دیم مهم‌ترین جنبه مدیریت است و اهمیت این موضوع با ورود ادوات خاک‌ورزی که برای زراعت فاریاب ساخته شده‌اند به محیط کشت دیم بیشتر جلوه کرده است. سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی تأثیر متفاوتی بر خصوصیات فیزیکی از جمله دانه‌بندی خاک گذاشته و در نتیجه، ممکن است عکس‌العمل خاک به فرسایش آبی و بادی را تغییر دهند (Hemmat & Eskandari, 2006; Mohammadi et al., 2009; Koocheki, 2003).

سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی ممکن است بر توزیع و پایداری خاک‌دانه‌ها تأثیر داشته باشند. در همین رابطه گزارش شده است که

امروزه علی‌رغم پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای که در به‌نژادی و اصلاح ارقام برای شرایط متنوع محیطی حاصل شده است، به نظر می‌رسد که محیط‌های خشک دارای ویژگی‌هایی هستند که مانع بروز قابلیت‌های بالقوه این ارقام تحت چنین شرایطی می‌شوند. نوسانات اقلیمی به‌خصوص بارندگی در محیط‌های خشک و به‌ویژه در شرایط دیم، شرایطی را که برای بروز توانایی‌های بالقوه ارقام اصلاح‌شده

۱- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه

فردوسی مشهد، ایران.

(*) - نویسنده مسئول:

با افزایش شدت خاک‌ورزی ثبات خاک‌دانه‌ها کاهش می‌یابد (Azimzadeh, 2015). برخلاف خاک‌های خاک‌ورزی شده، خاک‌های دست‌نخورده، ساختمان باثباتی داشته و کمتر تحت تأثیر نوسانات فصلی قرار می‌گیرند (Hynes & Swift, 1990). مطالعه روش‌های خاک‌ورزی در یک خاک سیلتی در آلمان (Blevins et al., 1990) نشان داد که سیستم بدون خاک‌ورزی ثبات خاک‌دانه‌ها را در لایه سطحی خاک بهبود بخشید که این بهبود دانه‌بندی به تجمع بیشتر مواد آلی در لایه سطحی خاک سیستم بدون خاک‌ورزی مربوط بود. منافذ درشتی که لایه سطحی را به لایه‌های عمقی ارتباط می‌دهند در این سیستم خاک‌ورزی افزایش یافته و باعث نفوذ بهتر آب می‌شوند. وین و ریمبالت (Vyn & Raimbault, 1990) با بررسی درصد خاک‌دانه‌های کوچک‌تر از نیم میلی‌متر به‌عنوان شاخصی از تأثیر خاک‌ورزی بر خاک گزارش کردند که سیستم بدون خاک‌ورزی کمترین درصد خاک‌دانه‌های ریز را دارا بود.

سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی تأثیر متفاوتی بر تولید محصول در زراعت دیم نیز دارند. در همین رابطه، محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2009) گزارش کردند که روش‌های خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) دیم داشت، به‌طوری‌که عملکرد دانه در روش خاک‌ورزی با گاواهن قلمی نسبت به گاواهن برگردان‌دار ۱۵ درصد بیشتر بود. در آزمایش دیگری، ربیعی و رجیبیان (Rabiee & Rajabian, 2011) گزارش کردند که عملکرد دانه کلزای پاییزه (*Brassica napus* L.) در خاک‌ورزی رایج، تفاوت معنی‌داری را با خاک‌ورزی حداقل نشان نداد. در مطالعه‌ای دیگر، گزارش شده است که تیمار خاک‌ورزی رایج، موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و روغن کلزا نسبت به دو تیمار کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی شد، به‌طوری‌که مقدار این پارامترها در تیمار خاک‌ورزی رایج به‌ترتیب ۸۷۶ و ۳۳۷ کیلوگرم در هکتار و برای تیمار کم‌خاک‌ورزی، ۷۱۲ و ۲۶۹ و برای تیمار بدون خاک‌ورزی ۶۴۶ و ۲۴۴ کیلوگرم در هکتار بود (Arshadi Khamseh et al., 2011). نتایج گزارش زابلهستانی و همکاران (Zabolestani et al., 2008) بیانگر این بود که تیمار خاک‌ورزی رایج از نظر عملکرد دانه، تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، وزن کاه و شاخص برداشت نسبت به تیمار خاک‌ورزی سطحی برتری داشت. در تحقیق دیگری در رابطه با اثر خاک‌ورزی، مدیریت بقایای گندم و میزان نیتروژن بر عملکرد و

اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays*) مشاهده شد که کم‌ترین تعداد دانه در بلال، در تیمار خاک‌ورزی با گاواهن برگردان‌دار در سطح بقایای ۷۵ درصد و کاربرد ۶۹ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد (Abdollahi et al., 2009). هوریا و ساکی (Houria & Saci, 2012) با مطالعه اثر روش‌های خاک‌ورزی به این نتیجه رسیدند که بیشترین میانگین تعداد سنبله گندم در مترمربع مربوط به تیمار خاک‌ورزی با گاواهن قلمی بود. بارزالی و همکاران (Barazali et al., 2003) طی مطالعه‌ای روی اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا (*Glycine max* L.) گزارش کردند که بالاترین عملکرد دانه به سیستم بدون خاک‌ورزی اختصاص داشت. آن‌ها علت این افزایش را بیشتر بودن وزن هزار دانه در اثر افزایش رطوبت خاک در این سیستم خاک‌ورزی دانستند. نتایج مشابهی نیز در خصوص افزایش عملکرد گندم در شرایط خاک‌ورزی با گاواهن برگردان‌دار گزارش شده است (Catizone et al., 1990; Khosravani et al., 2000). طبق پژوهش‌های انجام شده، وجود بقایای گیاهی در سطح خاک می‌تواند علاوه بر تأثیر مفید در نگهداری رطوبت خاک، موجب بهبود کارایی مصرف آب، کاهش دمای خاک و رواناب و در نهایت افزایش عملکرد گندم دیم شود (Jessop & Stewart, 1999). علیجانی و همکاران (Alijani et al., 2010) در بررسی تأثیر روش‌های خاک‌ورزی (رایج و کاهش‌یافته) و مقادیر بقایای گیاهی ذرت دانه‌ای (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد) بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم به این نتیجه رسیدند که روش‌های خاک‌ورزی بر تعداد سنبله و بقایای گیاهی بر تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه اثر معنی‌داری داشت. حداکثر عملکرد دانه در تیمار خاک‌ورزی کاهش‌یافته و خارج نمودن بقایا به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۱۰۰ درصد بقایا نداشت. در تحقیقات انجام شده توسط مالکا و بلچارسزیک (Malecka & Bleharczyk, 2006) مشخص شد که عملکرد دانه جو در شرایط خاک‌ورزی حداقل و بدون خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی رایج به‌ترتیب هفت و ۱۲ درصد کم‌تر بود. یافته‌های سایر پژوهشگران در رابطه با اثر بلندمدت تناوب‌های زراعی مختلف و روش‌های خاک‌ورزی، بیانگر افزایش ۷۸ درصدی عملکرد گندم دیم در روش خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به روش خاک‌ورزی رایج است (El-Mejahed & Sander, 1998). در یک بررسی سه‌ساله در شمال غرب ایران و در شرایط کشت مداوم گندم توسط همت و اسکندری (Hemmat & Eskandari, 2006) مشاهده شد

فسفات تریپل استفاده شد. در سه تیمار استفاده از گاواهن قلمی، پنجه غازی و برگردان‌دار ابتدا خاک‌ورزی و یک نوبت دیسک انجام شد. سپس بذرپاشی و کودپاشی در سطح خاک با دست صورت گرفت. پس از آن بذرها و کودها مجدداً توسط دیسک با خاک مخلوط شدند. با توجه به نوع عملیات خاک‌ورزی، در تیمار خاک‌ورزی با گاواهن برگردان‌دار بقایای گیاهی کاملاً با خاک مخلوط شد. در تیمارهای خاک‌ورزی با گاواهن قلمی و پنجه‌غازی بقایای گیاهی تا حدودی با خاک مخلوط شد، ولی در تیمار بدون خاک‌ورزی بقایای گیاهی به‌طور کامل در سطح خاک باقی ماند. در سیستم بدون خاک‌ورزی عمل کشت بذر و توزیع کود به‌صورت مستقیم به‌وسیله بذرکار انجام شد و قبل از آن هیچ نوع عملیاتی در زمین صورت نگرفت.

در انتهای دوره رویش، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و صفات ارتفاع بوته، طول سنبله و تعداد دانه در سنبله تعیین شد. در زمان برداشت نیز پس از حذف نیم متر از هر طرف کرت به‌عنوان اثر حاشیه، عملکرد دانه، وزن هزار دانه و زیست‌توده گندم تعیین شد.

به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک علف‌های هرز، از کوادرات یک مترمربعی استفاده شد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی گندم، واحد نمونه‌برداری در داخل هر کرت پرتاب شد و علف‌های هرز داخل کوادرات جمع‌آوری و توزین گردیدند. نمونه‌ها، به‌مدت ۴۸ ساعت در داخل آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده و سپس وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد.

به‌منظور تعیین دانه‌بندی و توزیع خاک‌دانه‌ها در تیمارهای مختلف، از هر تیمار در پایان فصل رشد نمونه‌برداری خاک توسط اوگر از عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری خاک انجام شد. نمونه‌های خاک درون ظرف‌های پلاستیکی ریخته شده و پس از خشک شدن در هوای آزاد به آزمایشگاه منتقل شدند. از هر نمونه خاک ۵۰۰ گرم وزن و به‌وسیله الک‌های دو و نیم میلی‌متری به‌مدت ۵۰ ثانیه با دست الک شدند. پس از الک شدن نمونه‌ها، خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر و کوچک‌تر از نیم میلی‌متر در تیمارهای مختلف تعیین و درصد وزنی آن‌ها مشخص شد (Kemper & Rosenau, 1986).

برای تعیین توزیع و ثبات خاک‌دانه‌ها در حالت مرطوب از روش تیسدال و ادس (Tisdal & Oads, 1982) استفاده شد، بدین‌صورت که ۲۰۰ گرم از خاک هر نمونه توزین و در ظروف آلومینیومی با آب به‌حالت اشباع رسانیده شد. سپس هر نمونه توسط الک‌های دو و نیم

که عملکرد دانه، در تیمار بدون خاک‌ورزی در شرایط نگهداری کامل بقایای گیاهی، به‌میزان ۴۲۰ کیلوگرم در هکتار بیش‌تر از خاک‌ورزی رایج بود که این امر به نگهداری بیشتر آب توسط بقایای گیاهی نسبت داده شده است. طبق گزارش قبادپور و خورگامی (Ghobadpour & Khourgami, 2008) عملیات خاک‌ورزی به‌وسیله گاواهن قلمی، سبب افزایش نفوذ و ذخیره‌سازی رطوبت خاک و نیز افزایش ارتفاع بوته، تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و در نهایت، افزایش عملکرد در گل‌رنگ شد. (*Carthamus tinctorius* L.)

هدف از اجرای این آزمایش، بررسی تأثیر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی حفاظتی بر دانه‌بندی خاک، وزن مخصوص ظاهری خاک، رطوبت خاک، عملکرد و اجزای عملکرد گندم در مقایسه با خاک‌ورزی رایج بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی در تناوب آیش-گندم دیم بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم دیم آزمایشی در دو سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ در شهرستان شیروان انجام شد. تیمارهای بقایای گیاهی در سال اول اعمال شد و زمین به‌صورت آیش باقی ماند و کشت در سال دوم انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل نوع سیستم خاک‌ورزی (بدون خاک‌ورزی، خاک‌ورزی با گاواهن قلمی، خاک‌ورزی با پنجه غازی و خاک‌ورزی رایج با گاواهن برگردان‌دار) و مدیریت بقایای گیاهی شامل نگهداری بقایا به‌میزان هفت تن در هکتار، سه‌ونیم تن در هکتار و حذف کامل بقایا بود. جهت اعمال تیمارهای بقایای گیاهی مقدار بقایا برای هر کرت، وزن شده و در سطح کرت پخش شد. در تیمارهای حذف کامل بقایای گیاهی کلیه بقایای به‌جا مانده از سال قبل جمع‌آوری و از داخل کرت خارج شدند. آزمایش به‌صورت کرت‌های نواری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی بود که در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای خاک‌ورزی در نوارهای عمودی و بقایای گیاهی در نوارهای افقی قرار گرفتند. فاصله بین تکرارها پنج متر و فاصله بین نوارهای افقی و نوارهای عمودی یک متر در نظر گرفته شد. طول هر کرت ۱۰ متر و عرض هر کرت پنج متر بود. بذر مورد استفاده رقم گندم آذر ۲ بود که به‌مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. کودهای شیمیایی بر مبنای ۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر

اردیبهشت سال ۱۳۹۴ از تمامی تیمارها حجم مشخصی از نمونه خاک به صورت دست نخورده از عمق ۱۰-۲۰ و ۱۰-۲۰ سانتی متری برداشت شد. نمونه ها در قوطی های آلومینیومی به آزمایشگاه منتقل و پس از تعیین وزن تر، به مدت ۲۴ ساعت در درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتی گراد در داخل کوره الکتریکی نگهداری شدند. پس از این مدت وزن خشک نمونه ها اندازه گیری و به دلیل مشخص بودن حجم نمونه ها، وزن مخصوص ظاهری خاک محاسبه شد (Hakimian, 1980). با توجه به مشخص بودن وزن مخصوص ظاهری خاک هر نمونه و نیز چگالی خاک که معادل ۲/۶۵ گرم بر سانتی متر مکعب می باشد، تخلخل خاک هر نمونه با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد (Hakimian, 1980).

$$\text{معادله (۱)} \\ 100 \times (\text{وزن مخصوص ظاهری} / (\text{چگالی ذرات خاک} - 1)) = \text{تخلخل خاک}$$

میلی متری به مدت ۵۰ ثانیه در داخل یک بشکه ۵۰ لیتری آب به صورت عمودی الک شدند. بدین صورت که نمونه انتخابی داخل الک بالایی ریخته شده و الک ها به صورت عمودی در داخل آب به آرامی به بالا و پائین حرکت داده شدند. سپس، خاک دانه های باقی مانده در بالای هر الک به داخل ظرف دیگری منتقل و در کوره الکتریکی در درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتی گراد به مدت دو ساعت خشک و پس از آن توزین شده و درصد وزنی خاک دانه های بزرگ تر و کوچک تر از نیم میلی متر محاسبه شد.

به منظور بررسی وضعیت رطوبت خاک در تیمارهای مختلف در پایان سال آیش و در زمان برداشت نیز از عمق صفر تا ۲۰ سانتی متری خاک، نمونه برداری و بلافاصله وزن تر آن ها تعیین گردید. سپس نمونه ها به آون منتقل شده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد نگهداری و بعد از آن وزن خشک نمونه ها و درصد وزنی رطوبت خاک اندازه گیری و محاسبه گردید.

به منظور تعیین وزن مخصوص ظاهری و تخلخل خاک در

جدول ۱- میزان بارندگی و متوسط دمای ماه های مختلف در دو سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳

Table 1- Mean precipitation and air temperature of different months in two years of 2013-14 and 2014-15

ماه ها Months	دما Temperature (°c)		بارندگی Precepitation (mm)	
	2013-2014	2014-2015	2013-2014	2014-2015
مهر Sept.-Oct.	17.6	15.6	2.6	24.2
آبان Oct.-Nov.	11.5	6.4	5.4	54.4
آذر Nov.-Dec.	4.5	2.9	21.6	5
آذر Dec.-Jan.	0.8	2.7	5.2	37
دی Jan.-Feb.	1.1	3.5	0	92.2
بهمن Feb.-March	6.9	5.1	29.8	76
اسفند March-April	11.2	15.5	52.2	3.4
فروردین April-May	18	16.8	82.6	23
اردیبهشت May-June	22.5	23.4	1	1
خرداد June-July	25.6	25.3	0	0
تیر July-Aug.	25.8	24	0	0
مرداد Aug.-Sept.	23.2	19.4	0	0

قلمی و پنجه‌غازی به دلیل خاک‌ورزی سطحی در این دو تیمار می‌باشد. نظر به همبستگی منفی تخلخل خاک با وزن مخصوص ظاهری خاک (Azimzadeh et al., 2002 b)، تخلخل خاک دقیقاً از روندی برخلاف وزن مخصوص ظاهری تبعیت نمود (شکل ۲).

اثر بقایای گیاهی نیز بر وزن مخصوص ظاهری خاک معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$) (جدول ۲). کمترین وزن مخصوص ظاهری خاک در تیمار مصرف هفت تن در هکتار بقایای گیاهی مشاهده شد که به صورت معنی‌داری از تیمار بدون بقایا و تیمار مصرف سه‌ونیم تن در هکتار بقایا کمتر بود ($1/0.8$ گرم بر سانتی‌متر مکعب) (شکل ۳). دلیل این موضوع بقایای بیشتر در خاک بوده که باعث تخلخل بیشتر شده است (شکل ۴). بقایای گیاهی در خاک باعث افزایش مواد آلی شده و مواد آلی خاک باعث دانه‌بندی بهتر خاک می‌شود (Haynes & Swift, 1990). بهبود دانه‌بندی خاک تخلخل آن را افزایش داده و باعث کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک می‌شود (Azimzadeh et al., 2002 b).

عمق خاک نیز تأثیر معنی‌داری بر وزن مخصوص ظاهری و تخلخل خاک داشت ($P \leq 0.05$) (جدول ۲). وزن مخصوص ظاهری خاک در عمق ۱۰-۲۰ سانتی‌متری خاک $1/0.4$ و در عمق ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متری خاک $1/2.1$ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود که به به هم خوردگی کمتر لایه‌های پائین تر خاک برمی‌گردد.

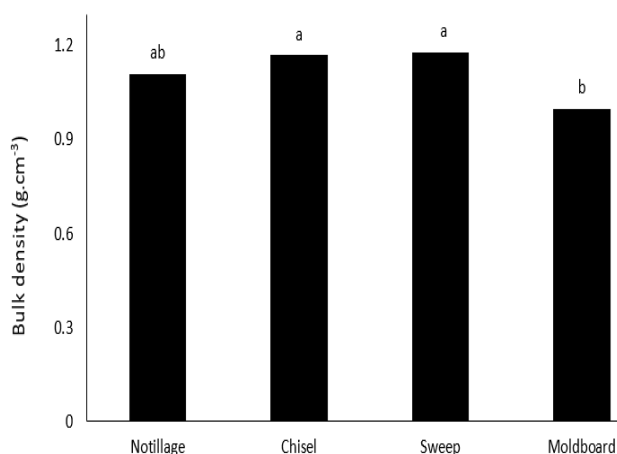
داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C آنالیز و میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن مورد مقایسه قرار گرفتند. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار EXCEL استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر سیستم‌های خاک‌ورزی و بقایای گیاهی بر وزن مخصوص ظاهری و تخلخل خاک

نتایج تجزیه واریانس وزن مخصوص ظاهری و تخلخل خاک در جدول ۲ ارائه شده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، اثر سیستم‌های خاک‌ورزی بر وزن مخصوص ظاهری خاک معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$). گرچه تفاوت بین وزن مخصوص ظاهری خاک در سیستم خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار و سیستم بدون خاک‌ورزی معنی‌دار نبود، ولی کمترین وزن مخصوص ظاهری خاک در سیستم خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار مشاهده شد (شکل ۱) که دلیل آن اعمال خاک‌ورزی عمیق و به هم خوردن سخت‌لایه در خاک می‌باشد. این موضوع توسط عظیم‌زاده و همکاران نیز گزارش شده است (Azimzadeh et al., 2002 a). پایین بودن وزن مخصوص ظاهری خاک در سیستم بدون خاک‌ورزی در مقایسه با دو سیستم خاک‌ورزی با گاوآهن قلمی و پنجه‌غازی به رفت و آمد کمتر ماشین‌آلات کشاورزی برمی‌گردد. وزن مخصوص ظاهری بالای خاک در دو سیستم خاک‌ورزی با گاوآهن



شکل ۱- اثر سیستم‌های خاک‌ورزی بر وزن مخصوص ظاهری خاک

Fig. 1- Effect of tillage systems on soil bulk density

میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Means with similar letters have not significant different based on Duncans' test.

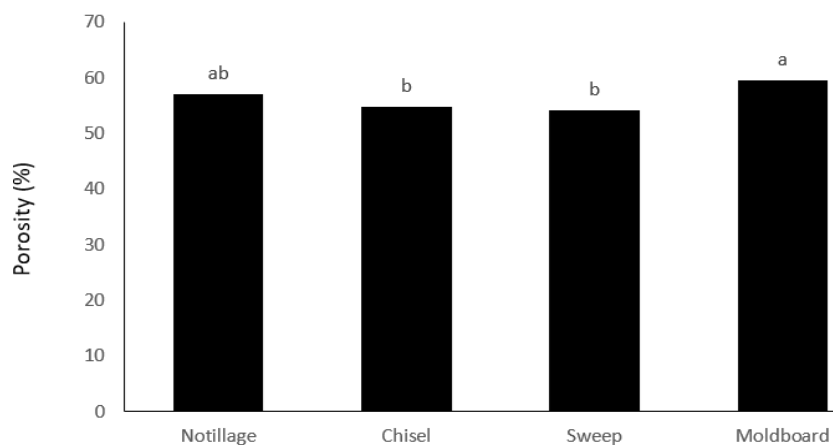
جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) وزن مخصوص ظاهری و تخلخل خاک تحت تأثیر نوع سیستم خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی

Table 2- Analysis of variance (mean of square) of soil bulk density and porosity affected by tillage systems and residue management

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	وزن مخصوص ظاهری Bulk density	تخلخل Porosity
تکرار Replications	2	0.009	9.79
سیستم خاک‌ورزی Tillage systems (A)	3	0.073**	106.3**
خطا Error (A)	6	0.008	8.98
مدیریت بقایای گیاهی Residue management (B)	2	0.04**	72.13*
خطا Error (B)	4	0.003	7.82
A×B	6	0.007 ^{ns}	8.18 ^{ns}
خطا Error	12	0.008	12.5
عمق خاک Soil depth (C)	1	0.483**	713.9**
A×C	3	00.5 ^{ns}	5.7 ^{ns}
B×C	2	00.7 ^{ns}	7.28 ^{ns}
A×B×C	6	0.001 ^{ns}	3.73 ^{ns}
خطا Error	24	0.003	4.79
ضریب تغییرات CV (%)		4.6	3.8

ns, *, **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, *, **: Non significant and significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

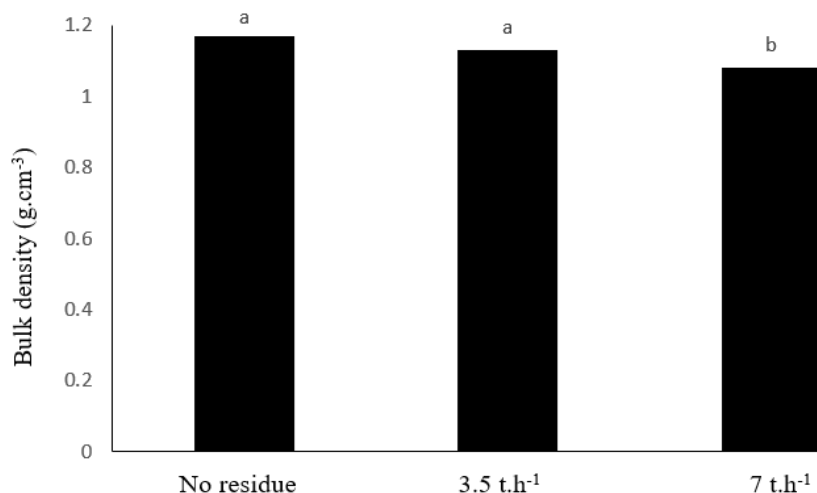


شکل ۲- اثر سیستم‌های خاک‌ورزی بر تخلخل خاک

Fig. 2- Effect of tillage systems on soil porosity

میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Means with similar letters have not significant different based on Duncan's test.

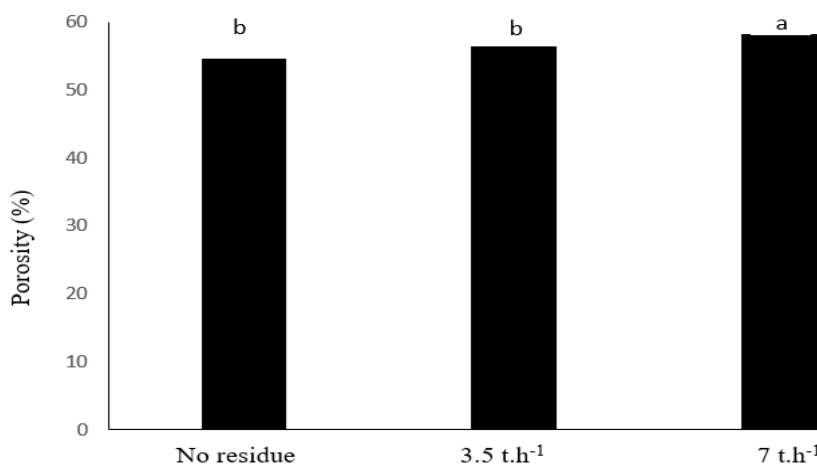


شکل ۳- اثر بقایای گیاهی بر وزن مخصوص ظاهری خاک

Fig. 3- Effect of plant residue on soil bulk density

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Means with similar letters in each column have not significant different based on Duncans' test.



شکل ۴- اثر بقایای گیاهی بر تخلخل خاک

Fig. 4- Effect of plant residue on soil porosity

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Means with similar letters in each column have not significant different based on Duncans' test.

نگهداری هفت تن بقایای گیاهی در هکتار مشاهده شد (جدول ۳). کمترین مقدار خاک‌دانه‌های کوچک‌تر از نیم میلی‌متر نیز در حالت الک مرطوب در تمامی سیستم‌های خاک‌ورزی در تیمار نگهداری هفت تن در هکتار بقایای گیاهی مشاهده شد (جدول ۴) که دلیل آن وجود موادآلی بیشتر در این تیمار بقایای گیاهی می‌باشد.

اثر سیستم‌های خاک‌ورزی و بقایای گیاهی بر توزیع خاک‌دانه‌ها

اثر متقابل سیستم‌های خاک‌ورزی و بقایای گیاهی بر خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر از نیم و کوچک‌تر از نیم میلی‌متر در حالت الک نمودن مرطوب معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$). بیشترین مقدار خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر از نیم میلی‌متر در تمامی سیستم‌های خاک‌ورزی در تیمار

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خصوصیات فیزیکی خاک تحت تأثیر نوع سیستم خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی
Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of soil physical properties affected by tillage systems and residue management

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	الک مرطوب Wet sieving		الک خشک Dry sieving		رطوبت خاک در زمان برداشت Soil moisture at harvest time
		خاک‌دانه‌های کوچک‌تر از خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر از نیم میلی متر		خاک‌دانه‌های کوچک‌تر از خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر از نیم میلی متر		
		Aggregates> 0.5 mm	Aggregates< 0.5 mm g	Aggregates> 0.5 mm	Aggregates< 0.5 mm	
تکرار Replications	2	3.6	13.75	88.3	12.6	69.6
نوع سیستم خاک‌ورزی Tillage systems (A)	3	590.3**	603*	2425.2**	546.8**	34.99 ^{ns}
خطا Error (A)	6	24	134.4	37.9	24.4	37.3
مدیریت بقایای گیاهی Residue management (B)	2	1492.8**	1455.4**	18.4.6**	10.79 ^{ns}	99.3*
خطا Error (B)	4	11.87	10.5	85.3	10.73	10.6
A×B	6	610.6**	602.5**	1125**	136.76**	36.3 ^{ns}
خطا Error	12	4.14	106.1	110.9	28.95	36.9
ضریب تغییرات CV (%)		6.4	6	2.5	7.4	20

ns, *, **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد
ns, *, **: Non significant and significant at 5% and 1% levels of probability respectively.

گیاهی نشان ندادند (جدول ۵). خاک‌دانه‌های کوچک‌تر از نیم میلی‌متر در سیستم خاک‌ورزی برگردان‌دار در تیمار بدون بقایای گیاهی کمتر از بقیه تیمارهای خاک‌ورزی بود، گرچه اختلاف آن با سیستم خاک‌ورزی قلمی معنی‌دار نبود. زمانی که ۳/۵ تن در هکتار بقایای گیاهی در سطح خاک نگهداری شد، مقدار خاک‌دانه‌های کوچک‌تر از نیم میلی‌متر در تیمار خاک‌ورزی برگردان‌دار ۱۱ درصد و از بقیه تیمارها کمتر بود. مقدار خاک‌دانه‌های کوچک‌تر از نیم میلی‌متر در خاک‌ورزی برگردان‌دار زمانی که هفت تن در هکتار بقایا در سطح خاک نگهداری شد، ۱۳ درصد و از بقیه تیمارها کمتر بود، گرچه اختلاف آن با تیمارهای پنجه‌غازی و قلمی معنی‌دار نبود. کمتر بودن خاک‌دانه‌های کوچک‌تر از نیم میلی‌متر در سیستم خاک‌ورزی برگردان‌دار کمی دور از انتظار است، چون با نیرویی که گاواهن برگردان‌دار به خاک وارد می‌کند، انتظار می‌رود خاک پودر شده و مقدار خاک‌دانه‌های ریز بیشتر شود، ولی وین و ریمبالت کمترین مقدار

وجود مواد آلی در خاک باعث بهبود دانه‌بندی خاک و پایداری آن‌ها در مقابل آب خواهد شد. مواد آلی به دلیل ایجاد اتصال میان ذرات کوچک باعث تشکیل خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر و پایدار در آب می‌گردد که قدرت کافی را جهت مقابله با پراکنده شدن توسط آب دارا هستند (Wanas et al., 2006). وقتی خاک‌دانه‌ها در داخل آب قرار می‌گیرند، آب از کلیه جهات وارد خاک‌دانه‌ها شده و هوای درون خاک‌دانه‌ها را فشرده می‌نماید. خاک‌دانه‌هایی که نتوانند فشار حاصله از تراکم هوای درونی را تحمل کنند متلاشی و تبدیل به خاک‌دانه‌های ریزتر می‌گردند، بنابراین بالاتر بودن مقدار خاک‌دانه‌های درشت‌تر و کمتر بودن خاک‌دانه‌های ریزتر، بیانگر پایداری بیشتر خاک‌دانه‌ها در مقابل آب می‌باشد (Hakiman, 1980; Haynes & Swift, 1990; Karlen et al., 1994). در حالت الک نمودن خشک، خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر از نیم میلی‌متر اختلاف معنی‌داری در تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و بقایای

خاک‌دانه‌های ریز را در سیستم بدون خاک‌ورزی گزارش نموده‌اند (Vyn & Raimbault, 1993).

جدول ۴- توزیع خاک‌دانه‌ها (درصد) تحت تأثیر سیستم‌های خاک‌ورزی و بقایای گیاهی در حالت الک نمودن مرطوب

Table 4- Aggregates distribution (%) affected by tillage systems and residue in wet sieving condition

سطوح بقایای گیاهی Crop residue rates (t.ha ⁻¹)	سیستم‌های خاک‌ورزی Tillage systems	خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر از نیم میلی‌متر Aggregates > 0.5 mm		خاک‌دانه‌های کوچک‌تر از نیم میلی‌متر Aggregates < 0.5 mm	
بدون بقایا No residue	بدون خاک‌ورزی	No tillage	10 ^{de*}	90 ^{ab}	
	قلمی	Chisel	8.5 ^e	91 ^a	
	پنجه‌غازی	Sweep	10 ^{de}	89.5 ^{ab}	
	برگردان‌دار	Moldboard	9 ^{de}	90.5 ^{ab}	
3.5	بدون خاک‌ورزی	No tillage	11.5 ^d	88 ^{ab}	
	قلمی	Chisel	11 ^{de}	88.5 ^{ab}	
	پنجه‌غازی	Sweep	19.5 ^c	80 ^c	
	برگردان‌دار	Moldboard	9 ^{de}	90.5 ^{ab}	
7	بدون خاک‌ورزی	No tillage	18.5 ^{cd}	81 ^{ab}	
	قلمی	Chisel	24 ^b	76 ^{bc}	
	پنجه‌غازی	Sweep	34.5 ^a	65 ^{ab}	
	برگردان‌دار	Moldboard	19.5 ^c	80 ^{ab}	

* در هر ستون اعدادی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌دار ندارند.

* Means in each column that at least contain a same letter are not significant at 5% level of probability based on Duncan's test.

الک نمودن مرطوب در تمامی سیستم‌های خاک‌ورزی در نگهداری هفت تن در هکتار بقایای گیاهی اتفاق افتاد که این موضوع بیانگر تأثیر بقایای گیاهی بر دانه‌بندی خاک می‌باشد که تأثیر زیادی در نفوذ و ذخیره رطوبت در خاک دارد. اثر متقابل نوع سیستم خاک‌ورزی و بقایای گیاهی بر رطوبت خاک معنی‌دار نبود (جدول ۳).

اثر سیستم‌های خاک‌ورزی و بقایای گیاهی بر وزن خشک علف‌های هرز

اثر سیستم‌های خاک‌ورزی بر وزن خشک علف‌های هرز معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$)، در حالی که تیمار مدیریت بقایای گیاهی اثر معنی‌داری بر وزن خشک علف‌های هرز نشان نداد. اثر متقابل نوع سیستم خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی بر وزن خشک علف‌های هرز معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$) (جدول ۶).

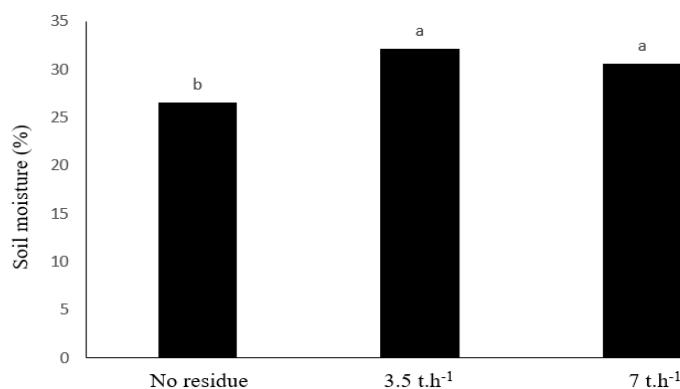
اثر سیستم‌های خاک‌ورزی و بقایای گیاهی بر رطوبت خاک

اثر تیمارهای خاک‌ورزی بر میزان رطوبت خاک معنی‌دار نبود. اثر بقایای گیاهی بر رطوبت خاک نیز در پایان دوره آیش به دلیل بارندگی اندک منطقه در این سال معنی‌دار نبود (جدول ۱)، ولی در سال دوم و در زمان برداشت محصول، تیمارهای بقایای گیاهی تأثیر معنی‌داری بر رطوبت خاک نشان دادند. همان‌گونه که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود، تیمار نگهداری هفت و ۳/۵ تن در هکتار بقایای گیاهی در مقایسه با تیمار بدون بقایا به ترتیب ۱۳ و ۱۷/۴ درصد رطوبت بیشتری در خاک ذخیره نمودند. مواد آلی خاک می‌تواند پایداری خاک‌دانه‌ها، نفوذپذیری و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک را باعث گردد که این موضوع به‌طور آشکاری باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود (Pagliai et al., 1981). همان‌گونه که پیشتر ذکر شد بیشترین مقدار خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر از نیم میلی‌متر در الک نمودن خشک و کمترین مقدار خاک‌دانه‌های کوچک‌تر از نیم میلی‌متر در

جدول ۵- توزیع خاکدانه‌ها (درصد) تحت تأثیر سیستم‌های خاک‌ورزی و بقایای گیاهی در حالت الک نمودن خشک
 Table 5- Aggregates distribution (%) affected by tillage systems and residue in dry sieving condition

سطوح بقایای گیاهی Crop residue rates (t.ha ⁻¹)	سیستم‌های خاک‌ورزی Tillage systems	خاکدانه‌های بزرگ‌تر از نیم میلی‌متر Aggregates > 0.5mm	خاکدانه‌های کوچک‌تر از نیم میلی‌متر Aggregates < 0.5mm
بدون بقایا No residue	بدون خاک‌ورزی No tillage	83.8 ^{a*}	16 ^a
	قلمی Chisel	85 ^a	14.4 ^{ab}
	پنجه‌غازی Sweep	83 ^a	16.4 ^a
	برگردان‌دار Moldboard	86 ^a	13.8 ^{bc}
3.5	بدون خاک‌ورزی No tillage	84.7 ^a	15 ^{ab}
	قلمی Chisel	84 ^a	15.6 ^a
	پنجه‌غازی Sweep	84 ^a	15.6 ^a
	برگردان‌دار Moldboard	89 ^a	11 ^c
7	بدون خاک‌ورزی No tillage	84 ^a	16 ^a
	قلمی Chisel	85 ^a	14.4 ^{ab}
	پنجه‌غازی Sweep	85 ^a	14.4 ^{ab}
	برگردان‌دار Moldboard	87 ^a	13 ^{bc}

* در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.
 * Means in each column that at least contain a same letter are not significant at 5% level of probability based on Duncan's test.



شکل ۵- اثر بقایای گیاهی بر میزان رطوبت خاک

Fig. 5- Effect of plant residue on soil moisture

میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Means with similar letters have not significant different based on Duncans' test.

پژوهش ۱۳ ساله در مرکز تحقیقات بین‌المللی ایکاردا نیز وجود علف‌های هرز بیشتری در سیستم بدون خاک‌ورزی گزارش شده است (Azimzadeh et al., 2002 b). گرچه وزن خشک علف‌های هرز در تیمار نگهداری هفت تن در هکتار بقایای گیاهی در دو سیستم خاک‌ورزی با گاواهن قلمی و پنجه‌غازی در مقایسه با عدم نگهداری بقایا کمتر بود، ولی وزن خشک علف‌های هرز در تیمارهای مختلف بقایای گیاهی در دو سیستم خاک‌ورزی با گاواهن قلمی و پنجه‌غازی از روند خاصی تبعیت نکرد. گاواهن برگردان‌دار تأثیر بسیار چشمگیری

وزن خشک علف‌های هرز در سیستم بدون خاک‌ورزی در تمامی سطوح بقایای گیاهی بیش از سایر تیمارها بود و در سیستم بدون خاک‌ورزی نگهداری بقایای گیاهی باعث کاهش معنی‌دار علف‌های هرز شد، ولی اختلاف معنی‌داری بین دو تیمار هفت تن بقایا در هکتار و ۳/۵ تن بقایا در هکتار مشاهده نشد (شکل ۶). به نظر می‌رسد که نگهداری بقایای گیاهی می‌تواند از طریق جلوگیری از رسیدن نور و ایجاد پوششی بر روی علف‌های هرز و سرد نگه‌داشتن خاک باعث تأخیر در جوانه‌زنی شده و تا حدی مانع از رشد آن‌ها شوند. در یک

بر کنترل علف‌های هرز داشت. گاوآهن برگردان‌دار به دلیل قطع نمودن ریشه علف‌های هرز، مخصوصاً علف‌های هرز چندساله همانند تلخه (*Acroptilon repense*) که علف هرز غالب در تیمارهای این آزمایش بود، به خوبی تراکم علف‌های هرز را در هر سه تیمار بقایای گیاهی کاهش داد. به دلیل اثر شاخص کنترل علف‌های هرز توسط تیمار خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار نقش بقایای گیاهی در کنترل علف‌های هرز در این سیستم خاک‌ورزی قابل توجه نبود.

اثر سیستم‌های خاک‌ورزی و بقایای گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

نتایج تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد گندم در جدول ۶ ارائه شده است.

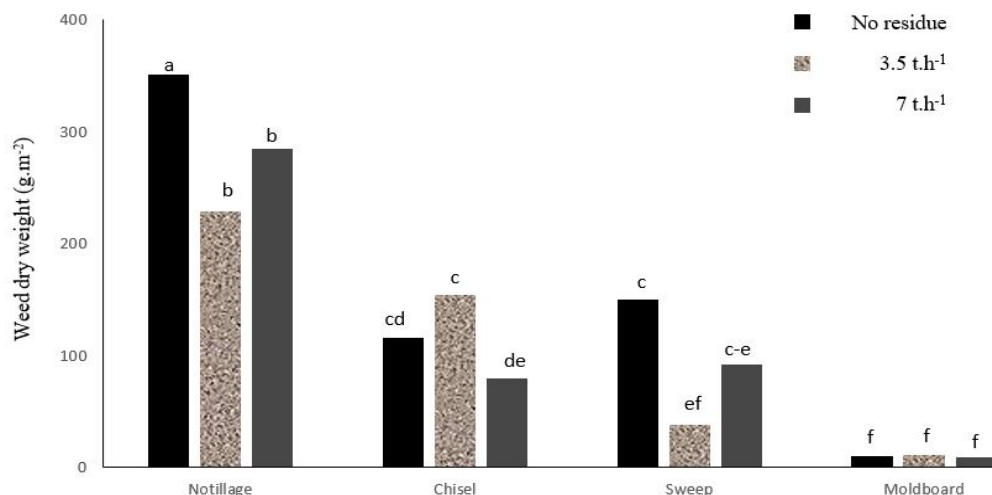
همان‌گونه که مشاهده می‌شود، اثر نوع سیستم خاک‌ورزی ($P \leq 0.05$) و اثرات متقابل نوع سیستم خاک‌ورزی و مدیریت بقایای

گیاهی بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$). بیشترین ارتفاع بوته در نگهداری هفت و $3/5$ تن در هکتار بقایای گیاهی در تیمار خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار مشاهده شد (شکل ۷) که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند، ولی تفاوت این دو تیمار با تیمار بدون بقایا به ترتیب $14/5$ و $17/8$ درصد بود (شکل ۷). به نظر می‌رسد ارتفاع بیشتر بوته در تیمارهای خاک‌ورزی برگردان‌دار همراه با حفظ بقایا به دلیل بهبود شرایط خاک برای رشد گیاه باشد. اختلاط بقایای گیاهی با خاک در سیستم خاک‌ورزی برگردان‌دار باعث افزایش تخلخل خاک و کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک شده (شکل‌های ۱ و ۲) و محیط مناسبی برای گسترش ریشه فراهم نموده است. عظیم‌زاده و همکاران (Azimzadeh et al., 2002 a) نیز افزایش تخلخل و کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک در خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار را گزارش نموده‌اند.

جدول ۶- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده گندم دیم تحت تأثیر نوع سیستم خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی
Table 6- Analysis of variance (mean of squares) of measured traits of rainfed wheat affected by tillage system and residue management

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	وزن خشک علف‌های هرز Weeds dry weight	ارتفاع بوته Plant height	تعداد سنبله در مترمربع Number of spike.m ⁻²	تعداد دانه در سنبله Number of seeds.spike ⁻¹	وزن هزار دانه 1000- seed weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد زیست‌توده Biological yield	شاخص برداشت Harvest Index
تکرار Replications	2	26352.44	26352.44	14026.36	51.01	2.287	833641.08	326889.1	30.4
نوع سیستم خاک‌ورزی Tillage system (A)	3	123006.7*	1239020*	7960.69**	33.02 ^{ns}	15.96 ^{ns}	895734.29*	3243677.2*	44.1 ^{ns}
خطا Error (A)	6	21373.7	21373.7	966.58	4.77	7.31	192859.04	424019.8	41.2
مدیریت بقایای گیاهی Residue management (B)	2	8078.5 ^{ns}	8078.5 ^{ns}	1520.19 ^{ns}	0.231 ^{ns}	4.10 ^{ns}	251795.2	4040456.19**	43.8 ^{ns}
خطا Error (B)	4	3152.06	3152.06	735.11	6.28	11.16	205226.58	256507	53.
A × B	6	5607.565**	5607.56**	1246.19**	11.25 ^{ns}	1.61 ^{ns}	114889.3 ^{ns}	446318.9 ^{ns}	23.8 ^{ns}
خطا Error	12	1186.27	1186	297.16	11.53	12.24	45955.32	254581.3	22.1
ضریب تغییرات CV (%)		27	27	8.8	15.6	7	11.9	7.9	16

ns, *, **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.
ns, *, **: Non significant and significant at 5% and 1% levels of probability respectively.

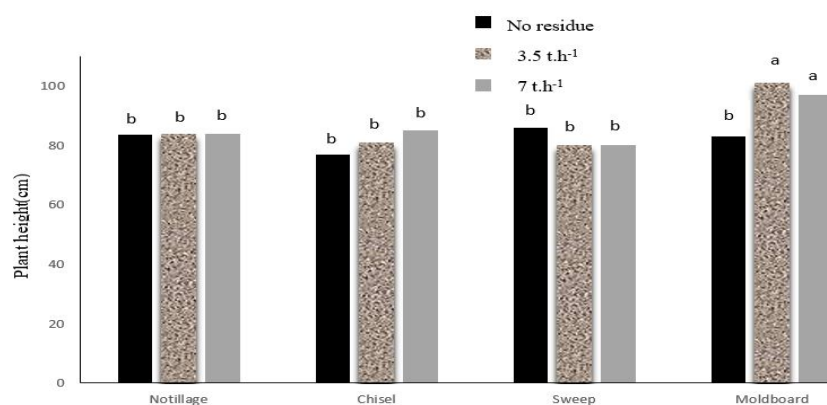


شکل ۶- اثر متقابل سیستم‌های خاک‌ورزی و بقایای گیاهی بر وزن خشک علف‌های هرز

Fig. 6- Interaction effect of tillage systems and plant residue on dry weight of weeds

میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Means with similar letters have not significant different based on Duncans' test.



شکل ۷- اثر متقابل تیمارهای خاک‌ورزی و بقایای گیاهی بر ارتفاع بوته گندم

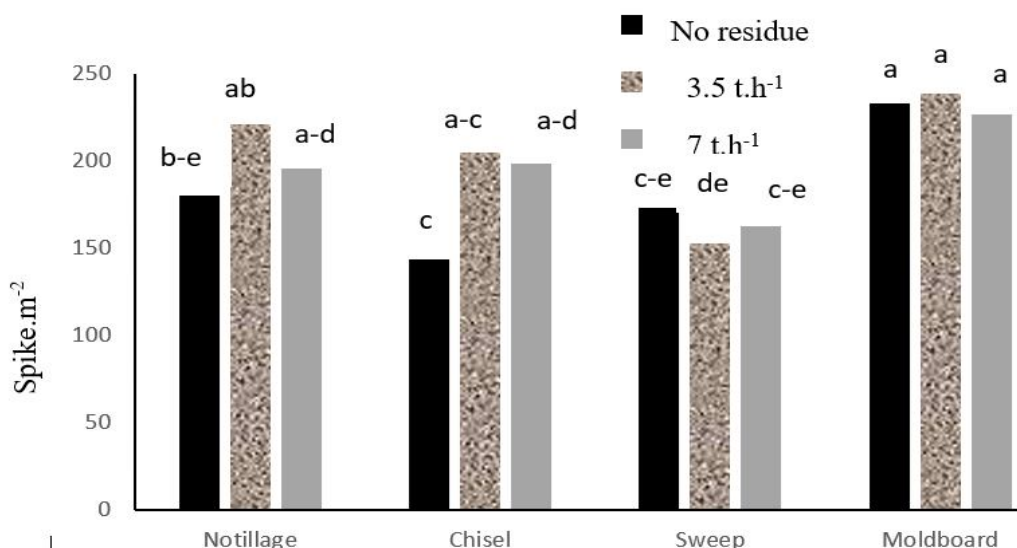
Fig. 7- Interaction effect of tillage and residue management on wheat plant height

میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Means with similar letters have not significant different based on Duncans' test.

بدون بقایای گیاهی مشاهده شد. تهیه بستر بذر مناسب در سیستم خاک‌ورزی برگردان‌دار می‌تواند دلیلی بر جوانه‌زنی و استقرار بهتر گیاهچه و در نتیجه، باعث افزایش تعداد سنبله در واحد سطح شده باشد (Zabolestani et al., 2008).

با توجه به اثرات متقابل معنی‌دار ($P \leq 0.01$) تیمارهای خاک‌ورزی و بقایای گیاهی بر تعداد سنبله در مترمربع (شکل ۸) ملاحظه می‌شود که تیمار خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار در هر سه سطح بقایای گیاهی در مقایسه با سایر تیمارها بیشترین تعداد سنبله در مترمربع را داشت. کمترین تعداد سنبله در واحد سطح در تیمار گاوآهن قلمی و



شکل ۸- اثر متقابل تیمارهای خاک‌ورزی و بقایای گیاهی بر تعداد سنبله گندم در واحد سطح

Fig. 8- Interaction effect of tillage and residue management on spike.m⁻²

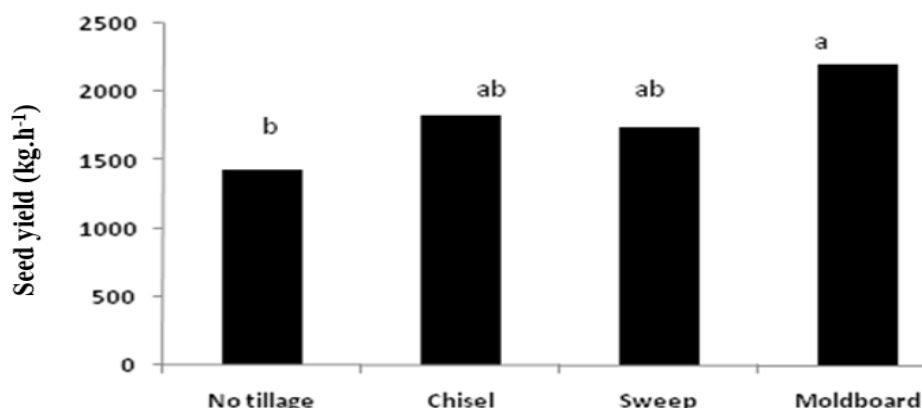
میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Means with similar letters have not significant different based on Duncan's test.

برگردان‌دار و بالاتر بودن تعداد سنبله در مترمربع به‌عنوان مهم‌ترین جزء عملکرد، می‌تواند دلیل دیگری برای افزایش عملکرد دانه در سیستم خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار باشد. نتایج تحقیقات دیگری نیز بیانگر عملکرد بیشتر دانه در سیستم خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار در مقایسه با سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی می‌باشد (Azimzadeh et al., 2002 a; Malecka & Bleharczyk, 2006).

تأثیر مدیریت بقایا و نیز اثر متقابل نوع سیستم خاک‌ورزی و مدیریت بقایا بر عملکرد دانه به‌لحاظ آماری معنی‌دار نشد (جدول ۶). اثر سیستم‌های خاک‌ورزی بر عملکرد زیست‌توده معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$) (جدول ۶) و بیشترین عملکرد زیست‌توده در شرایط خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار حاصل شد. هرچند که اختلاف این تیمار با دو تیمار خاک‌ورزی با گاوآهن قلمی و پنجه‌غازی معنی‌دار نبود (شکل ۱۰).

اثر سیستم‌های خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی بر تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه معنی‌دار نشد (جدول ۶). اثر نوع سیستم خاک‌ورزی بر عملکرد دانه گندم معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$) (جدول ۶) و بالاترین عملکرد دانه در شرایط خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار به‌دست آمد، عملکرد دانه در سیستم خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار نسبت به خاک‌ورزی با گاوآهن پنجه‌غازی، قلمی و سیستم بدون خاک‌ورزی به‌ترتیب ۲۰/۵، ۱۷ و ۳۵ درصد بالاتر بود. اختلاف موجود بین سیستم‌های خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار و خاک‌ورزی با گاوآهن پنجه‌غازی و قلمی به‌لحاظ آماری معنی‌دار نشد (شکل ۹). افزایش عملکرد دانه در سیستم خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار در مقایسه با سه سیستم دیگر خاک‌ورزی می‌تواند به‌دلیل پایین‌تر بودن وزن مخصوص ظاهری خاک در این سیستم باشد. همان‌گونه که پیشتر اشاره شد وزن مخصوص ظاهری خاک در سیستم خاک‌ورزی با گاوآهن برگردان‌دار به‌صورت معنی‌داری از سایر سیستم‌های خاک‌ورزی کمتر بود. پایین‌تر بودن وزن مخصوص ظاهری می‌تواند سبب تسهیل رشد و گسترش ریشه شده باشد. همچنین کمتر بودن وزن خشک علف‌های هرز در سیستم خاک‌ورزی با گاوآهن



شکل ۹- اثر سیستم‌های خاک‌ورزی بر عملکرد دانه گندم

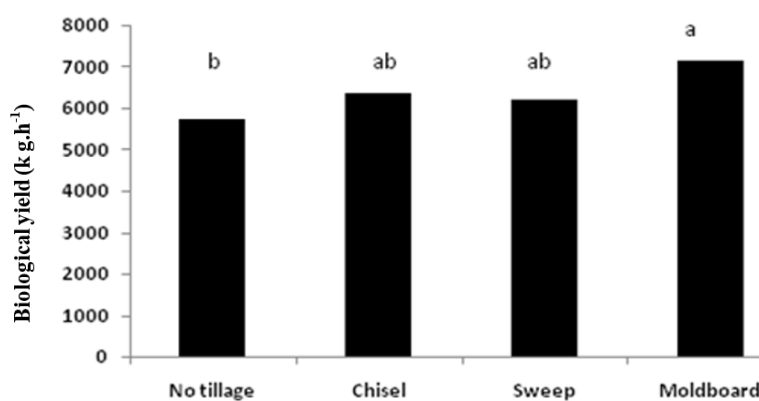
Fig. 9- Effect of tillage systems on wheat seed yield

میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Means with similar letters have not significant different based on Duncans' test.

برگردان‌دار و سیستم بدون خاک‌ورزی معنی‌دار نشده است. افزایش زیست‌توده در تیمار خاک‌ورزی با گاواهن برگردان‌دار در مقایسه با گاواهن پنجه‌غازی، قلمی و سیستم بدون خاک‌ورزی به ترتیب ۱۳/۶، ۱۱/۲ و ۲۰ درصد بود (شکل ۱۰). دلیل این افزایش عملکرد همان‌گونه که ذکر شد، وزن مخصوص ظاهری کمتر خاک، کنترل بهتر علف‌های هرز و تعداد سنبله بیشتر در واحد سطح در سیستم خاک‌ورزی با گاواهن برگردان‌دار بود.

سیستم خاک‌ورزی با گاواهن برگردان‌دار خاک را به‌طور کامل به هم می‌زند و آن را زیرورو می‌کند و در سیستم بدون خاک‌ورزی خاک اصلاً به هم نمی‌خورد، به همین دلیل اختلاف آن‌ها در اکثر موارد معنی‌دار است. در خاک‌ورزی با پنجه‌غازی لایه سطحی خاک به هم می‌خورد و گاواهن قلمی خاک را فقط شکاف داده و آن را به هم نمی‌زند. لذا سیستم‌های خاک‌ورزی قلمی و پنجه‌غازی حالت بینابینی دارند و به همین دلیل تفاوت آن‌ها با سیستم خاک‌ورزی با گاواهن



شکل ۱۰- اثر سیستم‌های خاک‌ورزی بر عملکرد زیست‌توده گندم

Fig. 10- Effect of tillage systems on wheat biological yield

میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن ندارند.

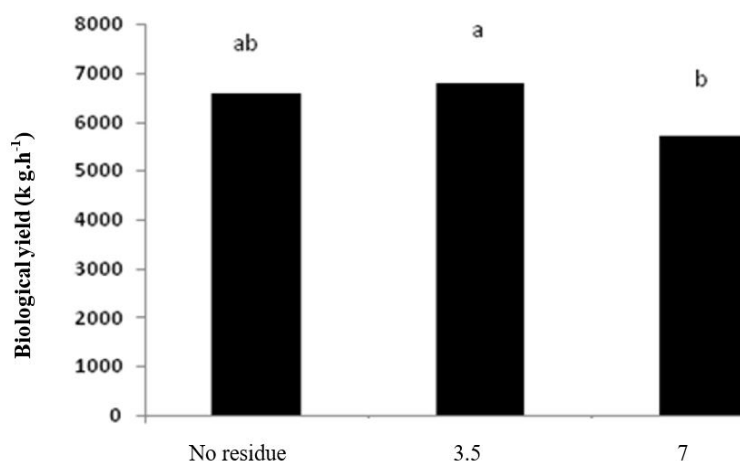
Means with similar letters have not significant different based on Duncans' test.

در هکتار بقایای گیاهی مشاهده شد که در مقایسه با عدم نگهداری بقایای گیاهی ۱۳/۵ درصد کمتر بود (شکل ۱۱). نگهداری ۳/۵ تن

اثر تیمار مدیریت بقایای گیاهی بر زیست‌توده گندم معنی‌دار بود ($P \leq 0.05$) (جدول ۶). کمترین زیست‌توده در تیمار نگهداری هفت تن

استفاده کرده که در نتیجه گیاه با کمبود نیتروژن مواجه شده و در نهایت، عملکرد زیست‌توده کاهش می‌یابد (Lal, 1995). شاخص برداشت تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار نگرفت (جدول ۶).

بقایای گیاهی در هکتار در مقایسه با عدم نگهداری بقایا اختلاف معنی‌داری نشان نداد. ریزجانداران موجود در خاک برای تجزیه بقایای گیاهی اضافه شده به خاک از نیتروژن سهل‌الوصول موجود در خاک



شکل ۱۱- اثر بقایای گیاهی بر عملکرد زیست‌توده گندم

Fig. 11- Effect of plant residue on wheat biological yield

میانگین‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن ندارند.

Means with similar letters have not significant different based on Duncans' test.

خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی برگردان‌دار، علت برتری خاک‌ورزی با گاواهن برگردان‌دار در مقایسه با سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی در این آزمایش می‌تواند تهیه بستر مناسب بذر، وزن مخصوص ظاهری پایین، تخلخل بیشتر خاک و تعداد بیشتر سنبله در واحد سطح در این تیمار خاک‌ورزی باشد. همچنین کنترل بسیار مؤثر علف‌های هرز مخصوصاً علف هرز تلخه در خاک‌ورزی با گاواهن برگردان‌دار می‌تواند یکی دیگر از دلایل مهم افزایش عملکرد در این تیمار باشد. وزن خشک علف‌های هرز در تیمار خاک‌ورزی برگردان‌دار در زمان برداشت به‌صورت معنی‌داری از سایر تیمارهای خاک‌ورزی کمتر و نزدیک به صفر بود. به‌دلیل وجود علف‌های هرز چندساله و سمج همانند تلخه در منطقه، سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی حتی همراه با استفاده از علف‌کش هم نمی‌تواند رقیبی برای سیستم خاک‌ورزی برگردان‌دار باشد. گزارش‌های ضد و نقیضی در رابطه با تأثیر خاک‌ورزی برگردان‌دار بر عملکرد گندم در مقایسه با خاک‌ورزی‌های حفاظتی وجود دارد که می‌تواند ناشی از شرایط متفاوت آزمایش باشد. البته خاک‌ورزی‌های حفاظتی بیشتر از دیدگاه حفاظت خاک مطرح شده‌اند که در مقایسه با خاک‌ورزی‌های رایج

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که تیمارهای بدون خاک‌ورزی، خاک‌ورزی با گاواهن قلمی و پنجه‌غازی در مقایسه با خاک‌ورزی با گاواهن برگردان‌دار وزن مخصوص ظاهری بیشتر و تخلخل کمتری داشتند. بیشترین مقدار خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر از نیم میلی‌متر و کمترین مقدار خاک‌دانه‌های کوچک‌تر از نیم میلی‌متر در حالت الک نمودن مرطوب خاک، در تمامی سیستم‌های خاک‌ورزی در تیمار نگهداری هفت تن بقایای گیاهی در هکتار مشاهده شد. نگهداری بقایای گیاهی به‌صورت معنی‌داری رطوبت خاک را در زمان برداشت محصول افزایش داد. نگهداری بقایای گیاهی در سیستم بدون خاک‌ورزی، سبب کاهش وزن خشک علف‌های هرز گردید. کمترین وزن خشک علف‌های هرز در سیستم خاک‌ورزی با گاواهن برگردان‌دار و در تمام سطوح بقایای گیاهی مشاهده شد. عملکرد دانه در سیستم خاک‌ورزی با گاواهن برگردان‌دار به‌صورت معنی‌داری از سیستم بدون خاک‌ورزی بیشتر بود، ولی اختلاف معنی‌داری با دو سیستم خاک‌ورزی قلمی و پنجه‌غازی نداشت. علی‌رغم گزارش‌های زیادی مبنی بر برتری سیستم‌های

سپاسگزاری

بودجه این تحقیق از محل اعتبار طرح پژوهشی شماره ۲۶۴۱۱ مورخ ۱۳۹۲/۰۱/۲۱ توسط معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

برتری دارند که اثرات آن‌ها در مطالعات طولانی‌مدت بهتر قابل قضاوت می‌باشد، ولی نتایج این آزمایش برتری سیستم خاک‌ورزی برگردان‌دار را در مقایسه با سایر سیستم‌های خاک‌ورزی به‌وضوح نشان می‌دهد.

References

1. Azimzadeh, S.M., 2015. Soil physical properties after two years application of organic fertilizers in Safflower (*Carthamus tinctorius* L) planting. International Journal of Farming and Allied Sciences 4: 341-35
2. Azimzadeh, S.M., Koocheki, A., and Pala, M., 2002 a. Effect of different tillage systems on some soil physical and chemical characteristics. Journal of Research in Agricultural Sciences 2(1): 51-63.
3. Azimzadeh, S.M., Pala, M., and Koocheki, A., 2002 b. Effect of tillage systems on soil bulk density, porosity, soil moisture and wheat yield in dry land condition. Iranian Journal of Crop Sciences 4(3): 218-233. (In Persian with English Summary)
4. Abdollahi, F., Ghadiri, H., and Bohrani, J., 2009. Effect of tillage, wheat residue management and nitrogen on yield and yield components of mays. Journal of Iranian Agricultural Research 8(2): 336-346.
5. Alijani, K.H., Bahrani, M.H., and Kazemeini, A.R., 2010. Effects of tillage methods and rates of corn residues on winter wheat yield and yield components and soil organic carbon and nitrogen in relay cropping. In: Proceeding of 11th Iranian crop Science Congress. Tehran, Iran. (In Persian)
6. Arshadi Khamseh, A., Almasi, M., Reshad Sadeghi, A., and Ahmadi Adli, R., 2011. Effect of conservation tillage on irrigation planning and rapeseed yield. Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production 22(1): 39-48. (In Persian with English Summary)
7. Barzali, M., Javanshir, A., Shakiba, M.R., Moghaddam, M., and Nourinia, A., 2003. Effect of different tillage methods on yield and yield components of soybean in Gorgan region. Journal of Seedling and Seed 19(2): 173-189.
8. Blevins, R.L., Frye, W.W., Baldwin, P.L., and Robertson, S.D., 1990. Tillage effect on sediment and soluble nutrient losses from a Maury silt soil. Journal of Environmental Quality 19: 683-686.
9. Catizone, P., Tedeschi, M., and Baldoni, G., 1990. Influence of crop management on weed populations and wheat yield. Symposium on Integrated Weed Management in Cereals. In: Proceeding of an EWRS symposium Helsinki, Finland.
10. El-Mejahed, K., and Sander, D.H., 1998. Rotation, tillage and fertilizer effect on wheat-based rain food crop rotation in semiarid Morocco. Proceeding of Third European Conforance of Grain Legumes. In: Opportunities for high qualify, healthy and added value crops to meet European demands. Valladolid, Spain.
11. Fenster, C.R., Domingo, C.E., and Burnside, O.C., 1969. Weed control and plant residue maintenance with various tillage treatments in a winter wheat fallow rotation. Agronomy Journal 61: 250-259.
12. Ghobadpour, G., and Khouargami, A., 2008. Effect of different tillage methods and yield and yield components on rainfed safflower in Khorramabad region. Agricultural Journal 1(1): 59-69.
13. Hakimian, M., 1980. Fundamentals of Soil Science. 5th Edition. Tehran University Publication. Tehran, Iran. (In Persian)
14. Haynes, R.J., and Swift, R.S., 1990. Stability of soil aggregate in relation to organic constituent and soil water content. Journal of Soil Science 41:73-83.
15. Hemmat, A., and Eskandari, I., 2006. Dry and winter wheat response to conservation tillage in a continuous cropping system in northwest Iran. Soil and Tillage Research 86(1): 99-109
16. Houria. M., and Saci, C., 2012. The performances of durum wheat yield under tillage effect in semi-arid environment. Energy Procedia 18: 879-887.
17. Jessop, R.S., and Stewart, L.W., 1999. Effect of crop residues, soil type and temperature on emergence and early growth of wheat, Plant and Soil 74: 101-109
18. Karlen, D.L., Wollenhaup, N.C., Erbach, D.C., Berry, E.C., Swan, J.B., Each, N.S., and Jordahl, J.L., 1994. Long term tillage effect on soil quality. Soil and Tillage Research 32: 313-327
19. Kemper, W.D., and Rosenau, R.C., 1986. Aggregate stability and size distribution. In: A. Klute (Ed.). Methods of

- Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Madison, WI. P. 425-42.
20. Khosravani, A., Zareian, S., and Afzalnia, S., 2000. Effect of diferent tillage methods on irrigated wheat yield. Iranian Journal of Agricultural Sciences 31(2): 269-277. (In Persian with English Summary)
21. Koocheki, A., 2003. To Crops and Breeding in Dry Farming. Jihad of Mashhad University, Mashhad, Iran. 304 p. (In Persian)
22. Lal, R., 1995. The role of residues management in sustainable agriculturalsystems. Journal of Sustainable Agriculture 5(4): 51-76.
23. Malecka, I., and Blecharczyk, A., 2006. Effect of tillage systems: Mulches and nitrogen fertilizationon spring barley (*Hordeum vulgare*). Agronomy Research 6(2): 517-529
24. Mannering, J.V., Griffith, D.R., and Richey, C.B., 1975. Tillage for moisture conservation. American Society of Agriculture Engineering 75: 23-25.
25. Mohammadi, K., Nabiollahi, K., Agha Alikhani, M., and Khormali, F., 2009. Evaluation of the effect of different tillage methods on soil physical properties and yield and yield components of rainfed wheat. Journal of Plant Production Researches 16(4): 77-91. (In Persian with English Summary)
26. Pagliai, M., Guidi G., La Marca, M., Giachetti, M., and Lucamente, G., 1981. Effect of sewage sludge and compost on soil porosity and aggregation. Journal of Environmental Quality 10: 556-561.
27. Rabiee, M., and Rajabian, M., 2011. Effect of tillage systems and rice residue management on morphological treatments and fall rapeseed yield as second cropping after rice in Rasht. Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production 21(4): 105-121.
28. Tisdall, J.M., and Oades, J.M., 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. Journal of Soil Science 33: 141-163.
29. Vyn, T.J., and Raimbault, B.A., 1993. Long-term effect of five tillage systems on corn response and soil structure. Agronomy Journal 85: 1074-1079.
30. Wanas, S.H.A., and Orman, W.M., 2006. Advantages of applying various compost types to different layers of sandy soil: Journal of Applied Scientific Research 2(12): 1298-1303
31. Zabolstani, M., Reshad Sedghi, A., and Zamani, S., 2008. Evaluation and comparison of two superficial and conventional tillage methods in aspect of yield and yield components of wheat. Journal of Agricultural New Knowledge 4(12): 39-48.



Effect of Different Tillage Systems on Wheat (*Triticum aestivum* L.) Yield and some Soil Physical Characteristics in a Fallow-Wheat Rotation under Rainfed Condition

A. Koocheki^{1*}, M. Nassiri Mahallati¹ and S.J. Azimzadeh²

Submitted: 20-12-2015

Accepted: 24-09-2016

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Azimzadeh, S.J., 2020. Effect of different tillage systems on wheat yield and some soil physical characteristics in a fallow-wheat rotation under rainfed condition. Journal of Agroecology. 12(2):299-317.

Introduction

Climatic variation particularly for participation is a constraint for the crops to reach their potential productivity under rainfed conditions. Therefore soil moisture preservation by means of tillage practices and improvement of soil physical criteria, particularly through enhancement of organic matter content is crucial. For this reason soil tillage must be managed in a proper way in order to fulfill this objective. Use of the right implements for this purpose under rainfed conditions together with retention of crop residue are practices most suitable for low rainfall environments. Tillage operation has a great impact on soil properties such as soil particle stability, soil aggregate and also soil water holding capacity. There are good evidences regarding yield improvement under rainfed conditions when implements such as chisel plow and sweep plow is used. Reduced tillage has been referred to as a proper practice under such conditions and degrees of no to minimum tillage have been proposed. These types of tillage combined with retention of crop residue which is referred to as conservation agriculture is being received more attention for the sake of soil conservation and moisture preservation. The purpose of the present study was to investigate these type of management for a rainfed wheat-fallow rotation.

Materials and Methods

In order to study the effect of different tillage practices in fallow-wheat rotation and retention of crop residue on soil properties such as bulk density, soil aggregate, porosity, particle stability and moisture holding capacity and also crop criteria including yield, above ground biomass of wheat and weed under rainfed conditions, an experiment was conducted for two years (2013-2014 and 2014-2015 growing seasons) in Shirvan region, Northeast of Iran. The layout of experiment was strip plots based on a randomized complete block design and three replications. Tillage systems and retention of crop residue were the experimental factors with four levels of tillage (chisel, sweep, moldboard and no tillage) and three levels of crop residue retention (7, 3.5 t.ha⁻¹ and zero residue). Tisdal and Oades method used to determine the soil aggregates size distribution in dry and wet sieving conditions. To determine the soil bulk density, undisturbed samples were picked up from a depth of 0-10, and 10-20 cm and soil bulk density were determined after drying of soil in Oven for 48 hours at a temperature of 105°C. In order to evaluate the soil moisture at the end of the fallow year, sampling was done from each treatment in the depth of 0-20cm. During growth and after harvesting, the plant height, ear length, seed number per ear, thousand kernel weight, seed yield, and biological yield were determined.

Results and Discussion

Results showed that in general soil bulk density was higher at the depth of 0 to 10 cm compared with that at the depth of 10 to 20 cm for the experimental soil. Soil porosity followed a reverse trend of that of bulk density. Retention of crop residue caused a slower bulk density and a higher soil moisture content. Tillage with moldboard at different levels of crop residue retention caused lower weed biomass compared with other tillage operation. Soil practices size higher than 0.5 mm were respectively higher and lower with moldboard plow. Seed

1- Professor of Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

2- M.Sc. Graduated Student of Agroecology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

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

Doi:10.22067/jag.v12i2.52175

yield and also above ground biomass were higher with moldboard plow compared with the conservation tillage practices. Despite lots of reports about the prominence of conservation tillage systems in comparison with moldboard tillage, the reason for the prominence of moldboard plow in comparison with conservation tillage in this experiment can be attributed to better seedbed preparation in moldboard tillage. The other reason for seed yield increment in the treatment of moldboard tillage in comparison with other treatments can be the effective control of weed plants, especially Russian Knapweed.

Conclusion

Despite contradictory reports about the effect of moldboard tillage on wheat yield in comparison with conservation tillage, the results of this experiment showed the prominence of moldboard tillage in contrast with the sweep, chisel, and no-tillage for wheat production. Under rainier conditions retention of crop residue together with minimum level of soil disturbance seems to be a proper practice. This has been evidenced elsewhere and is confirmed somehow in our experiment too. This is mostly related to enhancement of water holding capacity of the soil.

Keywords: Chisel plow, Conservation tillage, Sweep plow, Soil aggregate, Soil moisture



مقاله علمی - پژوهشی

بررسی روند تغییرات دمایی و اثرات آن بر طول دوره پر شدن دانه و پتانسیل عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) در مناطق مختلف ایران در طی یک دوره ۲۰ ساله (۹۱-۱۳۷۱)

رضا عباسی علی کمر^۱، مهدی نصیری محلاتی^{۲*} و علیرضا کوچکی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۲۱

عباسی علی کمر، ر.، نصیری محلاتی، م. و کوچکی، ع.، ۱۳۹۹. بررسی روند تغییرات دمایی و اثرات آن بر طول دوره پر شدن دانه و پتانسیل عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) در مناطق مختلف ایران در طی یک دوره ۲۰ ساله (۹۱-۱۳۷۱). بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۲(۲): ۳۴۳-۳۱۹.

چکیده

میانگین دمای سطحی زمین در طی ۳۰ سال گذشته در طی هر دهه ۰/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است. ایران نیز از این گرمایش جهانی به دور نبوده و اثرات آن در نقاط مختلف کشور مشهود می‌باشد. این تغییرات دما اثرات زیادی بر دوره‌های رشد گیاهان دارد و به تبع آن تولید گیاهان زراعی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این پژوهش روند تغییرات دمای ۱۸ شهر از چهار ناحیه اقلیمی (خزری، گرم، معتدل و سردسیر) در طی ۲۰ سال گذشته (۹۱-۱۳۷۱) مورد مطالعه قرار گرفت و با استفاده از مدل شبیه‌سازی WOFOST مراحل گل‌دهی و رسیدگی گندم آبی (*Triticum aestivum* L.) در هر منطقه مشخص شد. سپس تغییرات مراحل گل‌دهی و رسیدگی و همچنین عملکرد گندم و رابطه آن‌ها با دما در هر ناحیه بررسی شد. نتایج نشان داد که در طی سال‌های مورد مطالعه، در تمامی ۱۸ شهر کشور، دمای میانگین سالانه افزایش یافت که در آن اردیبهشت بیشترین شدت افزایش دما (۰/۱۵۹) درجه سانتی‌گراد به‌ازای هر سال) و پارس‌آباد مغان کمترین شدت افزایش دما (۰/۰۶۶) درجه سانتی‌گراد به‌ازای هر سال) را نشان داد. واسنجی و تغییرات پارامترهای مدل WOFOST بر اساس داده‌های واقعی و صحت‌سنجی مدل با RMSE% و آزمون شیب خط رگرسیون برای شهرهای منتخب هر ناحیه اقلیمی انجام شد. نتایج نشان داد که این مدل با دقت بالایی قادر به تخمین مراحل گل‌دهی و رسیدگی گندم بود. در مناطق گرم و مرطوب خزری افزایش دمای میانگین سالانه، با شدت کمی طول دوره پر شدن و عملکرد دانه را افزایش داده که احتمالاً به‌دلیل اثرات تعدیلی رطوبت هوا در این مناطق بوده است. اما در مناطق گرم و خشک جنوب و مرکز ایران افزایش دما به‌تدریج با ایجاد تنش در دوره رسیدگی دانه منجر به کاهش طول دوره پر شدن دانه و کاهش عملکرد گندم شده است. در مناطق معتدل نیز با افزایش دما، کاهش طول دوره پر شدن و عملکرد دانه گندم مشهود بود. با افزایش دمای میانگین سالانه در مناطق سردسیر، طول دوره پر شدن دانه افزایش یافته که دلیل آن احتمالاً عدم برخورد ابتدای دوره زایشی با سرمای خسارت‌زا بوده است و قرار گرفتن دوره پر شدن دانه در محدوده دمایی مناسب در این نواحی منجر به افزایش عملکرد شده است. میانگین عملکرد پتانسیل گندم با در نظر گرفتن سهم شهرهای مورد مطالعه از تولید کل کشور در طی یک دهه (۸۱-۱۳۷۱) به‌میزان ۱/۸٪ و در طی دو دهه (۹۱-۱۳۷۱) به‌میزان ۳/۲۸٪ کاهش داشته است.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، رگرسیون، شبیه‌سازی، گرمایش جهانی، WOFOST

مقدمه

۷۰۰۰ سال پیش بوده که پس از اتمام آن، دوره اقلیمی کنونی شروع شده است (NASA, 2011). گرمایش کنونی کره زمین از این جهت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که دلیل اصلی بروز آن، فعالیت‌های انسانی بوده است و در ۱۳۰۰ سال گذشته زمین بی‌سابقه می‌باشد (Pachauri et al., 2007). در سال ۱۹۸۸، هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم (IPCC) در گزارش خود، قطعیت گرمایش در سیستم‌های اقلیمی را مورد تأکید قرار داد و اعلام کرد که در مقیاس جهانی از سال ۱۸۸۰ تا ۲۰۱۲ میلادی افزایش میانگین دما در سطح کره زمین

در طی سالیان گذشته دوره‌های متعددی از تغییرات دمایی در اقلیم کره زمین ثبت شده است. به‌طوری‌که در طی ۶۵ هزار سال گذشته هفت دوره یخبندان ثبت شده که آخرین آن‌ها مربوط به

۱- دانشجوی دکتری گروه آگرو تکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۲- استاد گروه آگرو تکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
(Email: mnassiri@um.ac.ir)
Doi: 10.22067/jag.v12i2.58737

مشهود بوده است، به‌طوری‌که گرم‌ترین دهه کره زمین در فاصله زمانی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ ثبت شده است (IPCC, 2013). بررسی دماهای ثبت شده در طی ۵۲ سال منتهی به سال ۲۰۱۰ نشان داد که حاشیه غربی قطب جنوب بیشترین سرعت افزایش دما در جهان را داشته است. به‌طوری‌که از سال ۱۹۵۸ تا ۲۰۱۰، میانگین دمای سالانه این منطقه ۲/۴ درجه سانتی‌گراد (تقریباً ۰/۴۸ درجه سانتی‌گراد به‌ازای هر دهه) گرم‌تر شده است (Bromwich et al., 2013).

بررسی یک دوره زمانی ۳۰ ساله در ۳۴ ایستگاه سینوپتیک ایران، نشان داد که در ۶۸٪ ایستگاه‌ها، روند افزایش دما و در ۳۲٪ ایستگاه‌ها روند کاهش دما ثبت شده است (Shirgholami & Ghahraman, 2005). طبری و حسین‌زاده (Tabari & Hosseinzadeh Talaei, 2011) داده‌های یک دوره ۳۹ ساله (۱۹۶۶ تا ۲۰۰۵ میلادی) را در ۱۹ ایستگاه هواشناسی واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور مورد بررسی قرار دادند. بر اساس این تحقیق، تغییرات دمایی برای دمای حداکثر و حداقل در دوره‌های سالانه، فصلی و ماهانه در اغلب ایستگاه‌ها روند افزایشی نشان دادند. فنولوژی، مطالعه رویدادهای متناوب در طول دوره زندگی گیاهان و جانوران است که ارتباط تنگاتنگی با محیط و به خصوص تغییرات فصلی دما دارد (Cleland et al., 2006). درک زمان‌بندی مراحل نمو گیاه و مطالعه تغییرات آن بر اثر تغییر اقلیم، می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی برای بهینه‌سازی تولید نقش به‌سزایی داشته باشد.

با قبول فرض ادامه‌دار بودن افزایش دما و با قبول این مسئله که واکنش موجودات زنده به دما تأثیر گسترده و شناخته‌شده‌ای بر فعالیت‌های نمو گیاهان دارد (Menzel et al., 2006)، تغییر مراحل فنولوژیک گیاهان و به تبع آن تغییرات تولید محصولات زراعی اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. آنچه مسلم است شدت اثرات تغییر اقلیم بر گیاهان بیش از دیگر موجودات است، زیرا گیاهان در مقایسه با سایر موجودات، امکان فرار از شرایط نامساعد محیطی را ندارند (Koocheki et al., 1998).

منزل و همکاران (Menzel et al., 2006) با مطالعه داده‌های فنولوژیک ۱۲۵۰۰۰ سری زمانی در ۲۱ کشور اروپایی در طی یک دوره ۳۰ ساله (۲۰۰۰-۱۹۷۱) که حاصل مطالعه بر روی ۵۴۲ گونه گیاهی و ۱۹ گونه جانوری بوده است، دریافتند که مراحل فنولوژی (برگ‌دهی، گل‌دهی و میوه‌دهی) در ۷۸٪ گونه‌های گیاهی زودتر بروز کردند که در یک‌سوم موارد این تسریع از نظر آماری معنی‌دار بود.

در ایران نیز مطالعات متعددی بر روی اثرات تغییر اقلیم بر

فنولوژی و رشد گیاهان زراعی صورت گرفته و تأثیرات تغییر اقلیم به‌صورت وقوع گل‌دهی سریع‌تر در نخود (*Cicer arietinum*) و آفتاب‌گردان (*Helianthus annuus*) (Koocheki et al., 2006)، کاهش طول دوره رشد و عملکرد ذرت (*Zea mays*) (Bafkar et al., 2014; Moradi et al., 2014)، تسریع در گل‌دهی زعفران (*Crocus sativus*) (Koocheki et al., 2009)، کاهش طول فصل رشد، شاخص برداشت و عملکرد گندم دیم (*Triticum aestivum*) (L. Koocheki et al., 2006; Koocheki & Kamali, 2010; Nassiri et al., 2006) و گندم آبی (Delghandi et al., 2014; Ghreineh et al., 2016; Koocheki et al., 2001) گزارش شده است.

شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم نشان داد که افزایش حرارت در شرایط اقلیمی سال ۱۴۰۰ منجر به کاهش ۲۶ روزه در طول دوره رشد گندم در شرایط مشهد خواهد شد. شاخص‌های فیزیولوژیک نظیر تعداد و سطح برگ‌ها نیز تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار خواهد گرفت (Koocheki et al., 2001).

پیش‌بینی مراحل فنولوژیک بر اساس داده‌های اقلیمی برای یک‌گونه خاص به‌عنوان یکی از مشکلات تحقیقاتی در قرن ۲۱ مطرح شده است؛ که برای رفع این مشکل و پیش‌بینی رفتارهای فنولوژیک در گیاهان ناگزیر به استفاده از مدل‌های رشدی خواهیم بود (Cleland et al., 2007). WOFOST یک مدل شبیه‌سازی رشد محصول بوده و قادر است رشد گیاهان زراعی یک‌ساله را به‌صورت روزانه در شرایط پتانسیل و محدودیت آب بر اساس خصوصیات گیاهی، پارامترهای روزانه هواشناسی و خصوصیات فیزیکی خاک شبیه‌سازی کند (Boogaard et al., 1998). کاتالین و همکاران (Catalin et al., 2009) در رومانی، وو و همکاران (Wu et al., 2006) در چین، بافکار و همکاران (Bafkar et al., 2014) در منطقه ماهی‌دشت کرمانشاه و قرینه و همکاران (Gharineh et al., 2016) در خوزستان از این مدل شبیه‌سازی WOFOST برای مطالعات گیاهان زراعی مختلف استفاده کرده‌اند و در تمامی مطالعات دقت این مدل در شبیه‌سازی مراحل رشدی و برآورد عملکرد قابل قبول گزارش شد.

با توجه به نوع مدل‌های مورد استفاده در شبیه‌سازی رشد گیاهان و همچنین سال‌های مورد مطالعه نتایج متفاوتی در مورد عملکرد گندم گزارش شده است. گرچه گزارشاتی مبنی بر افزایش عملکرد گندم در اثر تغییر اقلیم ارائه شده است (Ainworth et al., 2005; Burkart et al., 2004; Koocheki et al., 2001)، اما این مطالعات عمدتاً اثرات افزایش CO₂ را بررسی کرده‌اند. به نظر می‌رسد افزایش درجه حرارت و کاهش بارش‌ها اثرات مطلوب افزایش CO₂ را خنثی می‌کند. لذا اثرات ترکیبی تغییر اقلیم عمدتاً منجر به کاهش

عملکرد گندم شده است (Koocheki et al., 2001). به طوری که برای گندم آبی ۲۱-۱۴ درصد (Koocheki et al., 2008) و برای گندم دیم ۱۳/۸ و ۲۰/۷ درصد کاهش اعلام شده است (Nassiri et al., 2006).

مطالعات متعددی سعی در بررسی تغییرات در شرایط اقلیمی آینده داشته‌اند که عمدتاً بر اساس پیش‌بینی شرایط دمایی با مدل‌های گردش عمومی صورت گرفته است. هدف این مطالعه یافتن روندهای دمایی گذشته ایران بر اساس مشاهدات دمایی ثبت شده در طی ۲۰ سال منتهی به سال ۲۰۱۲ بوده است. همچنین در این مطالعه با استفاده از مدل WOFOST زمان ظهور مراحل گل‌دهی و رسیدگی بررسی و پتانسیل عملکرد گندم در سال‌های مختلف و در مناطق مختلف کشور شبیه‌سازی شد. انتظار می‌رود که نتایج این تحقیق با درک رفتار دمایی مناطق مختلف و اثراتی که این تغییرات دما در مراحل رشدی حساس و پتانسیل عملکرد گندم داشته است در جهت مدیریت بهینه کاشت، داشت و برداشت گندم با در نظر گرفتن محدودیت‌های هر منطقه، مؤثر باشد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه روی ۱۸ شهر کشور شامل اهواز، اراک، اردبیل، بیرجند، بجنورد، گرگان، همدان، کرمان، کرمانشاه، خرم‌آباد، مشهد، ارومیه، پارس‌آباد مغان، سمنان، تبریز، زابل، اصفهان و شیراز صورت گرفت. شهرهای مورد مطالعه با توجه به وجود داده‌های اقلیمی درازمدت انتخاب شدند و سعی بر این بود که پراکنش مناسبی در سطح کشور داشته باشند. همچنین با توجه به مطالعه دوره رشدی گندم در این تحقیق، در مناطقی که تراکم شهرها زیاد بود (از جمله غرب و شمال کشور) بر اساس میزان سطح زیر کشت و تولید (Ministry of Agriculture-Jahad, 2015)، شهرستان‌هایی که سطح زیر کشت یا تولید آن‌ها کمتر از دو درصد کل کشور بود، حذف شدند. خصوصیات ایستگاه‌های مورد بررسی به شرح جدول ۱ است.

سال‌های مورد مطالعه از سال ۱۹۹۲ الی ۲۰۱۲ میلادی (۱۳۷۱ الی ۱۳۹۰ شمسی) بودند. داده‌های هواشناسی از سازمان هواشناسی کل کشور دریافت شد که پس از مرتب‌سازی داده‌ها، اطلاعات مربوط به هر ایستگاه هواشناسی واقع در ۱۸ شهر مورد مطالعه شامل دمای میانگین، حداکثر و حداقل روزانه برای هر سال استخراج شد. سپس روند تغییرات دمایی در هر شهرستان بر اساس دماهای میانگین، حداکثر و حداقل در طی ۲۰ سال از طریق آنالیز رگرسیون مورد مطالعه قرار گرفت.

برای بررسی روند، از آزمون رگرسیون به روش کمترین مربعات خط استفاده شد. در این روش عرض از مبدأ و شیب خط رگرسیون با

حداقل نمودن خطا بین دو متغیر مستقل (زمان، X) و وابسته (دما، Y) به دست می‌آید. معنی‌داری رگرسیون بر اساس تجزیه واریانس رگرسیون با استفاده از نرم‌افزار Excel مورد بررسی قرار گرفت.

ناحیه‌بندی اقلیمی ایران با اصلاحات اعمال شده به روش کوپن (Koppen, 1936) صورت گرفت (Kasmai, 2006)، شهرهای مورد مطالعه بر اساس گروه‌بندی ایستگاه‌های تحقیقات گندم کشور و با در نظر گرفتن ارتفاع از سطح دریا، طول دوره یخبندان، حداقل مطلق دمای سالیانه و نوع تنش‌های موجود (Saidi & Chokan, 2000) در چهار گروه خیزی، معتدل، گرم و سرد دسته‌بندی شدند (جدول ۲). در هر ناحیه یک شهر شاخص در نظر گرفته شد که حداقل هشت سال داده فنولوژیک واقعی (طی سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۱) در آن قابل استناد بود.

در این تحقیق از نسخه WOFOST control center v. (February 2014) 2.1.2 برای شبیه‌سازی مراحل گل‌دهی و رسیدگی و عملکرد گندم استفاده شد و شرایط شبیه‌سازی در حالت پتانسیل اجرا گردید (Boogaard et al., 2014). لازم به ذکر است که منظور از شرایط پتانسیل شرایطی است که گیاه بدون محدودیت آب و مواد غذایی در محیطی عاری از علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها گیاهی رشد می‌کند. برای این منظور پارامترهای گیاهی مناسب با اقلیم هر منطقه شامل Tsum₁ (مجموع درجه حرارت از جوانه‌زنی تا گل‌دهی) Tsum₂ (مجموع درجه حرارت از گل‌دهی تا رسیدگی) برای مدل تعریف شد. داده‌های هواشناسی شامل دمای حداقل روزانه، دمای حداکثر روزانه و تشعشع روزانه که برای مدل‌سازی در شرایط پتانسیل ضروری بودند به فرمت استاندارد مدل (CABO-Format) تهیه و در مدل WOFOST وارد شد.

برای واسنجی مقادیر شبیه‌سازی شده از داده‌های واقعی نتایج آزمایشات به‌نژادی گندم (سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۹۵) استفاده شد (Seed & Plant Improvement Institute, 1995-2010). در هر ناحیه اقلیمی، پارامترهای گیاهی مورد نیاز برای واسنجی مدل WOFOST، برای رقم گندم آبی که در سال صحت‌سنجی مدل (۲۰۰۶) به‌عنوان رقم شاهد در آزمایشات به‌نژادی مراکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مشخص شده بود مورد استناد قرار گرفت.

صحت تاریخ‌های گل‌دهی و رسیدگی که با مدل WOFOST شبیه‌سازی شده بودند در چهار شهر شاخص، با آماره RMSE% (معادله ۱) مورد اعتبارسنجی قرار گرفت.

$$RMSE(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n}} \cdot \frac{100}{O} \quad \text{معادله (۱)}$$

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی شهرهای مورد مطالعه و متوسط دماهای میانگین، حداکثر و حداقل سالانه، برای دوره مطالعاتی ۲۰ ساله (۹۱-۱۳۷۱)

Table 1- Geographic characteristics of selected cities and average of annual means, maximum and minimum temperature for 20 years (1992-2012)

ایستگاه Station	عرض جغرافیایی Latitude		طول جغرافیایی Longitude		ارتفاع از سطح دریا Altitude (m)	حداقل سالانه دما Mean Annual Min temperature (°C)	حداکثر سالانه دما Mean Annual Max temperature (°C)	میانگین سالانه دما Mean Annual temperature (°C)
	درجه Degree	دقیقه Minute	درجه Degree	دقیقه Minute				
اهواز Ahwaz	31	20	40	48	22	19.3	33.4	26.3
اراک Arak	34	6	46	49	1708	7.3	20.9	14.1
اردبیل Ardabil	38	24	29	48	1338	3.1	15.5	9.3
بیرجند Birjand	32	52	12	59	1491	8.6	24.6	16.6
بجنورد Bojnurd	37	28	19	57	1070	7	19.8	13.4
گرگان Gorgan	36	51	16	54	13	12.7	23.1	17.9
همدان Hamadan	34	52	35	48	1850	4	19.6	11.8
کرمان Kerman	30	15	58	56	1753	7.5	25.3	16.4
کرمانشاه Kermanshah	34	21	9	47	1318	7	23.7	15.4
خرم‌آباد Khoramabad	33	26	17	48	1147	8.7	25.1	16.9
مشهد Mashhad	36	16	38	59	999	9	22	15.5
ارومیه Orumieh	37	52	5	45	1315	5.4	18	11.7
پارس‌آباد Parsabad	39	51	57	47	34	9.9	20.7	15.3
سمنان Semnan	35	23	30	52	1130	13.1	24	18.5
تبریز Tabriz	38	5	17	46	1361	7.8	19	13.4
زابل Zabol	31	10	32	61	480	15.2	30.1	22.7
اصفهان Esfahan	32	37	40	51	1550	9.3	23.3	16.3
شیراز Shiraz	29	32	32	52	1480	11	26.2	18.6

جدول ۲- مشخصات اقلیم‌های ایران، رقم گندم و شهر شاخص هر اقلیم
Table 2- Characteristics of Iran's climates, wheat variety, and specific city of each climate

ناحیه Zone	اقلیم Climate	شهرهای واقع در اقلیم Cities in each zone	متوسط بارندگی Mean precipitation (mm)	رقم گندم Wheat Cultivar	شهر منتخب Selected City
1	اقلیم گرم و مرطوب سواحل دریای خزر Northern warm and humid climate	گرگان - پارس‌آباد مغان Gorgan, Parsabad Moghan	350 - 1000	تجن Tajan	گرگان Gorgan
2	اقلیم گرم و خشک جنوب Southern warm and dry climate	اهواز - شیراز - زابل - بیرجند Ahwaz, Shiraz, Zabol, Birjand	40-200	چمران Chamran	اهواز Ahwaz
3	اقلیم معتدل فلات مرکزی Temperates climate	مشهد - کرمان - کرمانشاه - اصفهان - سمنان - خرم‌آباد Mashhad, Kerman, Kermanshah, Khoramabad, Esfahan, Semnan	200-300	پیش‌تاز Pishtaz	مشهد Mashhad
4	اقلیم سرد کوهستانی Cold and high elevation climate	اراک - اردبیل - بجنورد - همدان - ارومیه - تبریز Arak, Ardabil, Bojnourd, Hamedan, Orumieh, Tabriz	200-800	شهریار Shahriar	اراک Arak

بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

بررسی سابقه تاریخی اقلیمی شهرهای مورد مطالعه

تغییرات دمای حداکثر، حداقل و میانگین سالانه در شهرهای منتخب در طی دوره زمانی مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. در مطالعه روند میانگین سالانه دما در طی ۲۰ سال، در تمامی شهرهای مورد مطالعه، روند مثبت و معنی‌دار مشاهده شد که نشان از افزایش میانگین دمای سالانه در تمام شهرهای مورد مطالعه داشت. رگرسیون بین سال و دمای میانگین سالانه در شیراز، ارومیه و پارس‌آباد مغان در سطح ۹۵٪ و در سایر شهرها در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بودند. کمترین شیب خط رگرسیون دمای میانگین سالانه مربوط به مربوط به پارس‌آباد مغان با مقدار ۰/۰۶۶ درجه سانتی‌گراد به‌ازای هر سال و بیشترین شدت گرمایش دمای میانگین سالانه مربوط به اردبیل با میزان ۰/۱۵۹ درجه به‌ازای هر سال بود. مسعودیان (Masoudian, 2004) در مطالعه ۵۰ ساله و علیجانی و همکاران (Alijani et al., 2011) در یک مطالعه ۴۰ ساله، روند افزایش دمای میانگین شبانه‌روزی ایران را تأیید کردند.

در این تحقیق طبق نتایج بررسی ۲۰ ساله دمای میانگین سالانه، افزایش میانگین دمای سالانه در پارس‌آباد مغان با سرعت تغییر ۰/۰۶۶ درجه سانتی‌گراد به‌ازای هر سال کمترین شدت تغییرات را به خود اختصاص دادند. جریانات اقلیمی دریای خزر و آثار تعدیلی رطوبت

که در آن، P_i : مقادیر پیش‌بینی‌شده، O_i : مقادیر اندازه‌گیری شده، $\bar{O}$: میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده و n : تعداد مشاهدات می‌باشد. در صورتی که $RMSE\%$ بین ۱ تا ۱۰ باشد، دقت پیش‌بینی مدل بسیار خوب، بین ۱۰ تا ۲۰، خوب، بین ۲۰ تا ۳۰، قابل‌قبول و بیشتر از ۳۰، ضعیف تفسیر می‌شود.

سپس خط رگرسیونی بین داده‌های فنولوژیک واقعی (سال‌های ۱۹۹۷-۲۰۰۹) و داده‌های شبیه‌سازی شده رسم و شیب خط رسم شده با شیب خط ۱:۱ به‌وسیله آزمون t-student مورد آزمون قرار گرفت تا دقت تخمین مراحل فنولوژیک در سال‌های مختلف به‌دست آید. $b=1$ به‌عنوان فرض صفر (H_0) و $b \neq 1$ به‌عنوان فرض یک (H_1) در آزمون t در نظر گرفته شد. بنابراین چنان‌چه در معادله ۲، فرض صفر پذیرفته شود به‌این معنی است که اختلاف بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده معنی‌دار نیست و پذیرفته شدن فرض ۱ نیز عکس این موضوع را نشان می‌دهد.

$$\text{معادله (۲)} \quad \text{Simulated} = a + b \times \text{Observed}$$

پس از اطمینان از اعتبار مدل شبیه‌سازی، با استفاده از داده‌های هواشناسی، مدل برای شهرهای مختلف اجرا و مراحل گل‌دهی و رسیدگی و عملکرد در هر شهر و هر سال به‌دست آمد. سپس روند تغییرات طول دوره پر شدن دانه (فاصله زمانی گل‌دهی تا رسیدگی) و رابطه بین دما و طول دوره پر شدن دانه رابطه بین دما و عملکرد و نیز رابطه بین طول پر شدن دانه و عملکرد از طریق رگرسیون مورد

هوای موجود در جو می‌تواند عامل مهمی در ثبات دمای شهرهای حاشیه دریای خزر باشد (Zahedi et al., 2007). از طرف دیگر، شهرهای واقع در نواحی سردسیر کوهستانی (اردبیل و اراک) بیشترین شیب خط رگرسیون را داشتند که نشان از روند سریع‌تر افزایش دمای

جدول ۳- شیب خط (b)، سطح معنی‌داری (p) و ضریب تبیین (R^2) معادلات رگرسیون بین دماهای میانگین، حداکثر و حداقل سالانه و سال در طی سال‌های ۱۹۹۲ الی ۲۰۱۲ و دمای میانگین، حداقل و حداکثر سال ۱۹۹۲ برای ۱۸ شهر منتخب

Table 3- Slope (b), signficancy (p) and coefficient of determination (R^2) for regression line between annual maximum, minimum and mean temprature and year, during 1992-2012 and average of annual temperature at base year (1992) for 18 selected cities

شهر City	پارامتر Parameter	تغییرات سالانه دما Annual temprature trends			دمای میانگین در سال پایه (۱۳۷۱) Average of annual temprature at base year (1992) (°C)
		b	P ^۲	R ²	
اهواز Ahwaz	دمای حداکثر Max. Temp.	0.145	0.001	0.687	30.9
	دمای حداقل Min. Temp.	0.08	0.001	0.784	24.3
	دمای میانگین Ave. Temp.	0.097	0	0.52	17
اراک Arak	دمای حداکثر Max. Temp.	0.138	0.003	0.613	17.5
	دمای حداقل Min. Temp.	0.094	0.008	0.549	4.7
	دمای میانگین Ave. Temp.	0.116	0.004	0.598	11.1
اردبیل Ardabil	دمای حداکثر Max. Temp.	0.13	0.009	0.558	13
	دمای حداقل Min. Temp.	0.188	0	0.746	1.4
	دمای میانگین Ave. Temp.	0.159	0	0.601	7.2
بیرجند Birjand	دمای حداکثر Max. Temp.	0.107	0.001	0.488	22.8
	دمای حداقل Min. Temp.	0.064	0.005	0.674	7.2
	دمای میانگین Ave. Temp.	0.085	0.001	0.595	15
بجنورد Bojnurd	دمای حداکثر Max. Temp.	0.083	0.011	0.722	17.9
	دمای حداقل Min. Temp.	0.051	0.018	0.686	5.8
	دمای میانگین Ave. Temp.	0.067	0.007	0.653	11.8
گرگان Gorgan	دمای حداکثر Max. Temp.	0.121	0	0.544	21.5
	دمای حداقل Min. Temp.	0.031	0.285	0.467	11.2
	دمای میانگین Ave. Temp.	0.076	0.006	0.672	16.4
همدان Hamadan	دمای حداکثر Max. Temp.	0.131	0.003	0.524	16

کرمان Kerman	دمای حداقل Min. Temp.	0.068	0.033	0.241	1.72
	دمای میانگین Ave. Temp.	0.1	0.006	0.67	8.8
	دمای حداکثر Max. Temp.	0.096	0.001	0.465	23.4
	دمای حداقل Min. Temp.	0.093	0	0.6	6.3
کرمانشاه Kermanshah	دمای میانگین Ave. Temp.	0.096	0	0.578	14.8
	دمای حداکثر Max. Temp.	0.089	0.054	0.602	20.4
	دمای حداقل Min. Temp.	0.084	0.001	0.48	5.5
	دمای میانگین Ave. Temp.	0.086	0.006	0.769	13
خرم آباد Khoramabad	دمای حداکثر Max. Temp.	0.119	0.002	0.438	22.3
	دمای حداقل Min. Temp.	0.095	0.003	0.524	6.6
	دمای میانگین Ave. Temp.	0.107	0.001	0.463	14.4
	دمای حداکثر Max. Temp.	0.104	0.012	0.317	19.7
مشهد Mashhad	دمای حداقل Min. Temp.	0.092	0	0.808	7.6
	دمای میانگین Ave. Temp.	0.098	0.001	0.759	13.6
	دمای حداکثر Max. Temp.	0.132	0	0.52	15.2
	دمای حداقل Min. Temp.	0.021	0.521	0.525	3.7
ارومیه Orumieh	دمای میانگین Ave. Temp.	0.088	0.016	0.598	9.5
	دمای حداکثر Max. Temp.	0.059	0.077	0.172	19.7
	دمای حداقل Min. Temp.	0.074	0.003	0.514	8.7
	دمای میانگین Ave. Temp.	0.066	0.018	0.687	14.2
پارس آباد Parsabad	دمای حداکثر Max. Temp.	0.141	0	0.65	21.5
	دمای حداقل Min. Temp.	0.012	0.649	0.42	11.6
	دمای میانگین Ave. Temp.	0.076	0.007	0.558	16
	دمای حداکثر Max. Temp.	0.139	0.001	0.475	16.5
تبریز Tabriz	دمای حداقل Min. Temp.	0.064	0.055	0.399	6.1
	دمای میانگین Ave. Temp.	0.101	0.006	0.664	11.3

زابل Zabol	دمای حداکثر Max. Temp.	0.158	0	0.581	28
	دمای حداقل Min. Temp.	0.064	0.001	0.47	14.1
	دمای میانگین Ave. Temp.	0.111	0	0.595	21
اصفهان Esfahan	دمای حداکثر Max. Temp.	0.116	0.014	0.444	21.6
	دمای حداقل Min. Temp.	0.068	0.163	0.55	9.3
	دمای میانگین Ave. Temp.	0.091	0.004	0.427	15.4
شیراز Shiraz	دمای حداکثر Max. Temp.	0.101	0.377	0.64	24.2
	دمای حداقل Min. Temp.	-0.05	0.001	0.6	9.2
	دمای میانگین Ave. Temp.	0.068	0.024	0.59	16.7

* $p \leq 0.05$: معنی داری در سطح ۹۵٪، $p \leq 0.01$: معنی داری در سطح ۹۹٪
 $p \leq 0.05$: is significant in the level of 95%, $p \leq 0.01$: is significant in the level of 95%.

پیش‌بینی کردند؛ اما شیر غلامی و قهرمان (Shirgholami & Ghahraman, 2005) در مطالعه روند تغییرات میانگین دمای سالانه برای دوره ۳۰ ساله منتهی به ۱۹۹۸ تغییرات دمایی زابل را معنی‌دار ندانستند. احتمالاً این اختلاف در نتایج، به علت دوره زمانی متفاوت نوع مدل استفاده شده بوده است. خوش‌اخلاق و همکاران (Khoshakhlagh et al., 2011) نیز در مطالعه حداقل‌های سالانه دما تأکید کردند تغییرات زمانی حداقل مطلق دما در نواحی شمال غرب و کوهستانی کشور شدیدتر از ایستگاه‌های مرکز و جنوب کشور بود. مطالعات دیگری نیز حاکی از این است که شدت افزایش دمایی از شمال به جنوب و از شرق به غرب می‌باشد. (Nassiri Mahallati et al., 2006).

مدلسازی مراحل فنولوژیک گندم

برای واسنجی مدل WOFOST در هر ناحیه اقلیمی یک شهر شاخص انتخاب و پارامترهای مدل، با استفاده از داده‌های فنولوژیک واقعی که از یادداشت‌برداری‌های دفترچه آزمایشات به‌نژادی استخراج شدند، به شرح جدول ۴ تغییر نمود. این امر برای به حداقل رساندن RMSE صورت گرفت.

چنان که بیشترین شیب خط رگرسیون در دمای حداقل سالانه متعلق به اردبیل (۰/۱۸۸ درجه سانتی‌گراد) بود و اراک نیز در رتبه سوم قرار داشت. احتمالاً ارتفاع از سطح دریا در شهرهای سردسیر واقع در شمال غرب کشور در این روندهای دمایی مؤثرند. رابطه معنی‌دار و معکوس دمای میانگین سالانه با ارتفاع در تحقیق زاهدی و همکاران نیز گزارش شده است (Zahedi et al., 2007). نامبردگان اظهار داشتند که افزایش دمای میانگین سالانه در بیشتر مناطق شمال غرب کشور مشهود بوده است.

بررسی روند دماهای حداکثر سالانه نشان داد که بیشترین شدت تغییرات در شرق کشور و مناطق گرم و خشک جنوب کشور حادث شد. زابل در منطقه نیمه‌بیابانی شرق کشور و اهواز در منطقه گرم جنوب کشور به ترتیب با شدت تغییرات دمای حداکثر سالانه به‌میزان ۰/۱۵۸ و ۰/۱۴۵ درجه سانتی‌گراد به‌ازای هر سال شدیدترین سرعت گرمایش در حداکثر دمای سالانه را به خود اختصاص دادند. این مقدار تغییر در دمای حداکثر، بر میانگین دمای سالانه اهواز و زابل نیز تأثیر بسزایی داشته، به‌طوری‌که گرم‌ترین شهر از نظر میانگین دمای ۲۰ ساله، اهواز (۲۷/۳ درجه سانتی‌گراد) و در رتبه بعدی زابل (۲۲/۷ درجه سانتی‌گراد) بود (جدول ۱). حمیدیان‌پور و همکاران (Hamidianpour et al., 2016) افزایش دمای میانگین سالانه در زابل را با استفاده از مدل LARS-WG در پایان قرن ۲۱، حدود ۳/۰۸ درجه سانتی‌گراد

جدول ۴- ضرایب واسنجی مدل WOFOST در شهرهای منتخب نواحی اقلیمی ایران
Table 4- Calibration coefficients for WOFOST in selected cities of climatic zones of Iran

پارامتر	ناحیه ۱ (گرگان)	ناحیه ۲ (اهواز)	ناحیه ۳ (مشهد)	ناحیه ۴ (اراک)
Parameter	Zone1 (Gorgan)	Zone2 (Ahwaz)	Zone3 (Mashhad)	Zone4 (Arak)
TSUM ₁ (°Cd)	2100	2500	1700	1750
TSUM ₂ (°Cd)	900	750	750	800

TSUM₁: مجموع درجه حرارت از جوانه زنی تا گل دهی، TSUM₂: مجموع درجه حرارت از گل دهی تا رسیدگی
TSUM₁: Temperature sum from emergence to anthesis, TSUM₂: temperature sum from anthesis to maturity

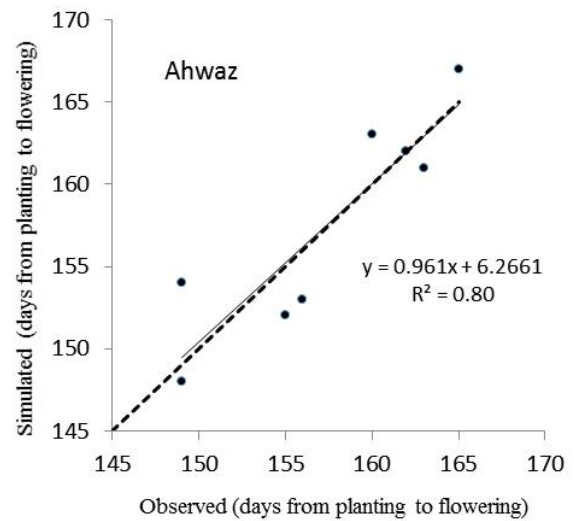
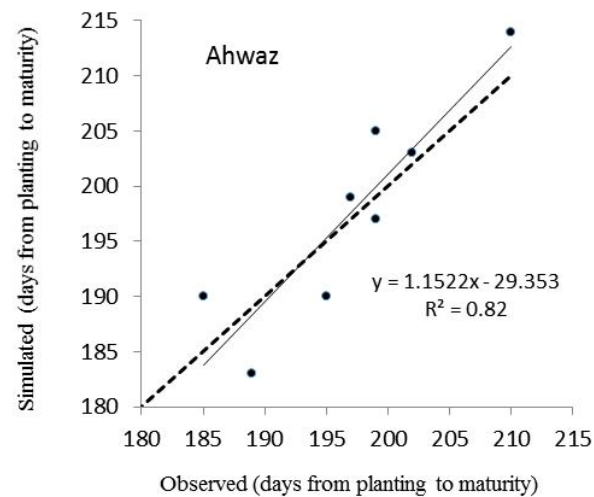
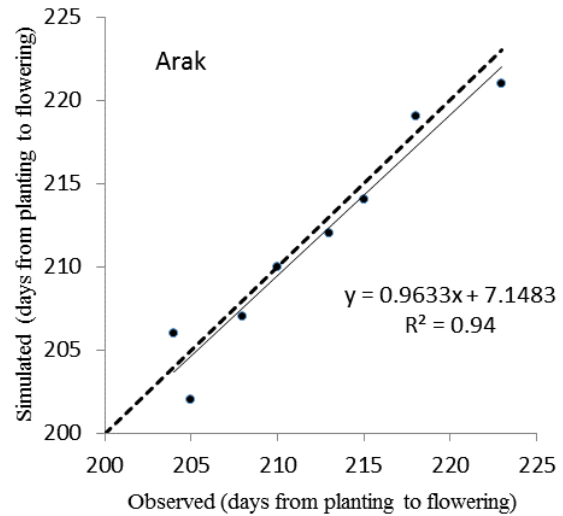
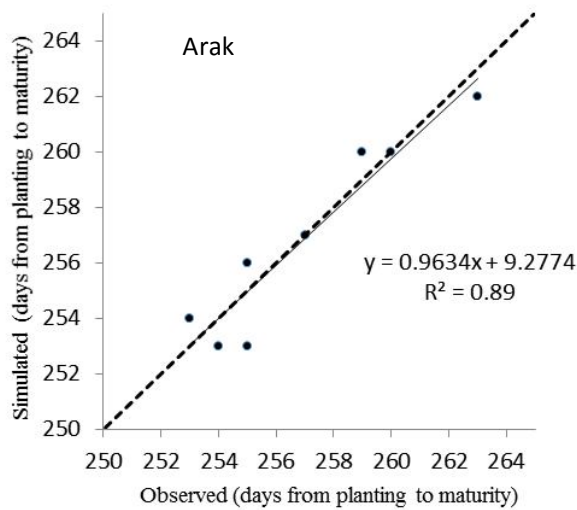
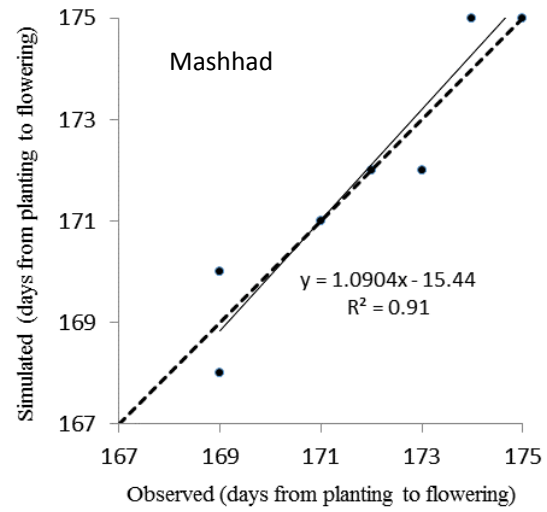
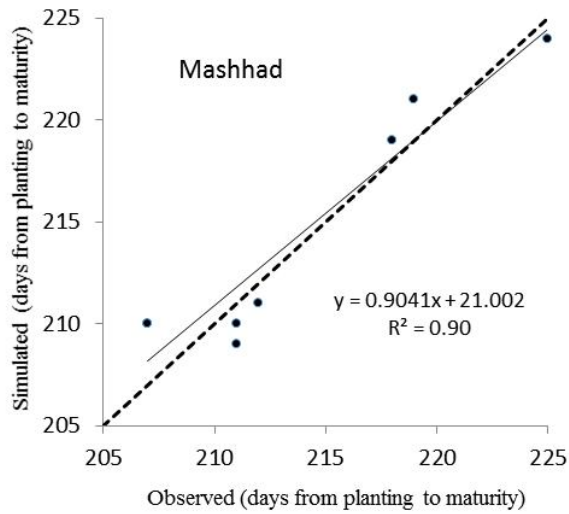
نتایج اجرای مدل برای شهر شاخص هر ناحیه و مقدار
RMSE% در جدول ۵ ارائه شده است. بر اساس نتایج موجود مقدار
جذر میانگین مربعات خطا (RMSE%) برای مراحل فنولوژیک تعداد
روز تا گل دهی و تعداد روز تا رسیدگی هر چهار شهر در دامنه ۱ تا
۱۰ درصد قرار گرفته و لذا مراحل فنولوژیک بسیار خوب تخمین زده
شده است.

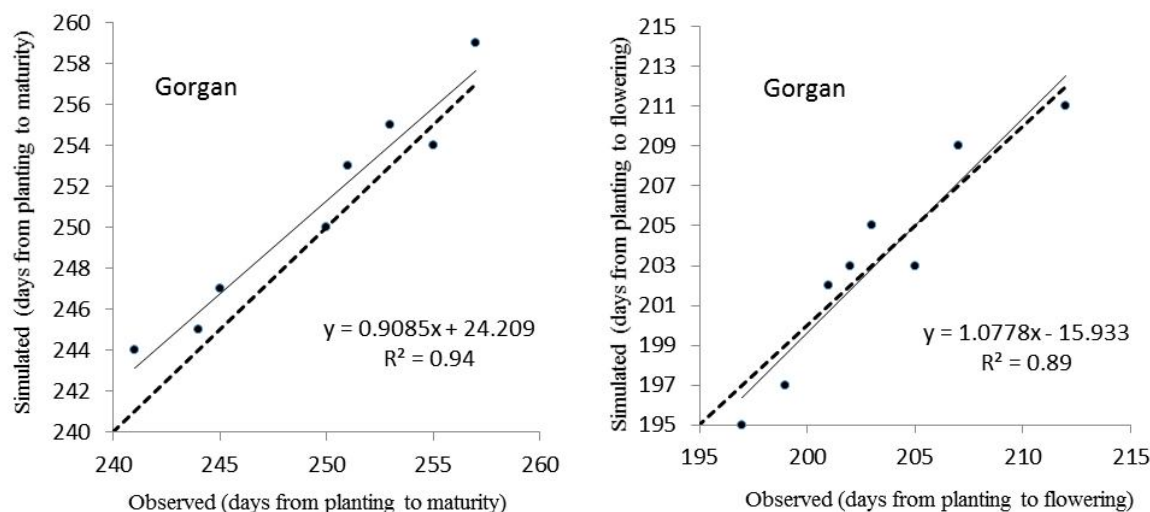
جدول ۵- میانگین هشت ساله مقادیر واقعی و شبیه سازی شده تعداد روز از کاشت تا گل دهی و تعداد روز از کاشت تا رسیدگی و
تعیین اعتبار مدل WOFOST بر اساس درصد میانگین مربعات خطا (RMSE%) در چهار شهر منتخب از ایران
Table 5- Means of eight years for observed and simulated data of days from planting to flowering and days from
planting to maturity and validation of WOFOST based on percentage of Root Mean Square Error (RMSE%) for
four selected cities of Iran

Four Selected Cities of Iran									
ناحیه ۱ (گرگان)					ناحیه ۲ (اهواز)				
Zone 1 (Gorgan)					Zone 2 (Ahwaz)				
تعداد روز کاشت تا گل‌دهی		تعداد روز کاشت تا رسیدگی		تعداد روز کاشت تا گل‌دهی		تعداد روز کاشت تا رسیدگی			
Days planting to flowering		Days planting to maturity		Days planting to flowering		Days planting to maturity			
مشاهده شده	شبیه‌سازی	مشاهده شده	شبیه‌سازی	مشاهده شده	شبیه‌سازی	مشاهده شده	شبیه‌سازی		
Observed	Simulated	Observed	Simulated	Observed	Simulated	Observed	Simulated		
میانگین	201.7	201.6	201.7	201.6	156	153.5	194	192.1	
Mean									
%RMSE	4.22		6.9		9.19		7.8		
ناحیه ۳ (مشهد)					ناحیه ۴ (اراک)				
Zone 3 (Mashhad)					Zone 4 (Arak)				
تعداد روز کاشت تا گل‌دهی		تعداد روز کاشت تا رسیدگی		تعداد روز کاشت تا گل‌دهی		تعداد روز کاشت تا رسیدگی			
Days planting to flowering		Days planting to maturity		Days planting to flowering		Days planting to maturity			
مشاهده شده	شبیه‌سازی	مشاهده شده	شبیه‌سازی	مشاهده شده	شبیه‌سازی	مشاهده شده	شبیه‌سازی		
Observed	Simulated	Observed	Simulated	Observed	Simulated	Observed	Simulated		
میانگین	171.4	172.2	212.6	213.7	210.7	209.5	257.2	256.5	
Mean									
%RMSE	6.3		7.5		6.5		7.7		

بین مشاهدات و مقادیر پیش بینی شده برای مراحل فنولوژیک گندم
آبی در چهار شهر مورد مطالعه با شیب خط ۱:۱ اختلاف معنی داری
ندارد.

مقایسه نتایج شبیه سازی شده از تعداد روز تا گل دهی و تعداد روز
تا رسیدگی با مقادیر واقعی و نتایج آزمون t-student نشان داد که
فرض صفر برای ضریب b معادله رگرسیون برآزش داده شده
قابل قبول بوده است. این بدان معنی است که شیب خط رگرسیون





شکل ۱- تعیین اعتبار مدل برای پیش بینی تعداد روز تا گل‌دهی (راست) و تعداد روز تا رسیدگی (چپ) در چهار شهر منتخب اقلیم‌های ایران

Fig. 1- Validation of model for days to flowering (Right) and days to maturity (Left) for four selected cities of Iran

خط توپر برای خط رگرسیون و خط مقطع برای خط ۱:۱ نمایش داده شده است.

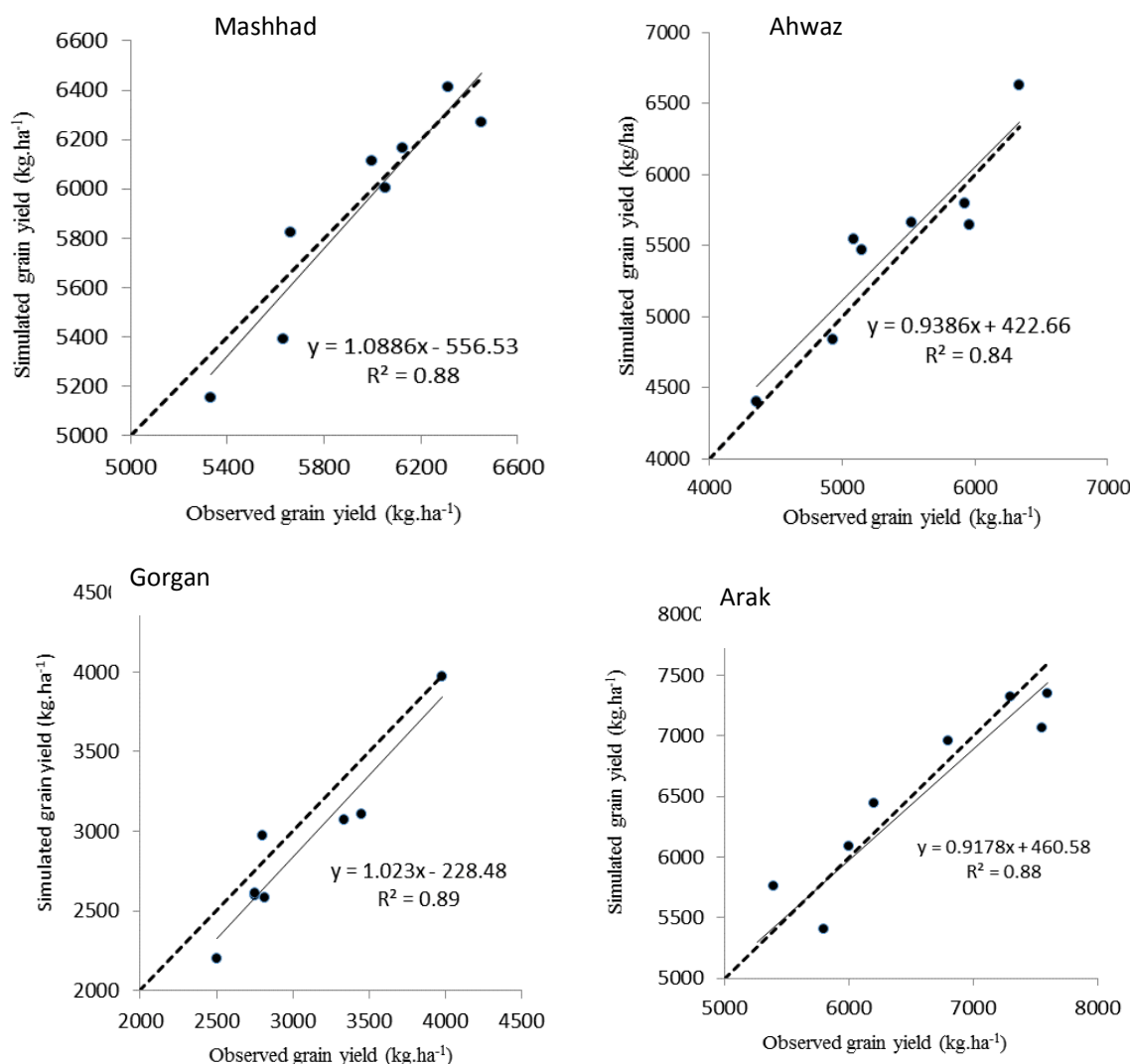
Solid line represent regression lines and dash line represent 1:1 line.

میانگین درصد مجذور مربعات خطا در هر چهار شهر شاخص نواحی اقلیمی کشور در شبیه‌سازی عملکرد گندم آبی در محدوده بین ۱۰ تا ۲۰ درصد قرار گرفت و مقادیر آن برای شهرهای اهواز، مشهد، اراک و گرگان به ترتیب ۱۳/۱، ۱۰/۸۶، ۱۰/۱۳ و ۱۷/۴۲ درصد بود. این مقادیر نشان از برآورد خوب عملکرد دانه گندم با مدل WOFOST داشت. مقایسه شیب خط رگرسیون بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده با خط ۱:۱ در مورد عملکرد دانه گندم آبی در هر چهار شهر مورد مطالعه نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین شیب خط رگرسیون و شیب خط ۱:۱ وجود نداشت. بنابراین، مدل واسنجی شده از اعتبار کافی برای شبیه‌سازی عملکرد گندم آبی برخوردار بود.

اعتبارسنجی مدل WOFOST برای تخمین عملکرد گندم دیم ایران نیز حاکی از دقت بالای این مدل داشت و مقدار RMSE آن به میزان ۰/۰۴۷ تن در هکتار حدود ۷٪ میانگین عملکرد مشاهده‌شده گندم دیم گزارش شده است (Nassiri et al., 2006).

نصیری محلاتی و همکاران (Nassiri Mahallati et al., 2006) در اعتبارسنجی مدل WOFOST اظهار داشتند که این مدل عملکرد گندم دیم ایران را با دقت خوبی تخمین می‌زند. این محققین گزارش کردند که شیب خط رگرسیون و نمودار ۱:۱ غیرمعنی‌دار شد و مقدار RMSE به میزان ۰/۰۴۷ تن در هکتار حدود ۷٪ میانگین عملکرد مشاهده شده گندم دیم بود.

شخار و همکاران (Shekhar et al., 2008) نیز مدل WOFOST را برای بررسی مراحل فنولوژیک، برخی شاخص‌ها فیزیولوژیک و عملکرد دانه و کاه گندم در هندوستان مورد بررسی قرار داد. ایشان با اعلام RMSE % به مقدار ۱۰٪ برای جوانه‌زنی، ۸/۸٪ برای گرده‌افشانی، صفر برای رسیدگی، ۵٪ برای عملکرد دانه و ۱۹/۲٪ برای عملکرد کاه، در مجموع اعتبار مدل را برای شبیه‌سازی پارامترهای گندم، بسیار خوب توصیف کردند. ایشان تأکید کردند که WOFOST مراحل فنولوژیک گندم را با دقت بیشتری نسبت به عملکرد و شاخص‌های فیزیولوژیک تخمین می‌زند.



شکل ۲- تعیین اعتبار مدل برای پیش‌بینی عملکرد گندم آبی در چهار شهر منتخب از اقلیم‌های مختلف کشور

Fig. 2- Validation of Model for simulation wheat grain yield for four selected cities of Iran,

خط توپر برای خط رگرسیون و خط مقطع برای خط ۱:۱ نمایش داده شده است.

Solid lines represent regression line and dash line represent 1:1 line.

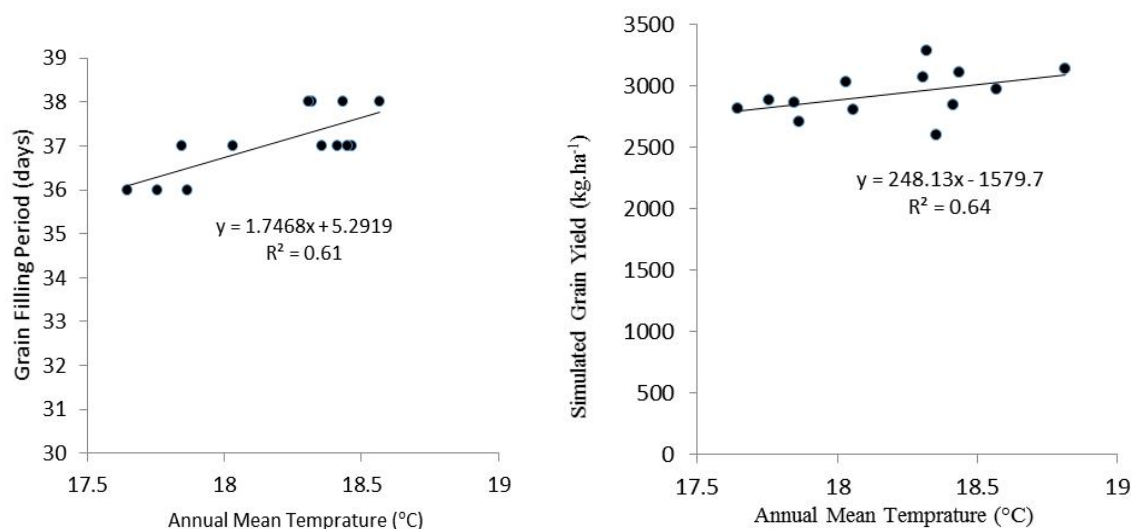
توجه به خروجی مدل WOFOST مشخص شد که با توجه به گرمایش سالانه معادل ۰/۰۷ درجه سانتی‌گراد (جدول ۳) طول مدت پر شدن دانه (فاصله گل‌دهی تا رسیدگی) افزایش داشته است که مقدار آن ۱/۷ روز به‌ازای هر درجه سانتی‌گراد افزایش میانگین دمای سالانه بود (شکل ۳).

بررسی روند تغییرات مراحل فنولوژیک و عملکرد گندم در

نواحی اقلیمی متفاوت

ناحیه ۱: اقلیم گرم و مرطوب سواحل دریای خزر

شبیه‌سازی مراحل فنولوژیک و عملکرد در گرگان به‌عنوان شهر شاخص این ناحیه دقت بالایی نشان داد. بر این اساس مراحل فنولوژیک گندم در گرگان از سال ۲۰۱۲-۱۹۹۲ شبیه‌سازی و با



شکل ۳- تغییرات طول پر شدن دانه (راست) و عملکرد دانه (چپ) گندم با افزایش دمای میانگین سالانه در شرایط گرگان
Fig. 3- Trends of grain filling period (right) and grain yield (left) of wheat related to annual mean temperature rise of Gorgan

کارایی صورت می‌گیرد و با توجه به شرایط بارندگی مناسب، عدم وجود تنش آبی و تعادل نسبی دمای شب و روز، مسئله تنش دمایی و افزایش تنفس مطرح نیست. هرچند به نظر می‌رسد مقدار گرمایش اقلیم در سال‌های اخیر بیشتر شده است، اما هنوز محدوده دمایی مناسب برای گندم در طول دوره پر شدن دانه مهیا می‌باشد. نتایج تحقیق کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2016) نیز نشان داد که تغییر اقلیم در شمال و قسمت‌هایی از شرق کشور کمترین اثرات منفی را داشته است. در پارس‌آباد مغان نیز افزایش عملکرد به مقدار ۳۲۲ کیلوگرم به ازای هر درجه سانتی‌گراد افزایش مشاهده شد (جدول ۶) و روند مشابه گرگان را نشان داد.

عملکرد پتانسیل دانه گندم با افزایش میانگین دمای سالانه با شیب خط ملایمی افزایش می‌یابد (۲۴۸ کیلوگرم به ازای هر درجه سانتی‌گراد افزایش دما)، (شکل ۳).
با در نظر گرفتن اینکه میانگین دمای سالانه در این ناحیه در محدوده ۱۷/۶ تا ۱۸/۸ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته (شکل ۳) و با توجه به اینکه حداقل دمای سالانه در این منطقه با شیب خط کمی افزایش یافته است (جدول ۳)، می‌توان افزایش مختصر طول دوره پر شدن دانه را در ناحیه خزری به تسریع زمان گل‌دهی ناشی از کاهش دوره رشد رویشی گندم نسبت داد. احتمالاً در شرایط اقلیم دریای خزر در محدوده زمانی دوره پر شدن دانه، انتقال مواد با حداکثر

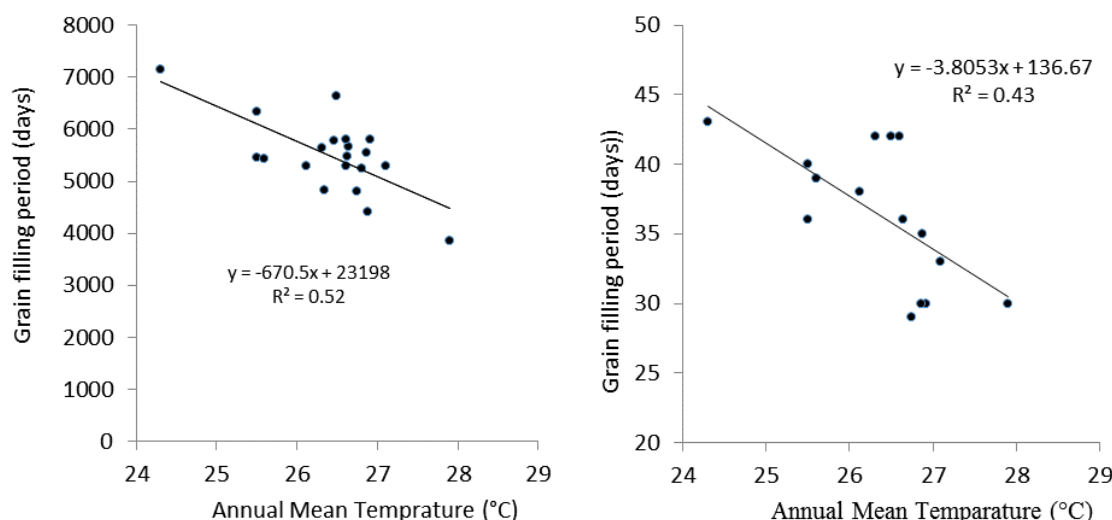
جدول ۶- شیب خط رگرسیون بین طول دوره پر شدن دانه با افزایش دما (روز بر درجه سانتی‌گراد)، عملکرد دانه با افزایش دما (کیلوگرم بر درجه سانتی‌گراد) و عملکرد دانه با طول دوره پر شدن دانه گندم (کیلوگرم بر روز) برای پارس‌آباد مغان (اقلیم گرم و مرطوب سواحل دریای خزر) در طی سال‌های ۹۱-۱۳۷۱

Table 6- Slope of regression line between simulated grain filling period and temperature rise (day.°C⁻¹), grain yield and temperature rise (kg.°C⁻¹) and grain yield and grain filling period (kg.day⁻¹) for Parsabad moghan (Northern Warm and Humid climate) during 1992-2012

شهر City	شیب خط رگرسیون بین طول دوره پر شدن دانه با افزایش دما Slop of regression line between grain filling period and temperature rise	شیب خط رگرسیون بین عملکرد شبیه‌سازی شده دانه با افزایش دما Slop of regression line between simulated grain yield and temperature rise	شیب خط رگرسیون بین عملکرد شبیه‌سازی شده دانه با طول دوره پر شدن دانه Slop of regression line between Simulated grain yield and grain filling period
پارس‌آباد مغان Parsabad Moghan	3.4	322.0	124.4

ناحیه ۲: اقلیم گرم و خشک جنوب

اهواز به‌عنوان شهر شاخص اقلیم جنوب در شبیه‌سازی مراحل گل‌دهی و رسیدگی (شکل ۱) و عملکرد پتانسیل (شکل ۲) دقت

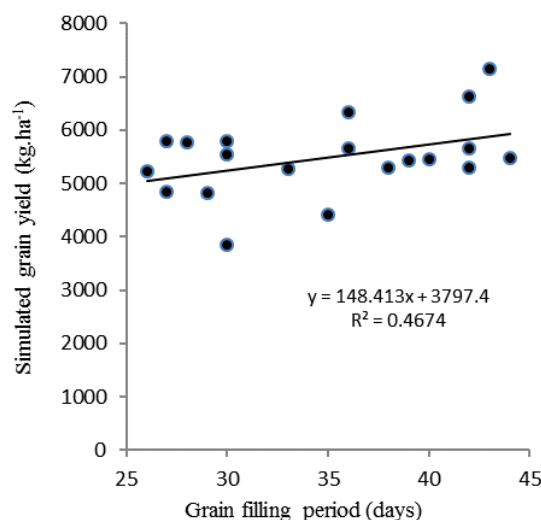


شکل ۴- تغییرات طول پر شدن دانه گندم (راست) و عملکرد دانه (چپ) گندم با افزایش دمای میانگین سالانه در شرایط اهواز
Fig. 4- Trends of grain filling period (right) and grain yield (left) related to annual mean temperature rise of Ahwaz

در مراحل گل‌دهی و رسیدگی، به حادث شدن تنش‌های شدید گرمایی در زمان پر شدن دانه نیز نسبت داد. برخورد با دمای بالاتر از حد مطلوب می‌تواند از طریق افزایش تنفس، کاهش فتوسنتز، کاهش تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه (Modhej et al., 2006)، کاهش تعداد دانه در مترمربع (Delghandi et al., 2014) منجر به کاهش عملکرد بشود. رابطه کاهشی عملکرد دانه به مقدار ۱۴۸ کیلوگرم به‌ازای هر روز کاهش طول دوره رشدی گندم در شرایط اهواز نیز در شکل ۵ مشاهده می‌شود.

دلغندی و همکاران (Delghandi et al., 2014) با بررسی مراحل فنولوژیک و عملکرد گندم در اهواز در دو دوره ۲۰۱۵-۲۰۴۵ و ۲۰۷۰-۲۱۰۰، ضمن تأیید افزایش دما در هر دو دوره مطالعاتی، اعلام کردند که طول دوره رسیدگی یک تا پنج روز برای دوره اول و هفت تا ۲۱ روز برای دوره دوم نسبت به ۳۰ ساله اخیر کاهش یافت. همچنین عملکرد گندم نیز به‌مقدار چهار و ۱۵ درصد به‌ترتیب برای دو دوره تحت مطالعه کاهش نشان داد.

در بررسی تأثیر اقلیم بر دوره رشدی گندم در ناحیه گرم و خشک جنوب توجه به این نکته بسیار حائز اهمیت است که دامنه تغییرات دمای میانگین سالانه در اهواز بین ۲۴/۳ تا ۲۷/۹ درجه سانتی‌گراد بوده است (شکل ۲) که نسبت به دمای مطلوب رشد گیاه گندم نسبتاً تنش‌زا محسوب می‌گردد (Radmehr, 1997). در بین شهرهای مورد مطالعه بیشترین دمای میانگین سالانه، حداکثر سالانه و حداقل سالانه به‌ترتیب با مقادیر ۲۶/۳، ۳۳/۴ و ۱۹/۳ درجه سانتی‌گراد به اهواز اختصاص داشته است (جدول ۱) و روند تغییرات دما در هر سه پارامتر، به‌طور معنی‌داری افزایش داشته است (جدول ۳). دمای محدودکننده رشد برای گندم زمستانه نیز ۳۰ درجه سانتی‌گراد (Eyshi et al., 2014) گزارش شده است و دمای اهواز در مرحله پر شدن دانه بالاتر از این مقدار بوده است (Modhej et al., 2006) که از طریق تأثیر بر باروری گرده‌ها و کاهش تعداد دانه موجب کاهش عملکرد شده است (Eyshi et al., 2014). همچنین به نظر می‌رسد می‌توان دلیل کاهش دوره پر شدن دانه در اقلیم گرم و خشک جنوب را علاوه بر تکمیل سریع‌تر درجه روزهای مورد نیاز



شکل ۵- روند تغییرات عملکرد دانه گندم با تغییر دوره پر شدن دانه در شرایط اهواز
Fig. 5- Trends of wheat grain yield related to changes in grain filling period in Ahwaz

پتانسیل مد نظر قرار گیرد، به طوری که با کاهش تنفس شبانه گندم خصوصاً در طول دوره پر شدن دانه منجر به افزایش عملکرد شود. بنابراین افزایش عملکرد ۸۸ کیلوگرمی به ازای هر درجه افزایش دما چندان دور از انتظار نیست (جدول ۷).

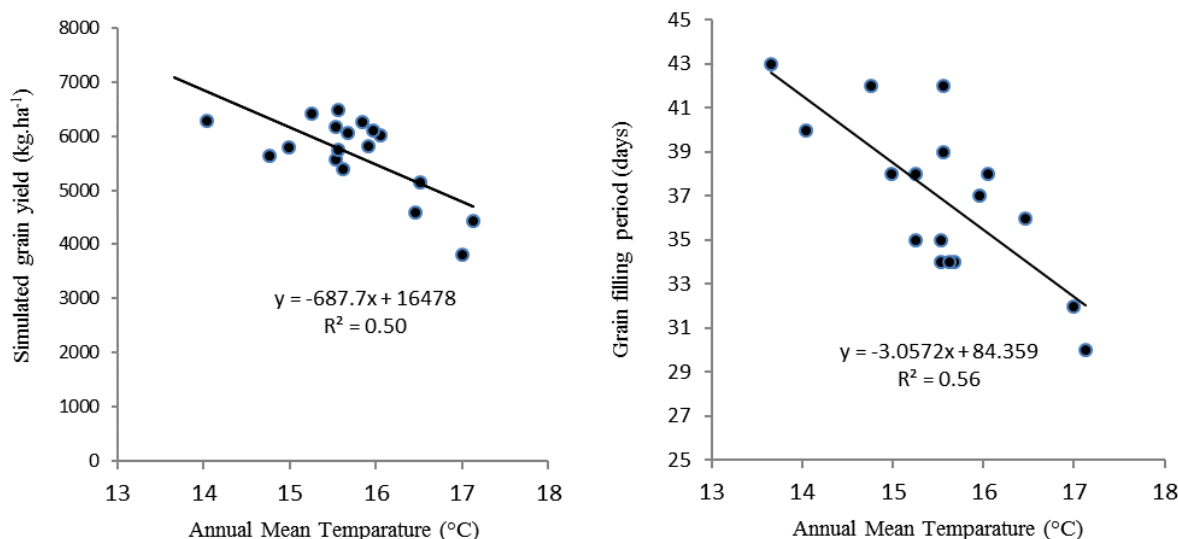
شهرستان‌های زابل و بیرجند با توجه به دامنه دمای بالا و اقلیم نیمه بیابانی آن از روند تغییرات این ناحیه اقلیمی، اما با شیب خط رگرسیون کمتر پیروی کرده است (جدول ۷).

مطالعه شهرهای واقع در ناحیه ۲ اقلیمی شامل زابل، بیرجند و شیراز نیز تا حدودی همین روند را نشان دادند. طول دوره پر شدن دانه در شیراز احتمالاً به دلیل دامنه دمایی پایین تر و دمای متعادل تر شبانه روز، با شیب ملایم‌تری کاهش می‌یابد (کاهش ۰/۲۵ روز به ازای هر درجه افزایش دما) (جدول ۷). عدم معنی‌داری (در سطح ۹۵ درصد) افزایش میانگین دمای سالانه (جدول ۳) نیز مؤید اقلیم نسبتاً پایدار این منطقه می‌باشد. هم‌چنین کاهش دمای حداقل سالانه در اقلیم شیراز (جدول ۳) می‌تواند دلیلی برای افزایش عملکرد

جدول ۷- شیب خط رگرسیون بین طول دوره پر شدن دانه با افزایش دما (روز بر درجه سانتی‌گراد)، عملکرد دانه با افزایش دما (کیلوگرم بر درجه سانتی‌گراد) و عملکرد دانه با طول دوره پر شدن دانه گندم (کیلوگرم بر روز) برای شیراز، زابل و بیرجند (اقلیم گرم و خشک جنوب) در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۲

Table 7- Slope of regression line between simulated grain filling period and temprature rise (day.°C⁻¹), grain yield and temprature rise (kg.°C⁻¹) and grain yield and grian filling period (kg.day⁻¹) for Shiraz, Zabol and Birjand (Southern Warm and Dry climate) during 1992-2012

شهر City	شیب خط رگرسیون بین طول دوره پر شدن دانه با افزایش دما Slop of regression line between grain filling period and temprature rise	شیب خط رگرسیون بین عملکرد شبیه‌سازی شده دانه با افزایش دما Slop of regression line between simulated grain yield and temprature rise	شیب خط رگرسیون بین عملکرد شبیه‌سازی شده دانه با طول دوره پر شدن دانه Slop of regression line between Simulated grain yield and grian filling period
شیراز Shiraz	-0.25	88.54	152.42
زابل Zabol	-0.38	-268.59	54.72
بیرجند Birjand	-1.6	-302.51	81.2



شکل ۶- تغییرات طول پر شدن دانه گندم (راست) و عملکرد دانه (چپ) با افزایش دمای میانگین سالانه در شرایط مشهد
Fig. 6- Trends of grain filling period (right) and grain yield (left) related to annual mean temperature rise of Mashhad

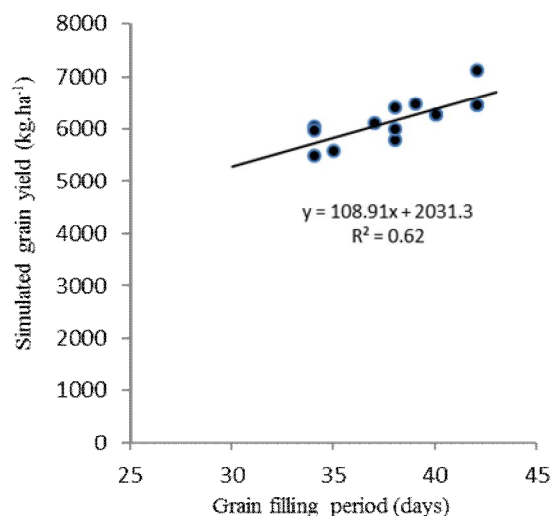
بارندگی و تبخیر و تعرق تعیین‌کننده است (Koocheki & Kamali, 2010)، اما انتظار می‌رود نقش دما علاوه بر کاهش طول دوره پر شدن دانه، با افزایش میزان تبخیر و تعرق و با ایجاد تنش نیز موجب کاهش عملکرد دانه شود.

کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2001) نیز کاهش ۲۶ روزه را در طول دوره رشدی گندم در شبیه‌سازی برای سال ۱۴۰۰ گزارش کردند. آن‌ها کاهش طول دوره رشد گندم را عمدتاً ناشی از کاهش طول دوره رویشی گیاه اعلام کردند و گزارش کردند که طول دوره زایشی کمتر تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار گرفت.

بررسی سایر شهرهای این ناحیه اقلیمی نیز به شرح جدول ۷ می‌باشد؛ و تمام شهرها از روند مشابهی پیروی کردند. کاهش عملکرد با افزایش دما در مشهد به میزان ۶۸۷ کیلوگرم در هکتار (شکل ۶) و در اصفهان به مقدار ۲۴۸ کیلوگرم در هکتار (جدول ۸) به‌ازای هر درجه سانتی‌گراد افزایش دما برای شهرهای واقع در مناطق معتدل مقادیر قابل‌توجهی می‌باشند. کمترین مقدار کاهش عملکرد در دوره مطالعاتی ۲۰۱۲-۱۹۹۲ نیز در کرمانشاه به‌میزان ۵۴ کیلوگرم در هکتار به‌ازای هر درجه سانتی‌گراد افزایش میانگین دمای سالانه مشاهده شد (جدول ۸).

ناحیه ۳: اقلیم معتدل

بررسی مشهد به‌عنوان شهر شاخص در اقلیم معتدل نشان داد که طول دوره پر شدن دانه در این شهر با گرم‌تر شدن دما در طی سال‌های مورد مطالعه با شیب ۳ روز به‌ازای هر درجه سانتی‌گراد افزایش دما، کاهش می‌یابد (شکل ۶). بنابراین افزایش دمای میانگین سالانه (جدول ۳) که منجر به کاهش دوره پر شدن دانه شد، می‌تواند به‌عنوان عاملی جهت کاهش عملکرد در نظر گرفته شود (شکل ۶). با هر روز کاهش طول دوره پر شدن دانه، عملکرد دانه با شیب خط ۱۰۸ کیلوگرم کاهش می‌یابد (شکل ۷). این امر می‌تواند ناشی از تجمع سریع‌تر درجه روزهای رشد گندم در فاصله زمانی گل‌دهی تا رسیدگی باشد. در این صورت، با وجود اینکه مواد فتوسنتزی به‌میزان کافی در گیاه وجود داشته است فرصت انتقال مجدد، در این دوره زمانی داده نشده و منجر به کاهش عملکرد دانه شده است. در طی گذار از مرحله رویشی به زایشی، میزان تسهیم مواد فتوسنتزی بین اندام‌های رویشی و زایشی گیاه (ضرایب تخصیص) متناسب با مراحل نمو گیاه انجام می‌گیرد (Nassiri Mahallati, 1999) هرچند باید این نکته را در تعیین طول فصل رشد و ظهور مراحل مختلف نمو مدنظر قرارداد که در شرایط اقلیمی متفاوت، مجموعه عواملی شامل میانگین دما، میانگین



شکل ۷- روند تغییرات عملکرد دانه گندم با تغییر دوره پر شدن دانه در شرایط مشهد
Fig. 7- Trends of wheat grain yield related to changes in grain filling period in Mashhad

جدول ۸- شیب خط رگرسیون بین طول دوره پر شدن دانه با افزایش دما (روز بر درجه سانتی گراد)، عملکرد دانه با افزایش دما (کیلوگرم بر درجه سانتی گراد) و عملکرد دانه با طول دوره پر شدن دانه گندم (کیلوگرم بر روز) برای کرمان، کرمانشاه، اصفهان، سمنان و خرم آباد (اقلیم معتدل) در طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۲

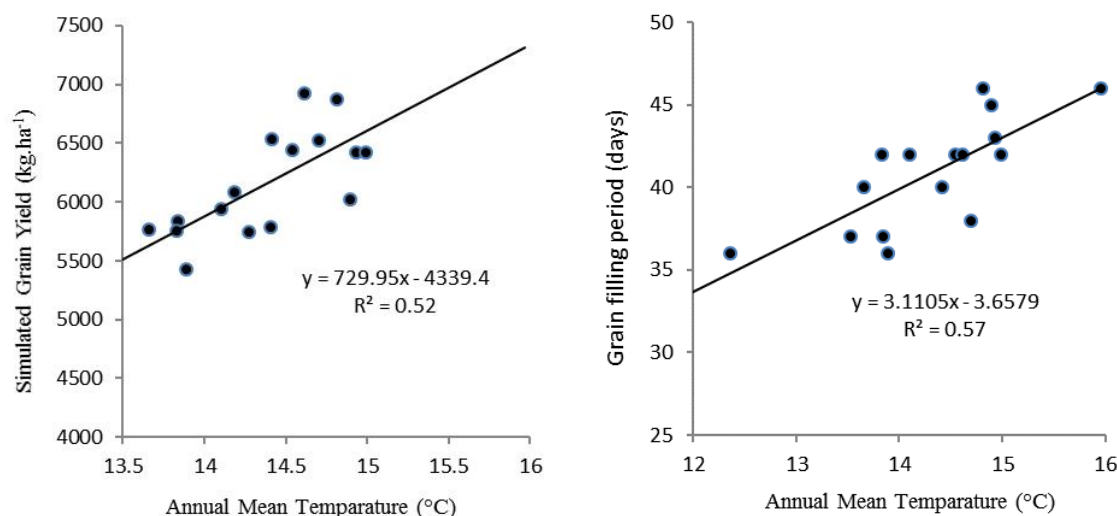
Table 8- Slop of regression line between simulated grain filling period and temprature rise ($\text{day}^{\circ}\text{C}^{-1}$), grain yield and temprature rise ($\text{kg}^{\circ}\text{C}^{-1}$) and grain yield and grian filling period ($\text{kg}^{\circ}\text{day}^{-1}$) for Kerman, Kermanshah, Esfahan, Semnan, Khoramabad (Temperates climate) during 1992-2011

شهر City	شیب خط رگرسیون بین طول دوره پر شدن دانه با افزایش دما Slop of regression line between grain filling period and temprature rise	شیب خط رگرسیون بین عملکرد شبیه سازی شده دانه با افزایش دما Slop of regression line between simulated grain yield and temprature rise	شیب خط رگرسیون بین عملکرد شبیه سازی شده دانه با طول دوره پر شدن دانه Slop of regression line between Simulated grain yield and grian filling period
کرمان Kerman	-2.41	-145.28	56.48
کرمانشاه Kermanshah	-0.2	-54.26	42.57
اصفهان Esfahan	-3.83	-248.92	131.09
سمنان Semnan	-1.84	-102.25	214.22
خرم آباد Khoramabad	-1.88	-190.3	55.95

ناحیه ۴: اقلیم سردسیر

این گرم شدن دمای سالانه برخلاف مناطق گرمسیر و معتدل منجر به گل دهی زودتر و رسیدگی دیرتر در این منطقه شده است. به طوری که طول دوره پر شدن دانه در اراک با افزایش دمای میانگین سالانه سیر صعودی نشان داده است (شکل ۸).

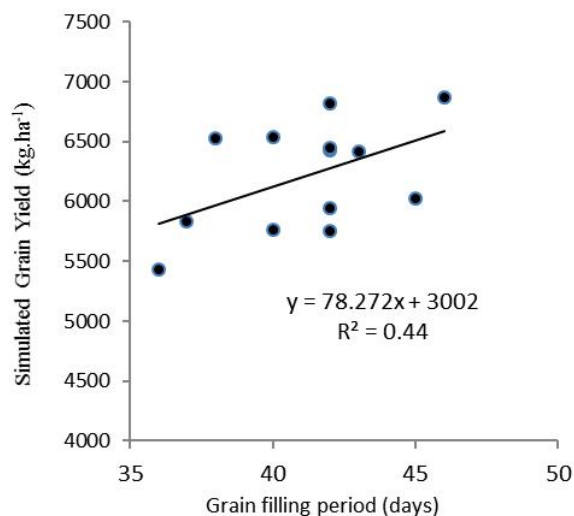
اراک به عنوان شهر شاخص در اقلیم سرد کشور در نظر گرفته شد. این شهر با میانگین دمای سالانه ۱۴/۱ و میانگین حداقل دمای ۷/۳، در طی سال‌های ۱۹۹۲ الی ۲۰۱۲ به طور معنی داری گرم تر شده است ($p = 0.004$ برای خط رگرسیون میانگین دمای سالانه).



شکل ۸- تغییرات طول پر شدن دانه گندم (راست) و عملکرد دانه (چپ) با افزایش دمای میانگین سالانه در شرایط اراک
Fig. 8- Trends of grain filling period (right) and grain yield (left) related to annual mean temperature rise in Arak

دماهای پایین در ابتدای دوره گل‌دهی وجود دارد، به نظر می‌رسد گرمایش دمای میانگین سالانه، مانع بروز این خسارت‌ها شده است و طول دوره پرشدن دانه در محدوده مناسب‌تری از نظر دمایی قرار گرفته است (شکل ۹).

نصیری و همکاران (Nassiri et al., 2006) در پیش‌بینی وقوع اولین یخبندان بهار و پاییزه در اراک، برای سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ به ترتیب ۴ و ۹ روز تسریع در وقوع یخبندان بهار و ۹ و ۱۳ روز تأخیر در یخبندان پاییزه را گزارش کردند و افزایش طول فصل رشد را تأیید کردند. با توجه به اینکه در مناطق سردسیر احتمال بروز



شکل ۹- روند تغییرات عملکرد دانه گندم با تغییر دوره پر شدن دانه در شرایط اراک
Fig. 9- Trends of wheat grain yield related to changes in grain filling period in Arak

خسارت‌ها می‌تواند موجب افزایش عملکرد گندم شود. عملکرد دانه در شرایط اقلیم سرد اراک به تبع این زمان و دمای مناسب، افزایش قابل توجهی (۷۲۹ کیلوگرم به‌ازای هر درجه افزایش دما) را نشان داد (شکل ۸). تمام شهرهایی که از نظر اقلیمی در شرایط سردسیر قرار گرفته بودند، روند مشابهی را نشان دادند (جدول ۹).

هر چند بروز سرما در تمام مراحل رشدی گندم می‌تواند خسارت‌زا باشد، اما بیشترین خسارت سرما در مرحله گل‌دهی اتفاق می‌افتد (Sarmadnia, 1995). سرمای دیررس بهاره می‌تواند از طریق کلروز برگ و اختلال در کلروفیل‌سازی و همچنین عدم تشکیل یا عدم تکامل سنبله در گیاه موجبات کاهش عملکرد را فراهم آورد (Azizi et al., 2010). بنابراین کاهش احتمال بروز این

جدول ۹- شیب خط رگرسیون بین طول دوره پر شدن دانه با افزایش دما (روز بر درجه سانتی‌گراد)، عملکرد دانه با افزایش دما (کیلوگرم بر درجه سانتی‌گراد) و عملکرد دانه با طول دوره پر شدن دانه گندم (کیلوگرم بر روز) برای اردبیل، بجنورد، همدان، ارومیه و تبریز (اقلیم سرد و کوهستانی) در طی سال‌های ۹۱-۱۳۷۱

Table 9- Slope of regression line between simulated grain filling period and temprature rise ($\text{day} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$), grain yield and temprature rise ($\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$) and grain yield and grian filling period ($\text{kg} \cdot \text{day}^{-1}$) for Ardabil, Bojnurd, Hamedan, Orumieh, Tabriz (Temperates climate) during 1992-2011

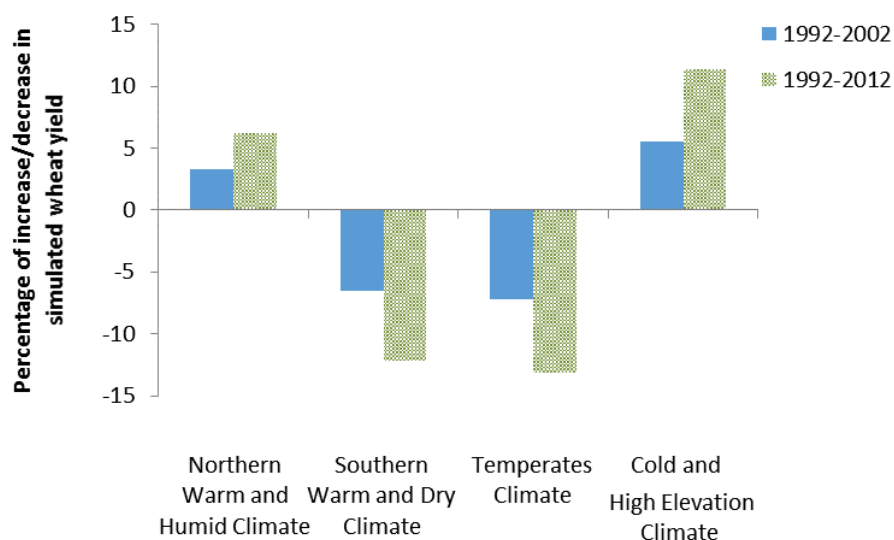
شهر City	شیب خط رگرسیون بین طول دوره پر شدن دانه با افزایش دما Slop of regression line between grain filling period and temprature rise	شیب خط رگرسیون بین عملکرد شبیه‌سازی شده دانه با طول دوره پر شدن دانه Slop of regression line between Simulated grain yield and grian filling period	شیب خط رگرسیون بین عملکرد شبیه‌سازی شده دانه با طول دوره پر شدن دانه Slop of regression line between Simulated grain yield and grian filling period
اردبیل Ardabil	1.03	29.5	119.25
بجنورد Bojnurd	2.31	245.2	65.1
همدان Hamedan	1.83	109.4	142.6
ارومیه Orumieh	2.45	482.6	102.8
تبریز Tabriz	2.04	214.5	62.8

(Agriculture-Jahad, 2015) جهت وزن دهی میزان تولید آن استفاده شد. نتایج نشان داد میانگین عملکرد پتانسیل گندم در کل کشور در طی یک دهه (۱۹۹۲-۲۰۰۲) به‌میزان ۱/۸ درصد و در طی دو دهه (سال ۱۹۹۲ الی ۲۰۱۲) به‌میزان ۳/۲۸ درصد کاهش داشته است. به نظر می‌رسد با توجه به حجم بالای تولید گندم در مناطق گرم و معتدل، کاهش تولید این مناطق اثر بیشتری نسبت به افزایش تولید گندم در مناطق سرد و خزری نشان داده است. مطالعات روی تغییرات عملکرد گندم در سطح جهانی کاهش بین ۴/۱ تا ۶/۴ درصد (Li et al., 2014)، ۶ درصد (Asseng et al., 2015) و ۵/۵ درصد (Lobell et al., 2011) به‌ازای یک درجه سانتی‌گراد افزایش میانگین دمای سالانه را گزارش کرده‌اند. در مطالعه تأثیرات تغییر اقلیم بر محصولات مهم کشاورزی در ایران، میانگین عملکرد گندم در سال

درصد تغییرات عملکرد پتانسیل گندم در سطح کشور نتایج برآورد مدل WOFOST برای عملکرد گندم در شرایط پتانسیل در اقلیم‌های مختلف کشور در طی یک دهه (۱۹۹۲-۲۰۰۲) حاکی از افزایش ۳/۲۵ و ۵/۵ درصد به‌ترتیب در اقلیم‌های خزری و سرد و کاهش ۶/۵۵ و ۷/۲۵ درصد به‌ترتیب در اقلیم‌های گرم و معتدل بود. هم‌چنین در دوره مطالعاتی ۲۰ ساله (۱۹۹۲-۲۰۱۲) افزایشی معادل ۶/۲۵ و ۱۱/۴۲ درصد به‌ترتیب در اقلیم‌های خزری و سرد و کاهش معادل ۱۲/۱۷ و ۱۳/۱۱ درصد به‌ترتیب در اقلیم‌های گرم و معتدل مشاهده شد (شکل ۱۰). باید در نظر داشت که شهرهای مورد مطالعه در هر اقلیم میزان اثرگذاری متفاوتی را در سهم تولید گندم کشور ایفا می‌کنند و لذا برای تصحیح این نسبت، سهم تولید هر شهر (Ministry of

را جبران نموده است (Koocheki et al., 2016).

۲۰۵۰، ۱۸/۶ درصد کاهش خواهد یافت که عمدتاً به دلیل افزایش دما می‌باشد. به‌طوری‌که افزایش CO_2 تنها ۵/۶ درصد از کاهش عملکرد



شکل ۱۰- درصد کاهش/افزایش عملکرد شبیه‌سازی شده گندم در طی یک دهه (سال ۱۳۹۱) و دو دهه (سال ۱۳۷۱) نسبت به سال پایه (۱۹۹۲)

Fig. 10- Percentage of increase/decrease in simulated wheat yield during one decade (2002) and two decades (2012) related to base year (1992)

نتیجه‌گیری

C_3 تنش‌زا نیست، احتمالاً می‌توان این کاهش عملکرد را به تسریع در تجمع درجه روز مورد نیاز ارقام گندم آبی و عدم انتقال کامل مواد فتوسنتزی برگ و ساقه به دانه‌ها دانست. به عبارتی چنانچه به هر طریقی (مثلاً اصلاح ارقامی که GDD گل‌دهی تا رسیدگی بیشتری داشته باشند) بتوان این فرصت را به گیاه داد تا انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای موجود را تکمیل کند، احتمالاً عملکرد افزایش خواهد یافت. در مناطق سردسیر کوهستانی افزایش دما منجر به افزایش دوره پر شدن دانه شد. این افزایش میانگین دمای سالانه عمدتاً به دلیل افزایش حداقل دمای سالانه بوده است؛ و به نظر می‌رسد با افزایش دما، احتمال برخورد مراحل حساس فنولوژیک، مخصوصاً گل‌دهی، با سرماهای خسارت‌زای دیررس بهاره کاهش یافته است. لذا طولانی‌تر شدن دوره پر شدن دانه و قرار گرفتن دوره رشد زایشی گندم محدوده دمای مناسب در این نواحی منجر به افزایش عملکرد گندم شده است. میانگین عملکرد پتانسیل گندم در کل کشور در طی یک دهه (۸۱-۱۳۷۱) به میزان ۱/۸ درصد و در طی دو دهه (۹۱-۱۳۷۱) به میزان ۳/۲۸ درصد کاهش داشته است.

دمای مناطق مختلف ایران در طی دهه‌های گذشته افزایش یافته است. اما تأثیرات این افزایش دما در نقاط مختلف، متفاوت است. در مناطق گرم و مرطوب سواحل دریای خزر، افزایش دما، طول دوره پر شدن و عملکرد را با شدت کمی افزایش داده است. به نظر می‌رسد، بارندگی‌های کافی و رطوبت بالا در این مناطق ثبات نسبی عملکرد را برای ارقام گندم مورد کشت به وجود آورده است و طول دوره پر شدن دانه محدودکننده نبوده است. اما در مناطق گرم و خشک جنوب و نیمه‌بیابانی مرکز و جنوب شرقی، افزایش دما به تدریج با ایجاد تنش در دوره پر شدن دانه از طریق افزایش تنفس نگهداری، کاهش فتوسنتز، کاهش تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه منجر به کاهش عملکرد شده است. این تنش‌ها با توجه به دامنه دمایی این نواحی، احتمالاً به دلیل وقوع دماهای حداکثر بالا بوده است. در مناطق معتدل فلات مرکزی با وجود افزایش دما طول دوره پر شدن دانه کاهش یافته است. با توجه به اینکه دامنه دمایی که در این مناطق در دوره پر شدن دانه گندم حادث می‌شود برای گیاهان

References

1. Ainsworth, E.A., and Long, S.P., 2005. What have we learned from 15 years of Free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂. *New Phytologist* 165: 351–372.
2. Alijani, B., Mahmoudi, P., Salighe, M., and Rigi chahi, A., 2011. Study of annual maximum and minimum tempratures changes in Iran. *Geographical Research* 26(3):101-122. (In Persian with English Summary)
3. Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rotter, R.P., Lobell, D.B., Cammarano, D., Kimball, B.A., Ottman, M.J., Wall, G.W., White, J.W., Reynolds, M.P., Alderman, P.D., Prasad, P.V.V., Aggarwal, P.K., Anothai, J., Basso, B., Biernath, C., Challinor, A.J., De Sanctis, G., Doltra, J., Fereres, E., Garcia-Vila, M., Gayler, S., Hoogenboom, G., Hunt, L.A., Izaurrealde, R.C., Jabloun, M., Jones, C.D., Kersebaum, K.C., Koehler, A.K., Muller, C., Naresh Kumar, S., Nendel, C., O/Leary, G., Olesen, J.E., Palosuo, T., Priesack, E., Eyshi Rezaei, E., Ruane, A.C., Semenov, M.A., Shcherbak, I., Stockle, C., Stratonovitch, P., Streck, T., Supit, I., Tao, F., Thorburn, P.J., Waha, K., Wang, E., Wallach, D., Wolf, J., Zhao, Z., and Zhu, Y., 2015. Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Climate Change* 5: 143-147.
4. Azizi, H., Nezami, A., Khazaei, H., and Nassiri Mahalati, M., 2010. Evaluation of cold tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under field conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research* 6(2): 342-352. (In Persian with English Summary)
5. Bafkar, A., Boroumandnasab, S., Behzad, M., and Farhadi Bansouleh, M., 2014. Estimation of potential yield of grain maize in Mahidasht, Kermanshah using WOFOST, a crop growth simulation model. *Water and Irrigation Management* 42(4): 799-808. (In Persian Persian with English Summary)
6. Boogaard, H.L., van Diepen, C.A., Roetter, R.P., Cabrera, J.M.C.A. and Laar, H.H.V., 1998. WOFOST 7.1: User's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center 1.5. Technical document / DLO Winand Staring Centre; 52. DLO Winand Staring Centre, Wageningen.
7. Boogaard, H., De Wit, A., te Roller, J., and Van Diepen, C., 2014. WOFOST Control Center 2.1: User's guide for WOFOST Control Center 2.1 and the crop growth simulation model WOFOST 7.1. 7. Wageningen, The Netherlands: Alterra.
8. Bromwich, D.H., Nicolas, J.P., Monaghan, A.J., Lazzara, M.A., Keller, L. M., Weidner, G.A., and Wilson, A.B., 2013. Central West Antarctica among the most rapidly warming regions on Earth. *Nature Geoscience* 6: 139–145.
9. Burkart, S., Manderscheid, R., and Weigel, H.J., 2004. Interactive effects of elevated atmospheric CO₂ concentrations and plant available soil water content on canopy evapotranspiration and conductance of spring wheat. *European Journal of Agronomy* 21: 401–417.
10. Catalin, L., Bettina, B., Fabio, M., and Anca, L.D., 2009. Adaptation of WOFOST Model from CGMs to Romania conditions. *Journal of Plant Development* 16: 97–102.
11. Cleland, E.E., Chiariello, N.R., Loarie, S.R., Mooney, H.A., and Field, C.B., 2006. Diverse responses of phenology to global changes in a grassland ecosystem. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103(37): 13740-13744.
12. Delghandi, M., Massah-Bovani, A., Ajorlou, M.J., Broomandnasab, S., and Andarzian, B., 2014. Risk assessment of climate change impacts on production and phenology of wheat (Case study: Ahvaz region). *Water and Irrigation Management*. 4: 161-175. (In Persian with English Summary)
13. Eyshi Rezaei, E., Webber, H., Gaiser, T., Naab, J., and Ewert, F., 2014. Heat stress in cereals: Mechanisms and modelling. *European Journal of Agronomy* 64: 98-113.
14. Gharineh, M., Bakhshandeh, A., Andarzian, B., and Fayeizadeh, N., 2016. Agro-climatic zonation of Khouzestan province based on potential yield of irrigated wheat using WOFOST model. *Agroecology* 4(3): 255-264. (In Persian with English Summary)
15. Hamidianpour, M., Baaghideh, M., and Mohsen Abbasnia, M., 2016. Assessment of the precipitation and temperature changes over South East Iran using downscaling of General Circulation Models outputs. *Physical Geography Research Quarterly* 48(1): 107-124. (In Persian with English Summary)
16. <http://climate.nasa.gov/evidence/>
17. IPCC., 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth

- Assessment Report of the Intergovernmental. Panel on Climate Change [T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. doi:10.1017/CBO9781107415324.
18. Kasmaii, M., 2006. Climate and Architecture. Nashre Khak. Tehran, Iran, 131 pp. (In Persian)
19. Khoshakhlagh, F., Gharibi, E., and Shafiei, Z., 2011. The study of the lowest temperature changes in Iran. Geography and Environmental Planning Journal 42(2): 199-216. (In Persian with English Summary)
20. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Jafari, L., 2016. Evaluation of climate change effect on agricultural production of Iran: I. Predicting the future agroclimatic conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 13(4): 651-664. (In Persian with English Summary)
21. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Sharifi, H.R., Zand, E., and Kamali, G.A., 2001. A simulation study for growth, phenology and yield of wheat cultivars under the doubled CO₂ concentration in Mashhad Conditions. Desert (Biaban) 6(2): 117-127. (In Persian with English Summary)
22. Koocheki, A., Nassiri, M., Alizadeh, A., and Ganjali, M., 2009. Modelling the impact of climate change on flowering behaviour of saffron. Iranian Journal of Field Crops Research 7(2): 583-594. (In Persian with English Summary)
23. Koocheki, A., Nassiri, M. Jamali, J.B., and Marashi, H., 2006. Evaluation of the effects of climate change on growth characteristics and yield of rainfed wheat in Iran. Agricultural Sciences and Technology 20(7): 82-95. (In Persian with English Summary)
24. Koocheki, A., Nassiri, M., Soltani, A., Sharifi, H., and Ghorbani, R., 2006. Effects of climate change on growth criteria and yield of sunflower and chickpea crops in Iran. Climate Research 30: 247-253
25. Koocheki, A., Sharifi, H.R., and Zand, E., 1998. The ecological consequences of global climate change. Jahad Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran. (In Persian)
26. Koocheki, A., and Kamali, G., 2010. Climate change and rainfed wheat production in Iran. Iranian Journal of Field Crops Research 8(3): 508-520. (In Persian with English Summary)
27. Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M., 2008. Impacts of climate change and CO₂ concentration on wheat yield in Iran and adaptation strategies. Journal of Field Crops Research 6(1): 139-153. (In Persian with English Summary)
28. Koppen, W.D., 1936. Das geographische system der klimat. Handbuch der klimatologie: p. 46.
29. Li, Y., Zhou, Q., Zhou, J., Zhang, G., Chen, C., and Wang, J., 2014. Assimilating remote sensing information into a coupled hydrology-crop growth model to estimate regional maize yield in arid regions. Ecological Modelling 291: 15-27.
30. Lobell, D.B., Schlenker, W., and Costa-Roberts, J., 2011. Climate trends and global crop production since 1980. Science 333-616.
31. Masoudian, S.A.A.F., 2004. Temperature trends in Iran during the last half century. Geography and Development. 2(3): 89-106. (In Persian with English Summary)
32. Menzel, A., Sparks, T.H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., Alm-Kubler, K., Bissolli, P., Braslavska, O.G., Briede, A., Chmielewski, F.M., Crepinsek, Z., Curnel, Y., Dahl, A., Defila, C., Donnelly, A., Filella, Y., Jatczak, K., Mage, F., Mestre, A., Nordli, O., Penuelas, J., Pirinen, P., Remisova, V., Scheifinger, H., Striz, M., Susnik, A., Van Vliet, A.J.H., Wielgolaski, F.E., Zach, S., and Züst, A.N.A., 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. Global Change Biology 12: 1969-1976.
33. Ministry of Agriculture-Jahad., 2015. Year book of Agricultural Statistics. 2013. Available at Website: <http://www.maj.ir/Portal/Home/Default.aspx?CategoryID=c5c8bb7b-ad9f-43dd-8502-cbb9e37fa2ce>. (In Persian)
34. Modhej, A., 2006. Effect of heat stress after anthesis on grain yield of wheat and barley genotypes. Conference of German Genetics Society and the German Society for Plant Breeding. p. 95.
35. Moradi, R., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M., 2014. Effect of climate change on maize production and shifting of planting date as adaptation strategy in Mashhad. Sustainable Agriculture and Production Science 23: 111-130. (In Persian)
36. NASA., 2011. Climate change: How do we know? Online at <http://climate.nasa.gov/evidence/>
37. Nassiri Mahallati, M., 1999. Modelling potential crop growth processes. Jahad Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran. 280 pp. (In Persian)
38. Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Kamali, G., and Marashi, H., 2006. Effect of Climate Change on Agroclimatic Indices of Iran. Agricultural Sciences and Technology 20(7): 71-82. (In Persian with English Summary)

39. Nassiri, M., Koocheki, A., Kamali G.A., and Shahandeh, H., 2006. Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science* 52: 113-124.
40. Pachauri, R.K., and Reisinger, A., 2007. IPCC Fourth Assessment Report. Summary for Policymakers.
41. Radmehr, M., 1997. Effect of heat stress on physiology of growth and development of wheat. Ferdowsi University Press. Mashhad, Iran. (In Persian)
42. Saidi, A., and Choukan, R., 2000. Summary of research and research achievements of Seed and Plant Improvement Institute. Nashr-e-Amoozesh Press. Tehran, Iran. 140 pp. (In Persian)
43. Sarmadnia, G., 1995. Effect of low temperature on the growth and yield of five winter wheat cultivars. *Journal of Agricultural Science* 26: 1-9.
44. Seed and Plant Improvement Institute., 1995-2010. Annual Report of Cereal Breeding Projects. Cereal Research Department, Karaj, Iran. (In Persian)
45. Shekhar, C., Singh, D., Singh, R., and Rao, V.U.M., 2008. Prediction of wheat growth and yield using WOFOST model. *Journal of Agrometeorology* 10: 400-402.
46. Shirgholami, H., and Ghahraman, B., 2005. Study of time trends in annual mean temperature of Iran. *Water and Soil science. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 9(1): 24-39. (In Persian with English Summary)
47. Tabari, H., and Hosseinzadeh Talaei, P., 2011. Analysis of trends in temperature data in arid and semi-arid regions of Iran. *Global and Planetary Change* 79: 1-10.
48. Wu, D., Yu, Q., Lu, C., and Hesgsdijk, M., 2006. Quantifying production potentials of winter wheat in north China plain. *European Journal of Agronomy* 24: 226-235.
49. Zahedi, M., Sari Saraf, B., and Jameei, J., 2007. The analysis of spatio-temporal variation of temperature in north-west of Iran. *Geography and Development* 5(10): 183-197. (In Persian with English Summary)



Evaluation of Temperature Changes and Its Impacts on Seed Filling Period and Grain Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.) in Different Regions of Iran (1992-2012)

R. Abbasi Alikamar¹, M. Nassiri Mahallati^{2*} and A. Koocheki²

Submitted: 18-09-2016

Accepted: 11-03-2017

Abbasi Alikamar, R., Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A., 2020. Evaluation of temperature changes and its impacts on seed filling period and grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in different regions of Iran (1992-2012). Journal of Agroecology. 12(1):319-343.

Introduction

It is accepted that the global annual average temperature has been increased during recent decades. The climate of Iran is also affected by this global warming. Some studies indicated the increasing of mean annual temperature of Iran between 3.5-4.5°C by 2050. Crop phenology is directly related to temperature, so climate change could significantly change the phenology and yield of crops. Modelling phenology is a way to simulate the timing of phenological stages based on climatic factors. Amongst models, WOFOST is known as a powerful model for simulation of phenological stages and yield of wheat. In this study climate warming of Iran was evidenced. Based on this fact, trends of potential grain yield and time of flowering and maturity of wheat were studied in different climatic zones of Iran during 1992-2012. It is expected that understanding the thermal induced of phenological changes, can lead us to better field management decision making.

Materials and Methods

Weather data of 18 cities from 4 climatic zones of Iran (northern warm and humid (Zone 1), southern warm and dry (Zone 2), temperate (Zone 3) and cold and high elevation (Zone 4)) were analyzed during 1992-2012 and the long-term trends of air temperature were detected by linear regression. The crop growth simulation model WOFOST, was used to simulate the time of flowering and maturity and also the potential grain yield of winter wheat. Calibration and validation of model was conducted in 4 selected cities from each zone using statistical measures. The consequences of temperature on duration of grain filling period and also yield of wheat were determined.

Results and Discussion

Results indicated that the mean annual air temperature was significantly increased in all cities during 1992-2012. The highest increasing rate (regression line slope) belonged to Ardabil (0.159°C.y⁻¹) and the lowest rate was observed in Pars Abad Moghan (0.06°C.y⁻¹). Validation of WOFOST in 4 selected cities from each climatic zone, showed the perfect ability of model in simulating the flowering and maturity time of wheat. Regression analysis showed that the grain filling period was increased in accordance with temperature rise in zone 1 and 4 whereas it was shortened in zone 2 and 3. Grain yield showed the same trends predicted for grain filling period in different climates. Slope of linear regression between temperature and yield was significant except in Gorgan (Zone 1). In all cities the relation between grain filling period and yield was direct and positive.

Conclusion

Although temperature has increased in all climatic zones of Iran, flowering and maturity time and grain yield of wheat has showed different responses. There was a nonsignificant slope of regression line in the north humid climate, which means that the humidity of northern part of Iran (south of Caspian Sea) enhanced stability for this area. Annual mean temperature in southern warm and dry zone of Iran ranged between 24.3-27.9 °C that could be stressful for wheat, and hence resulted in shorter grain filling period and less grain yield. It seems that in temperate zones (such as Mashhad) increasing temperature caused yield reduction due to faster GDD accumulation and lack of time to complete remobilization of photosynthetic materials. On the other hand, in cold

1-Ph.D. Student of Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

2-Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

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

Doi:10.22067/jag.v12i2.58737

areas increasing temperature could reduce the risk of cold stress in flowering time, resulting in longer grain filling period and higher grain yield. According to WOFOST simulation results, during 20 years study (1992-2012), mean potential yield of wheat increased 6.25 and 11.42 percent in northern warm and humid (Zone 1) and cold and high elevation (Zone 4), respectively and decreased 12.17 and 13.11 percent in southern warm and dry (Zone 2) and temperate (Zone 3), respectively. Total mean potential yield of wheat, by consideration of proportion of each zone in total wheat production of Iran, showed reduction of 1.8% and 3.28% during 1992-2001 period (10 years) and 1992-2012 period (20 years), respectively.

Keywords: Climate change, Global warming, Regression, Simulation, WOFOST



مقاله علمی - پژوهشی

ارزیابی پایداری عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) در مناطق معتدل ایران

علی اکبر مویدی^{۱*}، توحید نجفی میرک^۲، مجید طاهریان^۱، شهریار ساسانی^۳ و داوود امین آزر^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۱

مویدی، ع.^۱، نجفی میرک، ت.^۲، طاهریان، م.^۳، ساسانی، ش.^۴ و امین آزر، د.^۴ ۱۳۹۹. ارزیابی پایداری عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) در مناطق معتدل ایران. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۲(۲): ۳۴۵-۳۵۸.

چکیده

مطالعه اثر متقابل ژنوتیپ× محیط و پایداری عملکرد دانه ارقام در شرایط محیطی مختلف از اهمیت ویژه‌ای در برنامه‌های به‌نژادی گندم (*Triticum aestivum* L.) برخوردار است. به‌منظور مطالعه سازگاری و پایداری لاین‌های امیدبخش گندم دوروم، آزمایشی با تعداد ۱۸ لاین به‌همراه دو رقم شاهد (گندم دوروم هانا و نان پارس) به مدت دو سال زراعی (۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶) در چهار ایستگاه تحقیقاتی (کرج، کرمانشاه، نیشابور و اصفهان) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که حدود ۷۰ درصد از کل تغییرات مربوط به اثر محیط، ۱/۷ درصد مربوط به اثر ژنوتیپ و ۱۲/۵ درصد مربوط به اثر متقابل ژنوتیپ× محیط بود. بررسی بای‌پلات چندضلعی منجر به شناسایی ژنوتیپ‌های مناسب در هر مکان شد. محیط کرج به شرایط محیط ایده‌آل نزدیک بود. بررسی همزمان پایداری و عملکرد ژنوتیپ‌ها با استفاده از بای‌پلات مختصات محیط متوسط نشان داد که ژنوتیپ‌های G_1 ، G_2 و G_{18} جزء ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد و پایداری بالا بودند. نتایج نشان داد که لاین G_{18} می‌تواند در قیاس با رقم شاهد هانا (G_1) به عنوان لاین امیدبخش مطلوب از نظر عملکرد و پایداری در نظر گرفته شود و به عنوان لاین مناسب جهت معرفی در اقلیم معتدل کشور مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ× محیط، GGE بای‌پلات، پایداری، ژنوتیپ برتر

مقدمه

گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) بخش کوچکی معادل پنج درصد از سطح زیر کشت گندم در دنیا و حدود ۱۰ درصد از کل تولید گندم را شامل می‌شود. در سال‌های اخیر میزان تولید گندم دوروم افزایش یافته و به حدود بیش از ۳۰ میلیون تن رسیده که اتحادیه اروپا، کانادا و ایالات متحده ۶۰ درصد این میزان را تولید می‌نمایند. گندم دوروم یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی در منطقه مرکز و غرب آسیا و شمال آفریقا (Central and West Asia and North Africa (CWANA)) و کشورهای حاشیه دریای مدیترانه می‌باشد. منطقه ساوانا سالانه حدود ۱۳ میلیون تن گندم دوروم تولید می‌کند که کشورهای ترکیه، سوریه، مراکش، تونس، الجزایر و ایران ۸۴ درصد این میزان را تولید می‌کنند. بیشتر کشورهای منطقه ساوانا جزء شبکه واردکننده گندم دوروم هستند. در این منطقه تنها سوریه صادرکننده گندم دوروم بوده و ایران پتانسیل

- ۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
- ۲- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
- ۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.
- ۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

(*)- نویسنده مسئول: Email: moayediaali@yahoo.com
Doi: 10.22067/jag.v12i2.85729

بالایی برای تولید گندم دوروم دارد (Mohammadi & Amri, 2013). در ایران سطح زیر کشت گندم دوروم بین ۴۰۰-۳۰۰ هزار هکتار بوده و میزان تولید سالانه آن بین ۶۰۰-۵۰۰ هزار تن می باشد (Najafi Mirak et al., 2019).

شناسایی ژنوتیپ‌های برتر در برنامه‌های اصلاحی همواره به دلیل تغییرات محیطی در مناطق هدف و اثر متقابل این تغییرات با ژنوتیپ‌های مورد بررسی مشکل می باشد. بنابراین، لاین‌های پیشرفته زراعی در برنامه‌های اصلاحی به منظور اطمینان از تولید محصول و پایداری عملکرد بایستی در محیط‌های با شرایط آب و هوایی مختلف و در سال‌های متفاوت ارزیابی شوند (Yan & Rajcan, 2002). یک ژنوتیپ معمولاً در محیط‌های مختلف از لحاظ عملکرد واکنش‌های متفاوتی دارد؛ بطوری که رتبه آن از یک محیط به محیط دیگر تغییر می‌یابد. این تغییرات که در نتیجه اثر متقابل بین ژنوتیپ و محیط ایجاد می‌شود، تحت عنوان اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط شناخته شده است (Allard & Bradshaw, 1964). چنانچه اثر متقابل ژنوتیپ و محیط معنی‌دار باشند، به‌نژادگر نیازمند شناسایی ژنوتیپ‌های پایدار با میزان تولید نسبتاً ثابت در دامنه‌ای از محیط‌های هدف می‌باشد. پایداری ممکن است به‌صورت استاتیکی و یا دینامیکی باشد. پایداری، استاتیکی است، اگر ژنوتیپ‌ها تمایل به حفظ عملکرد یکسان در همه محیط‌ها را داشته باشند و دینامیکی است اگر واکنش‌های عملکرد یک ژنوتیپ دارای یک روال ثابت به تغییرات در محیط‌ها باشد. به عبارت دیگر، واکنش یک ژنوتیپ موازی با میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف باشد (Becker & Leon, 1988). تاکنون مدل‌های آماری زیادی برای تجزیه اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط پیشنهاد شده‌اند. این مدل‌ها از ناپارامتری تا پارامتری تک متغیره و چندمتغیره متفاوت می‌باشد.

از میان روش‌های چند متغیره می‌توان به روش بای پلات که مبتنی بر تجزیه به مولفه‌های اصلی می‌باشد، اشاره نمود (Gabriel, 1971). در روش بای پلات ژنوتیپ‌ها و محیط و اثرات متقابل آن‌ها به‌طور همزمان در یک گراف که بای پلات نامیده می‌شود، نمایش داده می‌شوند. آنچه که در ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بسیار حائز اهمیت می‌باشد، این است که اثر محیط در اکثر موارد بسیار بزرگ بوده، اما قابل بهره برداری نیست، بنابراین حذف اثر محیط از داده‌ها و تمرکز بر اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط حائز اهمیت است (Yan & Kang, 2003). تنها اثر ژنوتیپ و اثر متقابل اثر متقابل ژنوتیپ×محیط است که در گزینش لاین‌های با پایداری عملکرد اهمیت دارند و نکته اساسی این است که دو اثر ژنوتیپ و ژنوتیپ×محیط باید به صورت توأم بررسی شوند. روش

GGE بای پلات (بای پلات ژنوتیپ و ژنوتیپ×محیط)^۱ این امکان را فراهم می‌کند که این دو اثر (ژنوتیپ و ژنوتیپ×محیط) همزمان و به‌صورت ترسیمی مورد بررسی قرار گیرند (Yan, 2001). محققان زیادی روش GGE بای پلات را روشی کارآمد برای بررسی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط معرفی نموده و بیان داشته‌اند که این روش اطلاعات مفیدی در خصوص ژنوتیپ‌ها و محیط‌های تحت بررسی در اختیار محقق قرار می‌دهد. کاربرد GGE بای پلات در گزینش ارقام مناسب برای گندم نان (*Triticum aestivum* L.) (Mohammadi et al., 2017; Omrani et al., 2012; Ahmadi et al., 2016b)، کلزا (*Brassica napus* L.) (Zali et al., 2016) گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) (Pourdad & Jamshid Moghaddam, 2013) گندم دوروم (Mohammadi et al., 2016a) و نخود (*Cicer arietinum* L.) (Farshadfar et al., 2013) گزارش شده است.

هدف از این تحقیق، بررسی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط با استفاده از روش گرافیکی GGE بای پلات در لاین‌های امیدبخش گندم دوروم و شناسایی و معرفی لاین‌های دارای عملکرد اقتصادی بالا و پایدار جهت معرفی و کشت در مناطق مختلف اقلیم‌های معتدل و شناسایی مناطق مطلوب بود.

مواد و روش‌ها

هجده لاین امیدبخش گندم دوروم، که از آزمایشات مقایسه عملکرد لاین‌های پیشرفته گندم دوروم اقلیم معتدل در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ انتخاب شده بودند (جدول ۱)، به همراه گندم دوروم هانا و گندم نان پارس به عنوان ارقام شاهد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) در سه تکرار و در چهار منطقه کرج، اصفهان، کرمانشاه و نیشابور طی دو سال زراعی متوالی (۹۷-۱۳۹۶ و ۹۶-۱۳۹۵) کاشته شدند و مورد مطالعه قرار گرفتند. زمین مورد کشت تحت تناوب دو ساله غلات-آیش بوده و عملیات تهیه زمین شامل شخم کلش بعد از برداشت محصول قبل، یک نوبت شخم بهاره، یک نوبت دیسک، دو بار لولر عمود برهم، کود پاشی و ایجاد فارو بود. بذور آزمایشی قبل از کاشت به منظور جلوگیری از سیاهک پنهان با قارچ کش کاربوکسین تیرام به نسبت دو در هزار ضدعفونی گردید. میزان بذر مصرفی بر اساس ۴۵۰ بذر در متر مربع و بر اساس وزن هزار دانه برای هر لاین تعیین گردید. تاریخ کاشت در مناطق مورد آزمایش، ابتدای آبان بود. کشت به صورت جوی و پشته و آبیاری به‌صورت نشتی انجام گرفت. نوع و میزان کود بر اساس آزمون خاک هر منطقه مصرف گردید. کود پتاس از منبع سولفات پتاس، کود فسفر از منبع

ظهور سنبله و تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، ملاک ۵۰ درصد مساحت هر کرت بود. اندازه‌گیری ارتفاع بوته با استفاده از خط‌کش ۱۰۰ سانتی‌متری و از سطح خاک در کف کرت تا انتهای سنبله، بدون در نظر گرفتن ریشک‌ها، انجام شد. وزن هزار دانه با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس صفت عملکرد در چهار منطقه و دو سال، با استفاده از تجزیه مرکب انجام شد که اثر مکان ثابت و اثر ژنوتیپ و سال تصادفی در نظر گرفته شد. قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب، جهت آزمون همگنی واریانس آزمایشات، از آزمون بارتلت استفاده شد. نتایج آزمون بارتلت بیانگر یکنواختی واریانس آزمایشات بود.

فسفات آمونیوم بصورت پایه و کود ازته از منبع اوره بصورت پایه و سرک به مصرف رسید. هر کرت آزمایشی شامل شش ردیف شش متری به فاصله ۲۰ سانتی‌متر (متر مربع $6 \times 1/2 = 7/2$) بود که قبل از برداشت نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت حذف و بقیه (شش متر مربع) برداشت شد. برای مبارزه با علف‌های هرز پهن برگ و باریک برگ، مخلوطی از علف‌کش‌های گرانستار و پوما سوپر به ترتیب به مقدار ۲۰ گرم و یک لیتر در هکتار در مرحله پنجه‌زنی تا ساقه‌رفتن استفاده شد. در طول دوره رشد علاوه بر مراقبت‌های زراعی، یادداشت برداری صفات مورد مطالعه شامل تعداد روز از کاشت تا ۵۰ درصد ظهور سنبله، تعداد روز تا ۵۰ درصد رسیدگی فیزیولوژیک، ارتفاع بوته، رنگ دانه و وزن هزار دانه به عمل آمد. جهت اندازه‌گیری تعداد روز تا

جدول ۱- نام و شجره ارقام و لاین‌های امید بخش گندم دوروم

Table 1- Name and pedigree of durum wheat cultivars and promising lines

شماره لاین‌ها Lines number	شجره لاین‌ها Pedigree of lines
G ₁	Hana (<i>T. durum</i>)
G ₂	Parsi (<i>T. aestivum</i>)
G ₃	SOOTY_9/RASCON_37//SOMAT_3.1/4/GRO_2/YUAN_1//ARLIN/2*ACO89/3/JUPARE C 2001
G ₄	SOOTY_9/RASCON_37//SOMAT_3.1/5/GUAYACAN
G ₅	INIA/KUCUK/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/8/AVTA/... BOOMER_33/ZAR/3/BRAK_2/AJAIA_2//SOLGA_8/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ ALBA-...
G ₆	P91.272.3.1/3*MEXI75//2*JUPARE C
G ₇	2001/5/ARTICO/AJAIA_3//HUALITA/3/FULVOUS_1/MFOWL_13/4/TECA96/TILO_1/6/... SOOTY_9/RASCON_37//STORLOM/5/TOSKA_26/RASCON_37//SNITAN/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS 4/3/CANELO_9.1/6...
G ₈	SOOTY_9/RASCON_37//SOMAT_3.1/3/SOOTY_9/RASCON_37//STORLOM/4/SOOTY_9/RASCON_37/ /GUAYACAN..
G ₉	PLATA_6/GREEN_17//SNITAN/4/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3/3/AUK/GUIL//GREEN/5/RCOL/GUAN AY*2//SOMAT_3/GREEN_22
G ₁₀	PLATA_6/GREEN_17/3/CHEN/AUK//BISU*2/5/PLATA_3//CREX/ALLA/3/SOMBRA_20/4/SILVER_14/ MOEWE
G ₁₁	P91.272.3.1/3*MEXI75//2*JUPARE C
G ₁₂	2001/5/PLATA_6/GREEN_17//SNITAN/4/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3... MÂALI/5/LOTUS_5/SORD_1/3/CANELO_8//SORA/2*PLATA_12/4/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3/3/A UK/GUIL//GREEN
G ₁₃	SCRIP_1//DIPPER_2/BUSHEN_3/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1
G ₁₄	1A.1D 5+1-06/3*MOJO/RCOL/3/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4
G ₁₅	PLATA_6/GREEN_17/3/CHEN/AUK//BISU*2/5/PLATA_3//CREX/ALLA/3/SOMBRA_20/4/... TAMAROI/8/R143/RUFF//STIL/3/YAV79/4/SHWA/MALD/5/ALTAR
G ₁₆	84/6/TILO_1/LOTUS_4/7/CAMAYO
G ₁₇	ADAMAR_15//ALBIA_1/ALTAR_84/3/SNITAN/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/...
G ₁₈	WID22202/5/TOSKA_26/RASCON_37//SNITAN/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/6/...
G ₁₉	SOOTY_9/RASCON_37//JUPARE C 2001/6/PLATA_6/GREEN_17/3/CHEN/AUK//BISU/5/PLATA_3//...
G ₂₀	ZHONG ZUO/2*GREEN_3//SORA/2*PLATA_12/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/...

حفظ کرده و GGE را به دو جزء ضریبی تجزیه می‌کند (Yan et al., 2000). مدل استفاده شده در GGE بای‌پلات به صورت معادله ۱ است:

بررسی پایداری عملکرد دانه ارقام و لاین‌ها با استفاده از روش‌های چندمتغیره GGE بای‌پلات انجام شد. روش GGE بای‌پلات، اثر ژنوتیپ (G) و اثر متقابل ژنوتیپ×محیط (GE) را با هم

2016b) در ارزیابی عملکرد و پایداری عملکرد در ژنوتیپ‌های گندم نان بیان کردند که سهم محیط، اثر متقابل ژنوتیپ×محیط و ژنوتیپ در توجیه میانگین مربعات کل به ترتیب ۶/۸۹، ۱۵/۶ و یک درصد بود.

میانگین دو ساله عملکرد دانه لاین‌ها و ارقام گندم مورد بررسی برای ایستگاه‌های اصفهان، کرج، کرمانشاه، و نیشابور و همچنین میانگین کل عملکرد دانه برای این لاین‌ها و ارقام در جدول ۳ ارائه شده است.

نتایج نشان داد که در ایستگاه اصفهان میانگین دامنه دو ساله عملکرد دانه لاین‌های مورد ارزیابی ۸/۱۶-۶/۸۵ تن بوده و لاین G19 کمترین و لاین G6 بیشترین میانگین عملکرد را داشتند. میانگین کل عملکرد دانه در این ایستگاه ۷/۳۴ تن در هکتار بود. در ایستگاه کرج میانگین دامنه عملکرد دانه لاین‌های مورد مطالعه ۶/۳۰ تا ۷/۹۳ تن در هکتار بوده و ژنوتیپ G20 کمترین و لاین G18 بالاترین میانگین عملکرد دانه را دارا بودند (جدول ۳). میانگین کل عملکرد دانه در این ایستگاه ۷/۰۴ تن در هکتار بود. در ایستگاه کرمانشاه دامنه میانگین عملکرد دانه لاین‌های مورد مطالعه ۶/۸۹ تا ۹/۰۴ تن در هکتار و لاین‌های G4 و G2 به ترتیب کمترین و بیشترین میانگین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۳). میانگین کل عملکرد دانه در این ایستگاه ۷/۸۸ تن در هکتار بود. در ایستگاه نیشابور دامنه میانگین عملکرد دانه لاین‌های مورد مطالعه ۵/۲۳ تا ۵/۹۰ تن در هکتار و لاین‌های G16 و G10 به ترتیب کمترین و بیشترین میانگین عملکرد دانه را داشتند. میانگین کل عملکرد دانه در این ایستگاه ۵/۵۶ تن در هکتار بود. در مجموع، تمام مکان‌ها مشاهده شد که میانگین عملکرد دانه لاین‌های مورد ارزیابی در دامنه‌ای بین ۶/۵۷ تا ۷/۲۶ تن در هکتار و لاین‌های G20 و G2 به ترتیب کمترین و بیشترین عملکرد دانه را داشتند. میانگین کل عملکرد دانه برای مکان‌ها و سال‌های اجرای آزمایش ۶/۹۹ تن در هکتار بود. نتایج نشان داد که لاین‌های G6 و G16 از جمله لاین‌هایی بودند که میانگین عملکرد از میانگین عملکرد رقم شاهد دنا (G1) بیشتر بود (جدول ۳).

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = g_{1i}e_{1j} + g_{2i}e_{2j} + \varepsilon_{ij} \quad (۱)$$

g_{1i} و e_{1j} : نمره‌های اولیه برای ژنوتیپ i و محیط j ، g_{2i} و e_{2j} : نمره‌های ثانویه برای ژنوتیپ i و محیط j و ε_{ij} : باقیمانده‌ای است که به وسیله اثرات اولیه و ثانویه توضیح داده نمی‌شود. یک بای‌پلات GGE با رسم g_{1i} در مقابل g_{2i} و e_{1j} در مقابل e_{2j} در یک نمودار پراکنش، رسم می‌شود. نمره‌های اولیه از طریق تجزیه به مقادیر منفرد^۱ (SVD) تجزیه شده و به صورت معادله ۲ تبدیل می‌شوند:

$$Y_{ij} - \mu - \beta_j = \lambda_1 \xi_{1i} \eta_{1j} + \lambda_2 \xi_{2i} \eta_{2j} + \varepsilon_{ij} \quad (۲)$$

λ_1 و λ_2 : به ترتیب مقادیر منفرد اولین و دومین مؤلفه اصلی (PC_1 و PC_2)، ξ_{1i} و ξ_{2i} : به ترتیب بردارهای ویژه ژنوتیپ i ام برای PC_1 و PC_2 و η_{1j} و η_{2j} : به ترتیب بردارهای ویژه محیط j ام برای PC_1 و PC_2 می‌باشند (Yan et al., 2000; Yan, 2001). به منظور ترسیم نمودارهای GGE بای‌پلات و تجزیه واریانس مرکب داده‌ها از نرم‌افزارهای ADEL-R و GE-R استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر اصلی سال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، در حالی که اثر اصلی مکان و همچنین اثر اصلی ژنوتیپ معنی‌دار نبود. اثر متقابل ژنوتیپ×سال و نیز اثر متقابل سه جانبه ژنوتیپ×سال×مکان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند که نشانگر وجود اثر متقابل ژنوتیپ×محیط بود. همچنین نتایج حاکی از آن بود که حدود ۷۰ درصد از کل تغییرات مربوط به اثر محیط، ۱/۷ درصد مربوط به اثر ژنوتیپ و ۱۳/۵ درصد مربوط به اثر متقابل ژنوتیپ×محیط بود (جدول ۲). هرچند اثر متقابل ژنوتیپ×محیط منبع اصلی تغییرات نبود، اما حدود هشت برابر اثر ژنوتیپ نقش داشت. نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققان گزارش شده است (Yan et al., 2000; Fan et al., 2007; Rose et al., 2008). کم بودن اثر ژنوتیپ در توجیه تنوع موجود احتمالاً به این دلیل می‌باشد که در سال‌های گذشته در برنامه‌های به‌نژادی گندم دوروم ژنوتیپ‌های برتر از لحاظ عملکرد انتخاب شده و این ژنوتیپ‌های برتر در آزمایشات چندمحیطی نسبت به محیط و اثر متقابل ژنوتیپ×محیط نقش کمتری در توجیه تنوع موجود داشته‌اند. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., ۲۰۱۷) نیز نتایج مشابهی را در تجزیه واریانس مرکب داده‌های گندم دوروم گزارش کردند.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه لاین‌های گندم دوروم در چهار مکان و دو سال

Table 2- Combined analysis of variance for durum wheat genotypes in four locations and two years

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	واریانس توجیه شده
S.O.V.	df	Mean of squares	Explained variance
مکان	3	127.14 ^{ns}	43.22
Location			
سال	1	17.48 ^{**}	1.98
Year			
مکان×سال	3	61.63 ^{**}	20.95
Location× year			
بلوک (آزمایش)	16	1.54	2.79
Block (experiment)			
ژنوتیپ	19	0.78 ^{ns}	1.68
Genotype			
ژنوتیپ×مکان	57	0.67 ^{ns}	4.33
Genotype× location			
ژنوتیپ× سال	19	1.27 ^{**}	2.73
Genotype× year			
ژنوتیپ×مکان×سال	57	1.04 ^{**}	6.46
Genotype× location × year			
اشتباه آزمایشی	304	0.46	15.85
Error			
ضریب تغییرات	-	9.6	-
CV (%)			

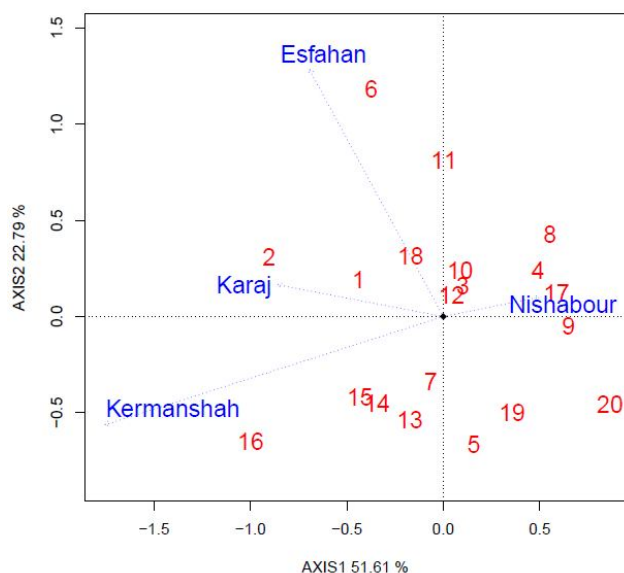
جدول ۳- میانگین عملکرد دانه ارقام و لاین‌های امید بخش گندم دوروم در چهار مکان (اصفهان، کرج، کرمانشاه و نیشابور) (۱۳۹۵-۹۷)

Table 3- Mean of grain yield of durum wheat cultivars and promising lines in four locations (Isfahan, Karaj, Kermanshah and Neishabour) (2016-2018)

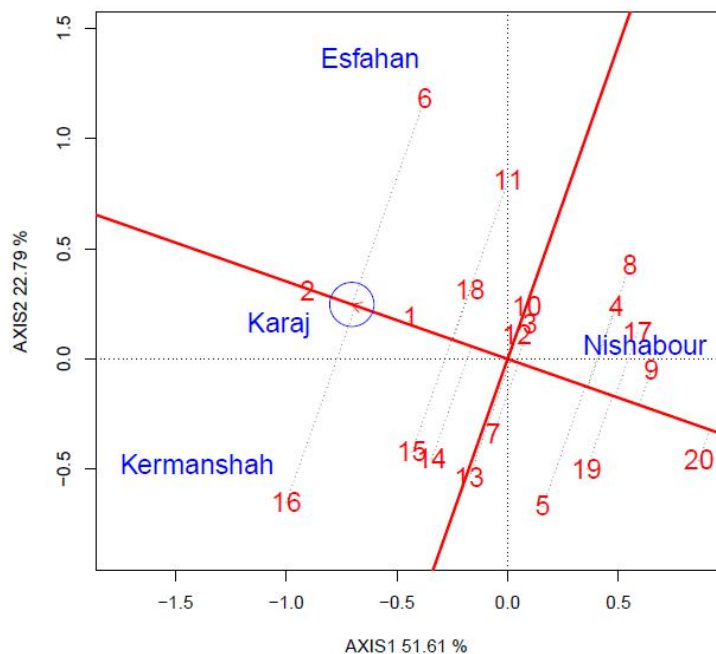
گندم‌های لاین کد	رقم/لاین	عملکرد دانه				
		Grain yield (t.ha ⁻¹)				
		اصفهان	کرج	کرمانشاه	نیشابور	میانگین
Code of wheat lines	Cultivar/Line	Isfahan	Karaj	Kermanshah	Neishabour	Mean
G ₁	Hana (<i>T. durum</i>)	7.600	7.211	8.499	5.386	7.120
G ₂	Parsi (<i>T. aestivum</i>)	7.924	7.039	9.041	5.321	7.264
G ₃	DM-95-3	7.458	6.839	7.879	5.64	6.972
G ₄	DM-95-4	7.382	6.647	6.886	5.427	6.751
G ₅	DM-95-5	6.895	6.961	7.926	5.707	6.907
G ₆	DM-95-6	8.158	7.297	7.744	5.585	7.259
G ₇	DM-95-7	7.127	7.195	8.214	5.77	7.058
G ₈	DM-95-8	7.448	6.780	7.354	5.865	6.901
G ₉	DM-95-9	7.064	6.900	7.133	5.471	6.703
G ₁₀	DM-95-10	7.504	6.908	7.959	5.903	7.076
G ₁₁	DM-95-11	7.853	6.989	7.608	5.542	7.048
G ₁₂	DM-95-12	7.374	7.111	8.19	5.615	7.004
G ₁₃	DM-95-13	7.148	6.825	8.038	5.342	6.909
G ₁₄	DM-95-14	7.212	7.058	8.266	5.47	7.040
G ₁₅	DM-95-15	7.286	7.017	8.431	5.545	7.098
G ₁₆	DM-95-16	7.214	7.603	8.507	5.226	7.228
G ₁₇	DM-95-17	7.148	7.117	7.693	5.897	6.899
G ₁₈	DM-95-18	7.338	7.933	7.31	5.277	7.058
G ₁₉	DM-95-19	6.851	7.156	7.726	5.647	6.847
G ₂₀	DM-95-20	6.897	6.303	7.212	5.585	6.574
Mean	میانگین	7.344	7.044	7.881	5.561	6.986

نمایش چندضلعی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط در آزمایشات چند محیطی بهترین راه برای مشاهده الگوهای اثرات متقابل بین ژنوتیپ-ها و محیطها به منظور تفسیر مؤثر بای پلات و مطالعه وجود احتمالی گروههای محیطی در یک منطقه است (Yan et al., 2000). نتایج حاصل از روش GGE بای پلات نشان داد که مؤلفه های اصلی اول و دوم به ترتیب ۵۱/۶۱ و ۲۲/۷۹ درصد و در مجموع ۷۴/۴ درصد از کل تغییرات را توجیه کردند (شکل ۱). محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2016b) در ارزیابی پایداری عملکرد ژنوتیپهای گندم نان در ۲۱ محیط بیان کردند که نتایج GGE بای پلات ۳۹/۱۹ درصد تغییرات را توجیه کرد، در حالی که در بررسی پایداری عملکرد ژنوتیپهای گندم نان توسط عمرانی و همکاران (Omran et al., 2017) GGE بای پلات در ۱۲ محیط، حدود ۸۲ درصد تغییرات را توجیه کرد. در هر حال، اگر مجموع مؤلفه های اصلی اول و دوم نتوانند اکثر تغییرات موجود را توجیه نمایند، نشان دهنده ماهیت پیچیده اثر متقابل ژنوتیپ×محیط بوده، اما الزاماً به معنای غیرمعتبر بودن بای پلات نیست (Yan & Tinker, 2005). در شکل ۱، نمایش گرافیکی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط ۲۰ لاین و رقم مورد مطالعه در چهار مکان نشان داده شده است. در این شکل ژنوتیپهایی که بیشترین فاصله را از مرکز بای پلات دارند، به وسیله تعدادی خطوط مستقیم به هم وصل شده و سایر ژنوتیپها در درون چندضلعی قرار می گیرند. ژنوتیپهایی که در رئوس چند ضلعی قرار دارند از لحاظ عملکرد دانه بهترین یا ضعیفترین ژنوتیپها در یک یا چند محیط محسوب می شوند، زیرا بیشترین فاصله را از مرکز بای پلات دارند (Yan & Kang, 2003). بر هر ضلع چندضلعی یک عمود از مرکز بای پلات رسم می شود که بای پلات را به چندین بخش تقسیم می کند و محیطها در بخشهای یکسان و یا متفاوتی قرار می گیرند. بررسی نمودار چند ضلعی به منظور تعیین لاینهای برتر در محیطهای مختلف و مشخص نمودن محیطهای بزرگ (شکل ۱) نشان داد که لاینهای G₆، G₈، G₂₀، G₅، G₁₆ و G₂ در رئوس چند ضلعی قرار دارند. براساس شکل ۱ محیطها به چهار گروه و ژنوتیپها به شش گروه تقسیم شدند. اولین محیط شامل محیط اصفهان با ژنوتیپ برتر G₆، دومین محیط شامل محیط کرج با ژنوتیپ برتر G₂، سومین محیط شامل محیط کرمانشاه با ژنوتیپ برتر G₁₆ و محیط چهارم، نیشابور با ژنوتیپ برتر G₂₀ بود. علاوه بر موارد فوق،

ژنوتیپهای موجود در هر بخش دارای شباهت زیادی به یکدیگر بودند. به عنوان مثال، ژنوتیپ G₁ در محیط کرج مشابه ژنوتیپ G₂ بود. همچنین ژنوتیپهای G₁₃، G₁₄، G₁₅ و G₇ در محیط کرمانشاه مشابه ژنوتیپ برتر G₁₆ بودند و سازگاری خوبی به محیط مذکور داشتند هر چند که به اندازه ژنوتیپ G₁₆ برتر نبودند. تفاوت عملکرد ژنوتیپها در محیطهای مختلف، نشان دهنده اثر متقابل کراس آوری است که در آن رتبه ژنوتیپها در محیطهای مختلف، متفاوت می باشد (Yan & Tinker, 2005). ژنوتیپهای G₅ و G₈ در هیچ کدام از محیطها برتر نبودند. ژنوتیپهای G₃، G₁₀ و G₁₂ که در نزدیک مرکز بای پلات قرار داشتند دارای عملکرد متوسطی در تمام محیطها بودند. برای بررسی هم زمان پایداری و عملکرد لاینها از نمودار مختصات محیط متوسط (AEC)^۲ استفاده شد (شکل ۲). استفاده از نمودار مختصات محیط متوسط در روش GGE بای پلات از روشهای مفید و مؤثر تجزیه پایداری به شمار می رود و اطلاعات خوبی از نحوه تظاهر ژنوتیپهای مورد بررسی ارائه می دهد (Kaya, 2006; Samonte et al., 2005). این نمودار، بای پلات میانگین در مقابل پایداری نیز نامیده می شود. خط افقی با دایره و پیکان نشان دهنده پایداری است و هر ژنوتیپی که به این محور نزدیک باشد پایدارتر است (Yan et al., 2000). در عین حال، خط عمودی نشان دهنده متوسط عملکرد ژنوتیپها است و ژنوتیپهای موجود در سمت چپ این خط، دارای عملکرد پایین تر از متوسط کل می باشند. شکل ۲ رتبه بندی ژنوتیپها را بر اساس عملکرد دانه و میزان پایداری عملکرد در چهار مکان نشان می دهد. بر این اساس ژنوتیپهای G₂، G₁ و G₁₈ جزء ژنوتیپهای برتر (عملکرد و پایداری بالا) بودند. بقیه ژنوتیپهایی که در سمت راست خط عمودی قرار داشتند از نظر عملکرد برتر از میانگین و ژنوتیپهایی که در سمت چپ این خط قرار داشتند عملکرد کمتری از میانگین داشتند. لذا ژنوتیپهای G₆، G₁₆، G₁₁، G₁₅ و G₁₄ دارای عملکرد بالا و پایداری پایین بودند و ژنوتیپهای G₁₇، G₁₉، G₈، G₄ و G₅ دارای عملکرد کمتر از متوسط و پایداری کم و ژنوتیپهای G₂₀ و G₉ دارای عملکرد کمتر از متوسط و پایداری بیشتر بودند. ژنوتیپهای G₃، G₁₂ و G₁₀ دارای عملکرد متوسط و نسبتاً پایدار بودند.



شکل ۱- چند ضلعی GGE بای پلات برای شناسایی ارقام و لاین‌های امید بخش برتر گندم دوروم در محیط‌های مختلف
Fig. 1- Polygon of GGE biplot to determine the superior bread wheat cultivars and promising lines in different environments



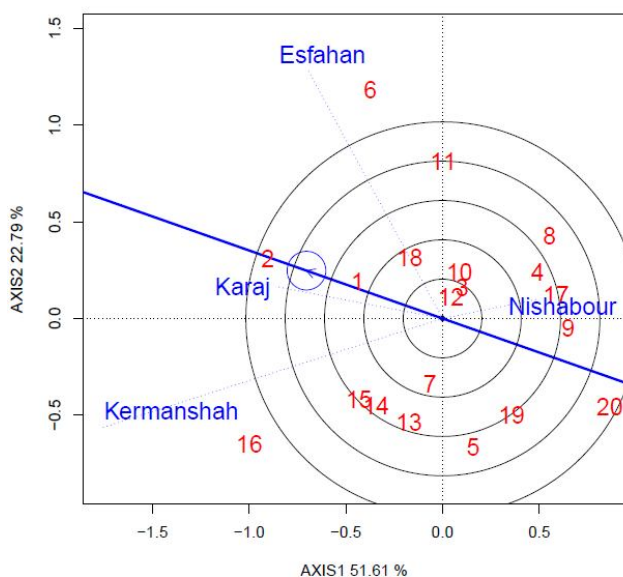
شکل ۲- بای پلات مختصات محیط متوسط (AEC) برای گزینش هم‌زمان عملکرد دانه و پایداری ارقام و لاین‌های امیدبخش گندم دوروم
Fig. 2- Biplot of the average-environment coordination (AEC) for simultaneous selection of grain yield and stability of durum wheat cultivars and promising lines

از ۹۰ درجه بود که نشان می‌دهد این محیط‌ها در رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها مشابه عمل می‌کنند. در مقابل زاویه بین محیط نیشابور با محیط‌های

بر اساس شکل ۳ تشابه زیادی بین محیط‌های کرج و کرمانشاه و نیز کرج و اصفهان وجود داشت. زاویه بین این دو گروه محیطی کمتر

یک محیط نماینده شرایط سایر محیطها در مطالعه مورد نظر است (Blanche & Myers, 2006; Yan & Tinker, 2006). بنابراین، یک محیط ایده‌آل باید ترکیبی از این دو خصوصیت را برای توسعه مواد ژنتیکی سازگار داشته باشد. این خصوصیات در مدل GGE بای‌پلات تحت عنوان «قدرت تفکیک محیطها در مقابل نمایندگی آن‌ها» آورده شده است (Yan & Kang, 2003; Yan & Tinker, 2006). بر اساس شکل ۳، محیط کرج و بعد از آن به ترتیب محیطهای کرمانشاه و اصفهان به شرایط محیطهای ایده‌آل نزدیک هستند. هرچه طول بردار محیطی کوچک‌تر باشد، آن محیط توانایی کمتری در تفکیک بین ژنوتیپها دارد، بر این اساس محیط نیشابور دارای کمترین توانایی در تفکیک و ایجاد تنوع بین ژنوتیپها بود که ممکن است به شرایط آب و هوایی و یا مدیریت زراعی مرتبط باشد. محیطهای کرمانشاه و اصفهان به ترتیب دارای بیشترین توانایی در تفکیک و ایجاد تنوع بین ژنوتیپها بودند. در این میان، محیط کرج از نظر توانایی نمایندگی رتبه اول و از نظر توانایی در تفکیک و ایجاد تنوع بین ژنوتیپها در حد متوسط بود.

کرمانشاه و کرج منفرد و نزدیک ۱۸۰ درجه بود که نشان می‌دهد این دو گروه از محیطها (نیشابور در مقایسه با کرمانشاه و کرج) در تفکیک و رتبه‌بندی ژنوتیپها عکس هم عمل می‌کنند. اگر چه آزمایش‌های چند محیطی برای ارزیابی ژنوتیپها به کار می‌روند، آن‌ها را می‌توان برای ارزیابی محیطها نیز به کار برد. یک محیط ایده‌آل بایستی به طور واضح اختلاف بین ژنوتیپها را نشان دهد و همزمان نماینده خوبی از محیط هدف باشد. مفهوم محیط ایده‌آل برای محیطهایی کاربرد دارد که دارای دو خصوصیت عمده باشند: (۱) محیط توانایی بالا در تفکیک و تمایز بین ژنوتیپها داشته باشد و (۲) نماینده‌ای برای محیطهای دیگر مورد آزمون باشد (Yan & Kang, 2003; Yan & Tinker, 2006). این مفهوم از محیطهای ایده‌آل برای محصولات مختلف از جمله ذرت (*Zea mays* L.) (Fan et al., 2007)، پنبه (Blanche & Myers, 2007)، *Gossypium hirsutum* L.) (Mohammadi et al., 2010a) و گندم دوروم (Dimitrios et al., 2008) مورد استفاده قرار گرفته است. توانایی تفکیک و تمایز یک محیط، به توانایی محیط برای نشان دادن حداکثر تنوع بین ژنوتیپها برمی‌گردد، اما توانایی نمایندگی یک محیط بیان می‌کند که

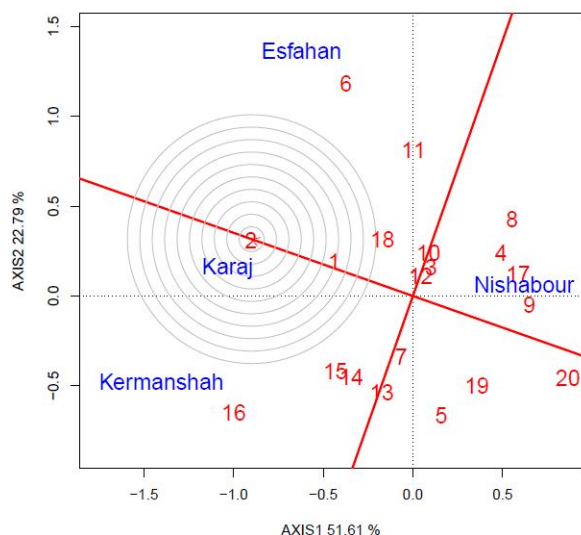


شکل ۳- GGE بای‌پلات که روابط بین محیطها و مقایسه محیطها از نظر «قابلیت تفکیک بین ژنوتیپها در مقابل نماینده بودن» آن‌ها را نشان می‌دهد.

Fig. 3- GGE biplot which shows the relationship among different environments and “discriminative vs. representative of testers”.

بای‌پلات قرار دارد (Yan, 2001). میزان مطلوبیت لاین‌ها به فاصله آن‌ها از ژنوتیپ مطلوب بستگی دارد. ژنوتیپ G_2 به عنوان ژنوتیپ مطلوب بوده و از بین لاین‌های امیدبخش مورد بررسی، نزدیک‌ترین لاین امیدبخش به آن ژنوتیپ G_{18} بود. در مقابل ژنوتیپ‌های G_{20} ، G_{19} ، G_9 ، G_{17} ، G_5 ، G_4 و G_8 به عنوان ژنوتیپ‌های نامطلوب تعیین شدند (شکل ۴).

ژنوتیپ مطلوب باید دارای بیشترین میانگین عملکرد دانه در محیط‌های مورد مطالعه و عملکرد پایدار نسبت به شرایط محیطی باشد (Yan, 2002). چنین ژنوتیپی به‌عنوان ژنوتیپی که دارای بیشترین طول روی بردار میانگین ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالا و دارای حداقل نقش در اثر متقابل ژنوتیپ×محیط باشد تعریف شده است. ژنوتیپ ایده‌آل از نظر مکانی در مرکز دوایر متحدالمرکز

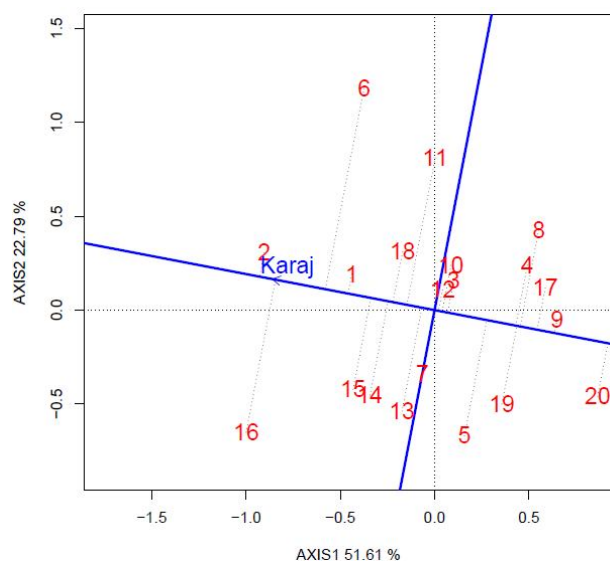


شکل ۴- بای‌پلات مقایسه ارقام و لاین‌های امیدبخش گندم دوروم با ژنوتیپ مطلوب بر مبنای عملکرد و پایداری عملکرد دانه
Fig. 4- Biplot of durum wheat cultivars and promising lines in comparison with ideal genotype based on grain yield and stability

ارقام و لاین‌ها تفاوت قابل توجهی نشان ندادند و همه آن‌ها در محدوده ۲۱۳-۲۱۰ روز بودند. از نظر ارتفاع بونه ارقام و لاین‌ها به‌طور میانگین دارای ارتفاع ۸۸ سانتی‌متر بوده و محدوده تغییرات این صفت بین ۹۲-۸۳ سانتی‌متر بود. کمترین ارتفاع بونه مربوط به لاین G_3 و بیشترین آن مربوط به لاین G_{18} با ارتفاع ۹۲ سانتی‌متر بود. وزن هزار دانه ارقام و لاین‌ها با میانگین ۳۶ گرم بین ۳۲-۳۸ گرم متغیر بود. بیشترین وزن هزار دانه مربوط به لاین‌های G_{11} ، G_{14} و G_{18} و کمترین آن مربوط به ژنوتیپ G_{10} بود. شاهد دوروم و نان هردو دارای وزن هزار دانه ۳۷ گرم بودند. از نظر رنگ دانه هیچ تنوعی بین ارقام و لاین‌ها دیده نشد و همه آنها دارای رنگ دانه زرد کهربائی بودند. از نظر واکنش به بیماری زنگ زرد تمام لاین‌ها مقاوم تا نسبتاً مقاوم بودند. در مورد زنگ قهوه‌ای نیز ژنوتیپ G_9 دارای واکنش نسبتاً حساس و بقیه لاین‌ها مقاوم بودند (جدول ۴).

با توجه به این که ایستگاه کرج نقش هدایت‌کننده‌ای در آزمایشات به‌نژادی گندم دوروم دارد، از این‌رو تظاهر ژنوتیپ‌ها در این محیط بررسی گردید. ژنوتیپ‌های موجود در سمت راست پیکان مربوط به کرج، به عنوان ژنوتیپ‌های مطلوب می‌باشند. بنابراین ژنوتیپ‌های G_2 و G_{16} به عنوان ژنوتیپ مطلوب در محیط کرج شناسایی شدند. خط عمودی بر خط پیکان‌دار، ژنوتیپ‌ها را بر اساس میانگین کل به دو گروه بالاتر از میانگین و پایین‌تر از میانگین تقسیم می‌کند (شکل ۵). میانگین برخی از خصوصیات زراعی لاین‌های مورد بررسی در جدول ۴ ارائه شده است.

از نظر صفت تعداد روز تا سنبله‌دهی ارقام و لاین‌ها در محدوده ۱۷۴-۱۶۹ روز قرارداشتند که کمترین آن مربوط به ژنوتیپ G_{10} و بیشترین آن مربوط به لاین‌های G_3 ، G_{13} و G_{20} می‌باشد. رقم هانا نیز بعد از ۱۷۲ روز به سنبله رفته است. از نظر تعداد روز تا رسیدن نیز



شکل ۵- بای پلات مقایسه ژنوتیپ‌ها در محیط کرج

Fig. 5- Biplot for comparison of genotypes in Karaj environment

جدول ۴- میانگین برخی از خصوصیات زراعی در لاین‌های گندم دوروم

Table 4- Mean of agronomic traits for durum wheat lines

شماره لاین‌ها Lines number	بیماری‌ها Diseases [#]		DHE	DMA	PLH (cm)	K.C.	TKW (g)
	YR	LR					
G ₁	5R/MR	5R	172	212	89	A	37
G ₂	5R	20MR	170	212	90	A	37
G ₃	10R/MR	5R	174	212	83	A	36
G ₄	5MR/MS	15MR	173	212	85	A	35
G ₅	2R	30MR-MS	172	213	87	A	36
G ₆	15R/MR	5R-MR	173	213	88	A	35
G ₇	5R/MR	5R	172	211	87	A	37
G ₈	20MR/MS	15MR	173	213	87	A	36
G ₉	15MR	40MS	171	212	89	A	35
G ₁₀	5R/MR	5R	169	210	88	A	32
G ₁₁	10R	25MR	172	212	88	A	38
G ₁₂	5R/MR	5R-MR	171	211	90	A	37
G ₁₃	10MR	15R-MR	174	213	90	A	36
G ₁₄	5R/MR	15MR	171	211	86	A	38
G ₁₅	5R	15MR	171	211	88	A	37
G ₁₆	5R	5R	171	211	90	A	37
G ₁₇	15MR	5R	173	213	88	A	35
G ₁₈	10R/MR	5R	173	211	92	A	38
G ₁₉	5R	10MR	173	211	87	A	37
G ₂₀	10MR/MS	5R-MR	174	213	87	A	35

YR: زنگ زرد، LR: زنگ قهوه‌ای، DHE: تعداد روز تا سنبله‌دهی، DMA: تعداد روز تا رسیدگی، PLH: ارتفاع بوته، KC: رنگ دانه، TKW: وزن هزار دانه

YR: Yellow rust, LR: leaf rust, DHE: number of days to heading stage, DMA: number of days to maturity stage, PLH: plant height, KC: kernel color, TKW: 1000-kernel weight.

ایستا (آمار) است (Pourdad & Jamshid Moghaddam,)

(2013)، روش GGE بای پلات مبتنی بر مفهوم پایداری زراعی است

نتیجه‌گیری

موضوع پایداری شامل دو بخش پایداری پویا (زراعی) و پایداری

محیط‌های مربوط به هریک از مکان‌های کرج، کرمانشاه و اصفهان کمتر از ۹۰ درجه بود. این امر نشان می‌دهد که محیط‌های مربوط به هریک از این سه مکان تمایلی به واگرایی نداشتند. ژنوتیپ‌های G_2 ، G_1 و G_{18} جزء ژنوتیپ‌های برتر از نظر عملکرد و پایداری بالا بودند. نتایج نشان داد لاین G_{18} می‌تواند در قیاس با رقم شاهد هانا (G_1) به عنوان لاین امیدبخش مطلوب از نظر عملکرد و پایداری در نظر گرفته شود و به عنوان کاندید در اقلیم معتدل کشور مد نظر قرار گیرد.

و ژنوتیپ‌های انتخابی با این روش علاوه بر پایداری از عملکرد بالایی هم برخوردار هستند. بدین ترتیب، GGE بای‌پلات روش گرافیکی مناسبی برای گزینش همزمان عملکرد و پایداری ارقام و لاین‌ها می‌باشد. بر اساس نتایج این پژوهش، در محیط اصفهان ژنوتیپ G_6 ، در محیط کرج ژنوتیپ G_2 ، در محیط کرمانشاه ژنوتیپ برتر G_{16} و در محیط نیشابور ژنوتیپ G_{20} برترین ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد و پایداری بودند و سازگاری خصوصی مناسبی در این مناطق داشتند. محیط کرج به شرایط محیط ایده‌آل نزدیک بود. حداکثر زاویه بین

References

- 1- Ahmadi, J., Mohammadi, A., and Najafi Mirak, T., 2012. Targeting promising bread wheat (*Triticum aestivum* L.) lines for cold climate growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analyses. *Journal of Agricultural Science and Technology* 14: 645-657.
- 2- Allard, R.W., and Bradshaw, A.D., 1964. Implication of genotype-environment interaction in applied plant breeding. *Crop Science* 5: 503-506.
- 3- Becker, H.C., and Leon, J., 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding* 101:1-23.
- 4- Blanche, S.B., and Myers, G.O., 2006. Identifying discriminating locations for cultivar selection in Louisiana. *Crop Science* 46: 946-949.
- 5- Dimitrios, B., Christos, G., Jesus, R., and Eva, B., 2008. Separation of cotton cultivar testing sites based on representativeness and discriminating ability using GGE Biplots. *Agronomy Journal* 100: 1230-1236.
- 6- Fan, X.M., Kang, M.S. Chen, H., Zhang, Y., Tan, J., and Xu, C., 2007. Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China. *Agronomy Journal* 99: 220-228.
- 7- Farshadfar, E., Rashidi, M., Jokar, M.M., and Zali, H., 2013. GGE biplot analysis of genotype $\times$ environment interaction in chickpea genotypes. *European Journal of Experimental Biology* 3(1): 417-423.
- 8- Gabriel, K.R., 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika* 58: 453-467.
- 9- Mohammadi, R., and Amri, A., 2013. Genotype $\times$ environment interaction and genetic improvement for yield and yield stability of rainfed durum wheat in Iran. *Euphytica* 192: 227-249.
- 10- Mohammadi, R., Armion, M., Sadeghzadeh, B., Golkari, S., Khalilzadeh, G., Ahmadi, H., Abedi-Asl, G., and Eskandari, M., 2016a. Assessment of grain yield stability and adaptability of rainfed durum wheat breeding lines. *Applied Field Crops Research* 29(4): 25-42. (In Persian with English Summary)
- 11- Mohammadi, M., Hosseinpour, T., Armion, M., Khanzadeh, H., and Ghojogh, H., 2016b. Analysis of genotype, environment and genotype $\times$ environment interaction in bread wheat genotypes using GGE biplot. *Agricultural Communications* 4(3): 1-8.
- 12- Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M., and Zali, H., 2019. Evaluation of durum wheat cultivars and promising lines for yield and yield stability in warm and dry areas using AMMI model and GGE Biplot. *Journal of Crop Breeding* 10(28): 1-12. (In Persian with English Summary)
- 13- Omrani, S., Mohammad Naji, A., and Esmaeilzadeh Moghaddam, M., 2017. Yield stability analysis of promising bread wheat lines in southern warm and dry agroclimatic zone of Iran using GGE biplot model. *Journal of Crop Breeding* 23(9): 157-165.
- 14- Pourdard, S.S., and Jamshid Moghaddam, M., 2013. Study on genotype $\times$ environment interaction through GGE biplot for seed yield in spring rapeseed (*Brassica napus* L.) in rain-fed condition. *Journal of Crop Breeding* 5 (12): 1-14. (In Persian with English Summary)
- 15- Rose, I.V.L.W., Das, M.K., and Taliaferro, C.M., 2008. A comparison of dry matter yield stability assessment methods for small numbers of genotypes of bermudagrass. *Euphytica* 164: 19-25.
- 16- Samonte, S.O.P.B., Wilson, L.T., McClung, A.M., and Medley, J.C., 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analysis. *Crop Science* 45: 2414-2424.

- 17- Yan, W., 2001. GGE biplot—A Windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. *Agronomy Journal* 93: 1111-1118.
- 18- Yan, W., and Kang, M.S., 2003. *GGE Biplot Analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- 19- Yan, W., and Rajcan I., 2002. Biplot analysis of sites and trait relations of soybean in Ontario. *Crop Science* 42: 11-20.
- 20- Yan, W., and Tinker, N.A., 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science* 86: 623-645.
- 21- Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q., and Szlavics, Z., 2000. Genotype evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science* 40: 597-605.
- 22- Zali, H., Sofalian, O., Hasanloo, T., and Asghari, A., 2016. Evaluation of yield stability and drought tolerance based AMMI and GGE biplot analysis in *Brassica napus* L. *Agricultural Communications* 4(1): 1-8.



Evaluation of Grain Yield Stability of Durum Wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) Promising Lines in Moderate Regions of Iran

A. Moayyedi^{1*}, T. Najafi Mirak², M. Taherian¹, S. Sasani³ and D.Amin Azarm⁴

Submitted: 25-11-2019

Accepted: 11-03-2020

Moayyadi, A., Najafi Mirak, T., Taherian, M., Sasani, S and Amin Azarm, D., 2020. Evaluation of grain yield stability of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) promising lines in moderate regions of Iran. Journal of Agroecology. 12(2):345-358.

Introduction

Durum wheat (*Triticum turgidum* L. var durum) consist of only 5% of the world's total cultivated wheat area and contributes about 10% to the total global wheat production. Durum wheat in Iran is grown on 300-400 thousand hectares with an average annual production of 500-600 thousand tons. Similar to other crops, insufficient yield stability in durum wheat is recognized as a one of the factors responsible for the gap between actual yield and potential yield. In breeding programs, the identification of superior genotypes is difficult due to environmental variability of target locations and the interaction of these variabilities with the investigated genotypes. Therefore, it is important to evaluate the advanced agronomic lines across various environments and over multiple years to ensure their yield stability and production (Yan & Rajcan, 2002). Many statistical models have been suggested to analyze genotype (G)× environment (E) interaction. GGE (genotype plus genotype-by-environment) biplot method is a multivariate model, which is based on principal component analysis that simultaneously represents G, E and G×E interaction on a graph known as biplot. GGE biplot is widely used in agricultural research as it provides a simple graphical interpretation of G×E interaction. The aim of the study was to evaluate the grain yield stability and adaptability in some promising durum wheat lines grown in moderate regions of Iran.

Materials and Methods

Eighteen promising durum wheat lines (G₁-G₁₈) along with two control cultivars (durum wheat cv. Hana and bread wheat cv. Parsi), were investigated based on a randomized complete block with three replications for two cropping seasons (2016-2017 and 2017-2018) at four Agricultural Research Stations (including Karaj, Ahwaz, Kermanshah, Neishabour and Isfahan cities, Iran). Combined analysis of variance for grain yield was performed using ADEL-R software. The GGE biplot methodology was employed to analyze G×E interaction (Yan, 2001). The GGE biplot model was used for the following purposes; (i) evaluation of yield stability, (ii) the simultaneous selection for yield and stability, (iii) identification of ideal durum wheat genotypes, and (iv) assessment of the characteristics of and relationships among the testing environments.

1-Assistant Professor of Horticulture Crop Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran.

2-Associate Professor of Cereal Research Department, Seed and Plant Research Improvement Institute, AREEO, Karaj, Iran.

3-Assistant Professor of Horticulture Crop Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran.

4- Assistant Professor of Horticulture Crop Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.

(*- Corresponding Author Email: moayedialli@yahoo.com)

Doi:10.22067/jag.v12i2.85729

Results and Discussion

About 70% of variation was related to environment, 1.7% to genotype and 13.5% to genotype $\times$ environment interaction. Overall the grain yield of the lines ranged from 6.57 to 7.26 t.ha⁻¹ and the G₂₀ and G₂ lines had the lowest and highest grain yield, respectively. Also, G₆ and G₁₆ lines had higher yield than Dena cultivar (G₁). Surveying Polygon of GGE biplot showed that genotypes G₂, G₁₆, G₅, G₄, G₂₀, G₈ and G₆ which had the most distance from Bipolt center and located in Polygon vertices that they were premier genotypes. The lines which designed from Biplot center divided the shape of Polygon to four environments. The first environment was included into the Isfahan in which genotype G₆ had the most performance. The second environment was included into the Karaj that G₂ was premier genotypes of this environment. The third environment was included into Kermanshah that genotype G₁₆ was high performance genotype in this environment. The fourth environment was included into the Neishabour in which genotype G₂₀ was premier genotype. The G₁₂, G₃, and G₁₀ genotypes, which were located near the center of the biplot, had performance in all environments. Simultaneous evaluation of grain yield and stability through environment coordinate (AEC) biplot showed that genotypes G₂, G₁ and G₁₈ with the higher grain yield were the most stable genotypes. There were many similarities between Karaj and Kermanshah environments as well as Karaj and Isfahan. The angles between these two environmental groups were less than 90 degrees. In contrast, the angle between Neishabour environment and Kermanshah and Karaj environments was distorted and near 180 degrees. These results verified the Karaj station was close to the ideal environment. G₂ and G₁₆ genotypes were identified as favorable genotypes in Karaj environment.

Conclusion

GGE Biplot was an appropriate graphical method for simultaneous selection of performance and stability of cultivars and lines. Based on the results, genotype G₆ in Karaj, G₆ in Isfahan and G₂₀ in Neishabour were the best genotypes in terms of yield and stability. Generally, G₁₈ can be considered as a favorite promising line compared to the control cultivar Hana and as a candidate in the temperate climates.

Keywords: Genotype $\times$ environment interaction, GGE biplot, Sustainability, Superior genotype

Contents

Diversity Assessment of Crop and Horticultural Products in Zanjan Province	192
H. Kazemi, S. Bakhshande Larimi, S. Gholikhani and G.A. Rassam	
Effects of Drought Stress Levels and Salicylic Acid Concentrations on Quantity and Quality Forage Traits of Foxtail Millet (<i>Setaria italica</i> L.) Bastan Cultivar in Sistan Climatic Conditions	208
M.A. Karimian and M. Forozandeh	
Evaluation of Organic Fertilizers on Yield and Yield Components in Intercropping of Roselle (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.) and Cow Pea (<i>Vigna unguiculata</i> L.)	225
S.D. Rigi, M. Dahmardeh, I. Khammari and S.M. Moosavi Nik	
Evaluation of Quantity and Quality Yield of Cumin (<i>Cuminum cyminum</i> L.) Ecotypes in Different Planting Date under Sabzevar Climatic Conditions	239
H. Rivandi, S. Rezvan, M. Jami Moeini, J.M. Sinaki, A. Damavandi and S. Sanjani	
Evaluation of Ecophysiological Characteristics of Row Intercropped Linseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.) with Chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) affected as Fertilizer Sources under Dryland Conditions	263
S. Asadi, E. Rezaei-Chiyanehand R. Amirnia	
Evaluation of Carbon Sequestration for Above-Ground and Below-Ground Tissues and Global Warming Potential of Wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)	278
A. Mollafilabi and J. Shabahng	
Effect of Irrigation Interval and Nitrogen Amount on Water Requirement, and growth of Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) Hashemi Cultivar under Gilan Climate Conditions	297
K. Sabokrow Foomani, S.A. Valad Abadi, M. Kavooosi, H. Zakerin, M. Yazdani	
Effect of Different Tillage Systems on Wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) Yield and some Soil Physical Characteristics in a Fallow-Wheat Rotation under Rainfed Condition	316
A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati and S.J. Azimzadeh	
Evaluation of Temperature Changes and Its Impacts on Seed Filling Period and Grain Yield of Wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) in Different Regions of Iran (1992-2012)	342
R. Abbasi Alikamar, M. Nassiri Mahallati and A. Koocheki	
Evaluation of Grain Yield Stability of Durum Wheat (<i>Triticum turgidum</i> L. var. durum) Promising Lines in Moderate Regions of Iran	357
A. Moayyedi, T. Najafi Mirak, M. Taherian, S. Sasani and D. Amin Azarm	

Journal of Agroecology (Quarterly)

Ferdowsi University of Mashhad

Vol. 12 No. 2 Summer 2020

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

Dr. Mohammad Pessarakli, Research Professor, School of Plant Sciences, the University of Arizona

Dr. Surur Khorramdel, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Adel Dabagh Mohammadi Nasab, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

Dr. Mehdi Rastgoo, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Parviz Rezvani Moghaddam, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Ahmad Zare Fazabadi, Agricultural Research Institute of Khorasan Razavi

Prof. Saeed Zehtab Salmasi, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

Dr. Hamid Shahandeh Research Soil Scientist, Soil and Crop Sciences Department, Texas A & M University

Prof. Reza Ghorbani, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Alireza Koocheki, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Mohammad Galavi, Faculty of Agriculture, Zabol University

Prof. Mehdi Nassiri Mahallati, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

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>