

نشریه علمی

بوم شناسی کشاورزی (فصلنامه)



شماره ۴

جلد ۱۲

Vol. 12

No. 4

زمستان ۱۳۹۹

Winter 2021

Journal of Agroecology (Quarterly)

ISSN: 2008-7713

۲۰۰۸-۷۷۱۳:شاپا

(شماره پیاپی ۴۶)

عنوان مقالات

- ۵۶۱ ارزیابی جامع مدل DSSAT-Nwheat در طیف وسیعی از مناطق اقلیمی ایران
محمدحسن فلاح، احمد نظامی، حمیدرضا خراعی و مهدی نصیری محلاتی
- ۵۸۱ بهینه‌سازی آبیاری و تراکم کاشت ذرت (*Zea mays* L.) به کمک روش سطح-پاسخ
علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی و علی مؤمن
- ۵۹۵ ارزیابی تأثیر مدیریت آبیاری تناوبی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد و میزان آب مصرفی چهار رقم برنج
(*Oryza sativa* L.) در استان گیلان
هورام اصغری لالمی، سید علیرضا ولدآبادی، محمدرضا یزدانی، حمیدرضا ذاکرین و مهرزاد الله قلی‌پور
- ۶۱۳ تعیین خلأ عملکرد سب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در استان گلستان
امیر دادرسی، بنیامین ترابی، اصغر رحیمی، افشین سلطانی و ابراهیم زینلی
- ۶۳۵ اثر تراکم بوته و نیتروژن بر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد، اجزای عملکرد و عملکرد گیاه دارویی سیاهدانه
(*Nigella sativa* L.)
عبداله ملاقلیایی و حسین مودی
- ۶۵۱ ارزیابی عملکرد برگ خشک و بذر و کارایی مصرف آب برگ و بذر چهار اکوتپ وسمه (*Indigofera tinctoria* L.)
در شرایط تنش کم‌آبی
فرامرز رستگاری، عنایت‌اله توحیدی‌نژاد و قاسم محمدی‌نژاد
- ۶۶۳ بررسی عملکرد علوفه و جذب عناصر غذایی در کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) و خلر (*Lathyrus sativus* L.)
تحت تأثیر هم‌زیستی با قارچ *Glomus intraradices*
محمد حقانی‌نیا، عبدالله جوانمرد و سارا ملاعلی عباسیان
- ۶۸۵ مقایسه نیاز آبی مزارع گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) استان هرمزگان با سایر مناطق جنوبی ایران با استفاده
از آنالیز سری زمانی
فرزین عبدالهی، لیلا جعفری و سارا اسدی
- ۷۰۳ ارزیابی برخی صفات کمی ارقام گندم نان (*Triticum aestivum* L.) در تاریخ‌های مختلف کاشت
لیلا گرشاسبی، فرزاد پاک‌نژاد، سید شهریار جاسمی، محمدنبی ایلکایی و سارا سنجانی
- ۷۲۳ تأثیر غلظت مصرف کانولین و مراحل فنولوژیکی گیاه بر عملکرد، اجزای عملکرد و جمعیت شته کلزا (*Brevicoryne brassicae* L.)
به همراه دشمنان طبیعی آن
مریم معرفی، ثمن صدیق و علی همراهی
- ۷۴۱ اثر نوع و زمان کاشت گیاه پوششی بر ساختار جمعیت علف‌های هرز و خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد آفتابگردان
(*Helianthus annuus* L.)
کوثر خواجه‌نهی، آسیه سیاهم‌گویی، محمدرضا داداشی، پریسا علی‌زاده دهکردی و ابراهیم زینلی

نشریه علمی - پژوهشی بوم‌شناسی کشاورزی (فصلنامه)

جلد ۱۲

شماره ۴

زمستان ۱۳۹۹

Winter 2021

No. 4

Vol. 12

Journal of Agroecology (Quarterly)

Contents

- Evaluation of DSSAT-Nwheat Model across a Wide Range of Climate Conditions in Iran579
M. Fallah, A. Nezami, H. Khazaie and M. Nassiri Mahallati
- Optimization of Irrigation and Plant Density of Corn (*Zea mays* L.) by Using Response-Surface Methodology579
A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati and A. Momen
- Effect of Rotational Irrigation on Physiological Growth Indexes and Water Use of Four Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivars in Gilan Province579
H. Asghari Lalami, S.A. Valadabadi, M. Yazdani, H. Zakrin and M.A. Gholipour
- Determination of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Yield Gap in Golestan Province632
A. Dadrasi B. Torabi, A. Rahimi, A. Soltani and E. Zeinali
- Effects of Plant Density and Nitrogen on Physiological Growth Indices, Yield Components and Yield of Black Seed (*Nigella sativa* L.) as a Medicinal Plant632
A. Mollafilabi and H. Moodi
- Evaluating the Yield of Dry Leaf and Seed and Leaf and Seed Water Use Efficiency of four Indigo (*Indigofera tinctoria* L.) Ecotypes under Water Deficit conditions661
F. Rastegari, E. Tohidinejad and G. Mohammadi-nejad
- Investigation of Forage Yield and Nutrients Uptake in Intercropping of Barley (*Hordeum vulgare* L.) and Grass Pea (*Lathyrus sativus* L.) Affected by Symbiosis with *Glomus intraradices* Fungus661
M. Haghaniinia, A. Javanmard and S. Mollaaliabasiyan
- Comparison of water Requirement of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Fields of Hormozgan Province with other Southern Regions of Iran Using Time Series Analysis701
F. Abdollahi, L. Jafari and S. Asadi
- Evaluation of Quantitative Traits of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars in Different Planting Dates720
L. Garshasbi, F. Paknejad, S.S. Jasemi, M. Nabi Ilkace and S. Sanjani
- Influence of Concentration and Time of Kaolin Application on Agronomic Traits, Canola Aphid (*Brevicoryne brassicae* L.) and Its Natural Enemies739
M. Moarefi, S. Seddigh and A. Hamrahi
- Effect of Type and Planting Date of Cover Crops on Weed Population Structure, Morphological Characteristics and Seed Yield of Sunflower (*Helianthus annuus* L.)760
K. Khajenabi, A. Siahmarguee, M. R. Dadashi, P. Alizadeh Dehkordi and E. Zeinali

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 ۴ زمستان ۱۳۹۹

صاحب امتیاز و ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

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

سرمدیر: 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

- ۵۶۱ ارزیابی جامع مدل DSSAT-Nwheat در طیف وسیعی از مناطق اقلیمی ایران
محمدحسن فلاح، احمد نظامی، حمیدرضا خزاعی و مهدی نصیری محلاتی
- ۵۸۱ بهینه‌سازی آبیاری و تراکم کاشت ذرت (*Zea mays* L.) به کمک روش سطح-پاسخ
علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی و علی مؤمن
- ۵۹۵ ارزیابی تأثیر مدیریت آبیاری تناوبی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد و میزان آب مصرفی چهار رقم برنج (*Oryza sativa* L.) در استان گیلان
هورام اصغری لالمی، سید علیرضا ولدآبادی، حمیدرضا یزدانی، حمیدرضا ذاکرین و مهرزاد الله قلی‌پور
- ۶۱۳ تعیین خلأ عملکرد سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در استان گلستان
امیر دادرسی، بنیامین ترابی، اصغر رحیمی، افشین سلطانی و ابراهیم زینلی
- ۶۳۵ اثر تراکم بوته و نیتروژن بر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد، اجزای عملکرد و عملکرد گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)
عبداله ملافیلاهی و حسین مودی
- ۶۵۱ ارزیابی عملکرد برگ خشک و بذریه مصرف آب برگ و بذریه چهار اکوتیپ وسمه (*Indigofera tinctoria* L.) در شرایط تنش کم‌آبی
فرامرز رستگاری، عنایت‌اله توحیدی‌نژاد و قاسم محمدی‌نژاد
- ۶۶۳ بررسی عملکرد علوفه و جذب عناصر غذایی در کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) و خلر (*Lathyrus sativus* L.) تحت تأثیر هم‌زیستی با قارچ *Glomus intraradices*
محمد حقانی‌نیا، عبدالله جوانمرد و سارا ملاعلی عباسیان
- ۶۸۵ مقایسه نیاز آبی مزارع گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) استان هرمزگان با سایر مناطق جنوبی ایران با استفاده از آنالیز سری زمانی
فرزین عبدالهی، لیلا جعفری و سارا اسدی
- ۷۰۳ ارزیابی برخی صفات کمتی ارقام گندم نان (*Triticum aestivum* L.) در تاریخ‌های مختلف کاشت
لیلا گرشاسبی، فرزاد پاک‌نژاد، سید شهریار جاسمی، محمدنبی ایلکایی و سارا سنجانی
- ۷۲۳ تأثیر غلظت مصرف کائولین و مراحل فنولوژیکی گیاه بر عملکرد، اجزای عملکرد و جمعیت شته کلزا (*Brevicoryne brassicae* L.) به همراه دشمنان طبیعی آن
مریم معرف، ثمین صدیق و علی همراهی
- ۷۴۱ اثر نوع و زمان کاشت گیاه پوششی بر ساختار جمعیت علف‌های هرز و خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)
کوثر خواجه‌نهی، آسیه سیاهمرگویی، محمدرضا داداشی، پریسا علی‌زاده دهکردی و ابراهیم زینلی

اسامی ارزیابان جلد ۱۲ شماره ۴ (زمستان ۱۳۹۹) نشریه بوم شناسی کشاورزی (به ترتیب الفبا)

دکتر پویا آروین	دانشگاه پیام نور بجنورد
دکتر سید مهدی جوادزاده	دانشگاه آزاد اسلامی
دکتر سرور خرم دل	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر اسماعیل رضائی چپانه	دانشگاه ارومیه
دکتر سارا سنجانی	موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج
دکتر علیرضا سیروس مهر	دانشگاه زابل
دکتر فرزین عبدالهی	دانشگاه هرمزگان
دکتر فرنوش فلاح پور	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر امیر لکزیان	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر روح اله مرادی	دانشگاه کرمان
دکتر حسن ملکی لجایر	دانشگاه محقق اردبیلی
دکتر فرزاد مندنی	دانشگاه رازی کرمانشاه
دکتر حامد منصوری	مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان
دکتر سید یوسف موسوی طغانی	دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
دکتر مهدی نصیری محلاتی	دانشگاه فردوسی مشهد

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.cdfa.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

ارزیابی جامع مدل DSSAT-Nwheat در طیف وسیعی از مناطق اقلیمی ایران

محمدحسن فلاح^۱، احمد نظامی^{۲*}، حمیدرضا خزاعی^۲ و مهدی نصیری محلاتی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۰۲

فلاح، م.، نظامی، ا.، خزاعی، ح.، و نصیری محلاتی، م.، ۱۳۹۹. ارزیابی جامع مدل DSSAT-Nwheat در طیف وسیعی از مناطق اقلیمی ایران. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۴): ۵۸۰-۵۶۱.

چکیده

ارزیابی جامع مدل شبیه‌سازی محصول با مجموعه‌ای از داده‌های مناسب از محیط، مدیریت، ارقام و خاک‌های متفاوت برای استفاده مطمئن از مدل در تجزیه و تحلیل نظام‌های کشاورزی ضروری است. مدل Nwheat که اخیراً به DSSAT اضافه شده است با استفاده از مشاهدات آزمایش‌های مزرعه‌ای در دامنه وسیعی از مناطق اقلیمی با مدیریت مختلف برای چهار رقم گندم (*Triticum aestivum* L.) شامل شهریار، پیشناز، تاج و چمران مورد واسنجی و ارزیابی قرار گرفت. این ارقام به ترتیب مناسب برای کشت در مناطق سردسیر، معتدل، مرطوب و گرمسیر می‌باشد. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که مدل DSSAT-Nwheat مراحل فنولوژیکی کاشت تا گل‌دهی و کاشت تا رسیدگی را به خوبی با مقادیر جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) کمتر از چهار روز، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (nRMSE) کمتر از سه درصد و شاخص توافق ویلموت (d) نزدیک به یک شبیه‌سازی کرد. همچنین نتایج اعتبارسنجی عملکرد دانه ارقام گندم نشان داد که مقدار RMSE از ۵۶۸ کیلوگرم در هکتار برای رقم تاج تا ۹۳۳ کیلوگرم در هکتار برای رقم چمران متغیر بود. به طور کلی، nRMSE و d برای عملکرد دانه ارقام به ترتیب کمتر از ۲۰ درصد و بالاتر از ۰/۸ بود که دقت واسنجی را به خوبی نشان می‌دهد. واکنش مدل به افزایش دما در مناطق مختلف و سطوح مختلف CO₂ متفاوت بود. به طوری که در منطقه اهواز، گرگان و مشهد افزایش دما تا نه درجه سانتی‌گراد در تمام سطوح غلظت CO₂، باعث کاهش عملکرد دانه شد که البته افزایش CO₂ مقداری از اثرات منفی افزایش دما را تخفیف داد. اما در منطقه سردسیر تبریز افزایش سه درجه سانتی‌گراد دما در سطوح غلظت ۳۶۰، ۵۴۰ و ۷۲۰ پی‌پی‌ام CO₂ به ترتیب باعث افزایش ۸، ۱۲ و ۱۴ درصدی عملکرد دانه شد، ولی با افزایش بیشتر دما تا نه درجه سانتی‌گراد، عملکرد دانه ۲۳، ۱۵ و ۱۰ درصد نسبت به دمای پایه کاهش یافت. به طور کلی، نتایج این مطالعه نشان داد که مدل DSSAT-Nwheat پاسخ‌های عملکرد دانه به طیف گسترده‌ای از مدیریت و شرایط محیطی را به خوبی پیش‌بینی می‌کند و می‌توان از آن برای ارزیابی تأثیرات مختلف مدیریت زراعی و تصمیم‌گیری در نظام‌های کشت گندم در شرایط اقلیمی جاری و آینده استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز حساسیت، تغییر اقلیم، ضرایب ژنتیکی، مدل‌سازی، مراحل نمو

مقدمه

می‌گیرند (Jones et al., 2003). این مدل‌ها می‌توانند برهم‌کنش‌های پیچیده خصوصیات خاک، شرایط اقلیمی، شیوه‌های مدیریت و ویژگی‌های ژنتیکی محصول را ادغام کنند که باعث درک بهتر از برهم‌کنش‌های پیچیده بین عوامل مؤثر بر رشد و نمو گیاهان می‌شوند (Kassie et al., 2016). یکی از جنبه‌های اصلی مدل‌های شبیه‌سازی محصول، امکان استفاده آن‌ها در شرایط مختلف اقلیمی و مدیریتی است، به شرطی که مدل مورد نظر در دامنه وسیعی از شرایط مورد ارزیابی و اعتبارسنجی قرار گرفته باشد (Kassie et al., 2016).

مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی به طور گسترده‌ای برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری در تجزیه و تحلیل نظام‌های کشت، ارزیابی اثرات اقلیمی و ارزیابی روش‌های مدیریت محصول مورد استفاده قرار

۱- دانش‌آموخته دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۲- استاد گروه اکروتکنولوژی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
(Email: nezami@um.ac.ir)
Doi: 10.22067/jag.v12i4.77250
(*) نویسنده مسئول:

محصول و بررسی مسائل زیست‌محیطی و پایداری را از آن استخراج کرد. این بسته شامل سیستم‌های مدیریت پایگاه داده‌ها برای خاک، آب‌وهوا، ضرایب ژنتیکی و ورودی مدیریت، مدل‌های شبیه‌سازی محصول، مجموعه‌ای از ابزار و برنامه‌های آب‌وهوا و برنامه ارزیابی استراتژی برای ارزیابی گزینه‌ها از جمله انتخاب ارقام، تاریخ کاشت، تراکم، فاصله ردیف، نوع خاک، آبیاری، کود، تنش آبی در مراحل رویشی و زایشی می‌باشد. در واقع، DSSAT ابزاری بسیار مفید برای کاهش قابل ملاحظه زمان و هزینه در آزمایش‌های مزرعه‌ای برای ارزیابی مناسب ارقام جدید و نظام‌های مدیریتی جدید است (Bannayan et al., 2003; Oteng-Darko et al., 2013).

Nwheat یک مدل شبیه‌سازی گندم است (Holzworth et al., 2003; Keating et al., 1998; Asseng et al., 2014) که با تغییرات مختلف از مدل CERES مشتق شده است (Ritchie et al., 1998). مهم‌ترین تغییرات در Nwheat جایگزینی روش معمول مصرف آب با یک رویکرد مبتنی بر یک بخش بحرانی آب خاک در دسترس، رابطه زیست‌توده با نیاز آبی محصول از طریق کارایی تعرق به جای تبخیر تعرق بالقوه و LAI، اضافه شدن یک فاکتور تنش نسبت به دمای بالا برای افزایش سرعت زوال برگ (در مدل CERES-Wheat فاکتور تنش گرما برای پیری برگ وجود ندارد) و اصلاح عملکرد کنترل تنش یخبندان، سطح ویژه برگ (SLA)، ضریب خاموشی نور (k) و شبیه‌سازی اثر تنش غرقابی بر رشد محصول می‌باشد (Keating et al., 2001). این تفاوت‌های مدل‌سازی منجر به تفاوت‌هایی در قابلیت شبیه‌سازی بین مدل‌های CERES-Wheat و Nwheat شده است.

مدل DSSAT-Nwheat با داده‌های آزمایشی در محیط‌های کنترل شده در مناطق اقلیمی مختلف جهان تأیید شده است (Kassie et al., 2016; Liu et al., 2016) و همچنین این مدل قبلاً در چارچوب APSIM نیز در بسیاری از مطالعات در نظام‌های کاشت گندم و در محیط‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته بود (Asseng et al., 2008, 1998; Heng et al., 2007; Bassu et al., 2011; O'Leary et al., 2015). ارزیابی مدل روشی معمول در استفاده از مدل در یک محیط جدید و یا در چارچوب مدل‌سازی جدید است (Matthews et al., 2013; Zacharias et al., 2015; Jones et al., 2001; Angulo et al., 2013). با این حال، اکثر مدل‌های رشد محصولات زراعی هنوز هم به‌خوبی در طیف گسترده‌ای از شرایط

از عواملی که بر شفافیت یک مدل تأثیر می‌گذارد، مسئله واسنجی مدل برای شرایط جدید است. در اغلب موارد، برای رسیدن به نتایج مطلوب در شرایط مختلف، باید چند پارامتر (معمولاً با سعی و خطا) کالیبره شوند. دقت روش واسنجی عمدتاً به نوع و کیفیت داده‌های اندازه‌گیری بستگی دارد. برای برآورد دقیق‌تر ضرایب ژنتیکی ارقام، توصیه می‌شود که آزمایش بیش از چندین تاریخ کاشت در همان محل یا برای تاریخ کاشت یکسان در مکان‌های مختلف انجام شود (Hoogenboom et al., 1999). چون عملکرد هر رقم گندم حاصل برهم‌کنش بین سه عامل ژنوتیپ، محیط و مدیریت ($G \times E \times M$) است. بنابراین برای برآورد دقیق ضرایب ژنتیکی (G) هر رقم می‌بایستی تنوع در شرایط مختلف محیطی (E) و مدیریتی (M) وجود داشته باشد. مناطق مختلف با اقلیم‌های متفاوت، سال‌های مختلف در هر منطقه و تاریخ‌های مختلف کاشت باعث تغییر در محیط رشد گیاه می‌شوند. متأسفانه در بسیاری از مطالعات، واسنجی مدل‌های رشد روی داده‌های محلی انجام شده (Saadati et al., 2016; Andarzian et al., 2008; Kiani et al., 2004; Mahru et al., 2016; Nouri et al., 2010) و عدم وجود شرایط مختلف محیطی باعث برآورد غیردقیق پارامترهای ژنتیکی ارقام و غیرقابل استفاده بودن آن مدل در مناطق با اقلیم متفاوت شده است. همچنین مدیریت آب و نیتروژن نیز نقش مهمی در عملکرد پیش‌بینی شده توسط مدل دارند. بنابراین، لازم است که حساسیت مدل نسبت به روش‌های مختلف مدیریت آب و نیتروژن مورد آزمون و اعتبارسنجی قرار گیرد. بسیاری از مدل‌های شبیه‌سازی در چند دهه گذشته توسعه یافته‌اند و این مدل‌ها به‌طور فزاینده‌ای در مطالعات کشاورزی و زیست‌محیطی به‌عنوان ابزار مکمل آزمایش‌های مزرعه‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Matthews et al., 2013). سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری برای انتقال فناوری زیستی ($DSSAT^1$) یک سیستم مدل‌سازی است که به‌طور گسترده در مناطق مختلف جهان به‌عنوان ابزاری برای تحقیق و آموزش از آن استفاده می‌شود (Jones et al., 2003). DSSAT شامل زیرمدل‌هایی برای رشد و نمو محصول، بیلان آب خاک، عناصر غذایی و پویایی مواد آلی، مدیریت داده‌ها و یک موتور مرکزی است که فرآیندهای شبیه‌سازی را کنترل می‌کند و به‌عنوان یک ابزار پژوهش، می‌توان توصیه‌هایی در ارتباط با مدیریت

به DSSAT معرفی شد (جدول ۳).

توصیف مدل: در این مطالعه از نسخه ۴/۷ نرم افزار DSSAT استفاده شد (Hoogenboom et al., 2017). مدل Nwheat بر اساس مدل CERES-Wheat توسعه داده شده است (Ritchie et al., 1998). این مدل رشد و نمو محصول، توازن و پویایی آب و نیتروژن و همچنین عوامل تنش‌زا و تنش‌های مختلف در گندم را به‌طور روزانه شبیه‌سازی می‌کند (Asseng et al., 2001; Keating et al., 2004). فنولوژی محصول در Nwheat، تابعی از درجه روز رشد تجمعی، دوره فتوپریود و بهاره‌سازی است. تولید ماده خشک پتانسیل به‌وسیله کارایی استفاده از تشعشع، تابش خورشیدی، دما و شاخص سطح برگ (LAI) کنترل می‌شود. تأمین نامطلوب آب و نیتروژن می‌تواند تولید ماده خشک پتانسیل را کاهش دهد. نیاز آبی پتانسیل محصول، تابعی از کارایی تعرق و کسر فشار بخار است. نیاز آبی واقعی بستگی به تقاضای گیاه، تراکم ریشه و میزان آب موجود در پروفیل خاک دارد. عملکرد دانه نیز بستگی به تعداد دانه، دوره پر شدن دانه و انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها دارد.

شبیه‌سازی پویایی نیتروژن گیاه مشابه مدل CERES-Wheat است که در آن تابعی از محتوای نیتروژن اجزای مختلف گیاه، ظرفیت پتانسیل جذب نیتروژن در سیستم ریشه، نیاز نیتروژنی محصول و انتقال مجدد نیتروژن است (Ritchie et al., 1998). محتوای نیتروژن هر اندام گیاهی به‌عنوان تابعی از مرحله رشد گیاه محاسبه می‌شود. پویایی توازن آب با خصوصیات خاک ارائه شده به‌عنوان ورودی مدل برای محاسبه نسبت‌های حجمی آب خاک در حالت پژمردگی (LL)، ظرفیت زراعی (DUL) و در حالت اشباع (SAT) تعیین می‌شود. توازن آب با استفاده از یک رویکرد آبخاری مدل‌سازی می‌شود، به این معنی که زمانی که محتوای آب یک لایه خاک بیش از ظرفیت زراعی باشد، آب به‌صورت عمودی از بالا به پایین حرکت می‌کند. این مدل اثر مالچ و بقایا را بر رواناب و تبخیر خاک در نظر می‌گیرد.

ورودی‌های مدل: DSSAT-Nwheat همانند بسیاری از مدل‌های دینامیکی دیگر، نیازمند ورودی‌هایی است که داده هواشناسی روزانه، خصوصیات رشد و نمو رقم، رویدادهای مدیریتی و خصوصیات خاک را توصیف کند. حداقل داده هواشناسی مورد نیاز شامل دمای روزانه (حداقل و حداکثر)، تشعشع، بارندگی و اطلاعات ایستگاه (عرض جغرافیایی و ارتفاع) است.

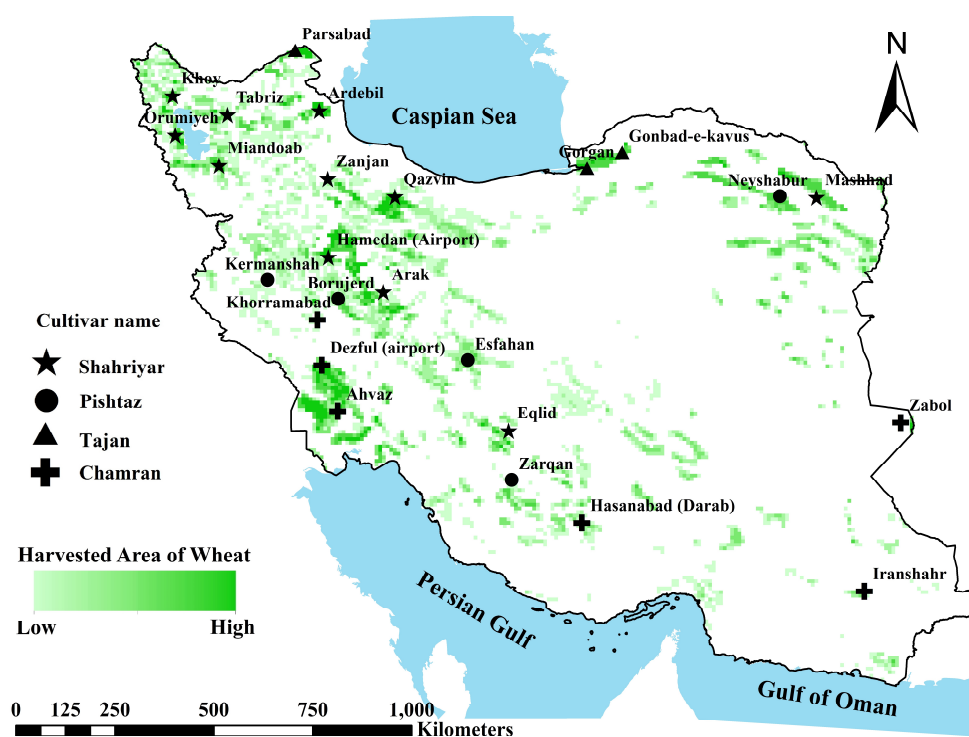
محیطی و مدیریتی و اثرات تغییر اقلیم ناشی از افزایش دما و CO_2 مورد ارزیابی قرار نگرفته‌اند (White et al., 2011). لذا هدف این مطالعه ارزیابی عملکرد مدل Nwheat در چارچوب جدید DSSAT v4.7، تحت شرایط مختلف محیطی و مدیریتی و همچنین آنالیز حساسیت مدل به پارامترهای اصلی تغییر اقلیم می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مزرعه‌ای و داده‌های مورد نیاز برای

واسنجی و اعتبارسنجی مدل: هر ساله به‌منظور بررسی سازگاری ژنوتیپ‌های امیدبخش گندم نان آزمایش‌هایی در ایستگاه‌های تحقیقات غلات در کشور تحت عنوان $ERWYT^1$ صورت می‌گیرد که در هر آزمایش یک رقم رایج منطقه به‌عنوان شاهد در نظر گرفته می‌شود. لذا با بررسی گزارش‌های نهایی این طرح‌های تحقیقاتی، چهار رقم تقریباً جدید که دارای داده‌های آزمایشی بودند و مناطق اقلیمی مختلف کشور را پوشش می‌دادند و هم‌اکنون نیز از سطح زیر کشت قابل توجهی برخوردار هستند، انتخاب شدند (جدول ۱). اطلاعاتی که از این طرح‌های تحقیقاتی استخراج شدند شامل محل اجرای طرح و سال اجرا، تاریخ کاشت، تراکم، تاریخ گل‌دهی و رسیدگی، عملکرد دانه، خاک محل آزمایش و مدیریت آب و نیتروژن بودند (Esmailzadeh Moghaddam et al., 2011; Najafi Mirok et al., 2011; Najafian et al., 2010; Vahabzadeh et al., 2008). موقعیت جغرافیایی و مشخصات ایستگاه‌های تحقیقاتی و تعداد سال‌های مورد استفاده برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل در شکل ۱ و جدول ۲ آمده است.

در هر منطقه با حدود نیمی از داده‌ها (سال‌های اجرا) مدل مورد واسنجی قرار گرفت و با نیم دیگر اعتبارسنجی مدل انجام شد (جدول ۲). برای هر منطقه، داده‌های هواشناسی شامل دمای حداقل و حداکثر روزانه، بارندگی، تشعشع (محاسبه شده با استفاده از تعداد ساعات آفتابی)، رطوبت نسبی و سرعت باد آماده شد و توسط ابزار WeatherMan نرم‌افزار DSSAT 4.7، فایل داده‌های هواشناسی ساخته شد. همچنین فایل خصوصیات خاک به‌تفکیک مکان‌های آزمایش از قبیل بافت خاک، ظرفیت نگهداری آب، میزان ماده آلی و اسیدیته خاک در لایه‌های مختلف خاک توسط ابزار SBuild ساخته و



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های تحقیقاتی آزمایش‌های مزرعه‌ای و مناطق زیرکشت گندم آبی
Fig. 1- Indicated locations of field research experiment and harvested area of irrigated wheat

جدول ۱- برخی از خصوصیات مهم ارقام مورد مطالعه

Table 1- Some important characteristic of the studied cultivars

خصوصیت Character	شهریار Shahriyar	پیش‌تاز Pishtaz	تجن Tajan	چمران Chamran
سال معرفی Release year	2002	2002	1995	1997
مناطق مناسب برای کشت Suitable areas for cultivation	سردسیر Cold	معتدل Temperate	مرطوب Humid	گرم جنوب Tropical
عادت رشدی Growth habit	زمستانه Winter	بهاره Spring	بهاره Spring	بهاره Spring
میانگین عملکرد دانه Average of grain yield (kg.ha ⁻¹)	6720	7400	6300	5600
واکنش به خوابیدگی Lodging resistance	مقاوم Resistant	مقاوم Resistant	مقاوم Resistant	نیمه حساس Semi sensitive
واکنش به ریزش دانه Threshing resistant	مقاوم Resistant	مقاوم Resistant	نیمه مقاوم Semi resistant	حساس Sensitive
میانگین درصد پروتئین Average of grain protein	12.2	11.5	12.0	10.4
میانگین وزن هزار دانه Average of 1000- grain weight (g)	38	44	38	39

Source: SPII (2015)

جدول ۲- مشخصات اقلیمی مناطق آزمایشی مورد استفاده برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل
Table 2- Specifications of experimental data used for calibrating and validating the model

رقم Cultivar	منطقه Location	تعداد سال استفاده شده برای Number of years for		طول جغرافیایی long.	عرض جغرافیایی lat.	ارتفاع Alt. (m)	میانگین دمای حداقل Mean Tmin (°C)	میانگین دمای حداکثر Mean Tmax (°C)	میانگین بارش Annual rainfall (mm)
		واسنجی Calibration	اعتبارسنجی Evaluation						
شهریار Shahriyar	اراک Arak	4	5	49.78	34.72	1703	7.1	20.8	333
	اردبیل Ardebil	2	3	48.42	38.33	1314	2.2	15.9	224
	اقلید Eqldid	3	3	52.63	30.90	2300	6.2	19.6	323
	همدان Hamedan	4	4	48.41	34.14	1678	6.5	21.1	376
	خوی Khoy	1	2	45.00	38.56	1103	5.5	18.7	290
	مشهد Mashhad	4	5	59.63	36.24	999	8.6	21.9	252
	میاندوآب Miandoab	3	4	46.50	36.97	1300	5.6	19.9	294
	قزوین Qazvin	4	4	52.59	35.70	1279	6.9	21.3	316
	تبریز Tabriz	4	4	46.24	38.12	1361	7.2	18.2	280
	ارومیه Uromieh	1	2	45.55	37.66	1230	5.1	17.6	326
	زنجان Zanjan	2	3	48.52	36.66	1659	4.0	18.0	300
پشتاز Pishtaz	بروجرد Broujerd	3	3	48.76	33.92	1629	8.3	21.4	453
	اصفهان Esfahan	3	3	51.71	32.52	1550	9.2	23.5	126
	کرمانشاه Kermanshah	3	3	47.15	34.35	1319	6.1	22.8	436
	مشهد Mashhad	2	3	59.63	36.24	999	8.6	21.9	252
	نیشابور Neyshabour	2	3	58.80	36.27	1213	6.8	22.0	243
	زرقان Zarqan	2	2	52.70	29.78	1596	8.0	25.1	322
تجن Tajan	گنبد Gonbad	4	4	55.21	37.27	37	12.8	24.6	450
	گرگان Gorgan	4	4	54.41	36.91	0	12.7	22.9	587
	پارس آباد Parsabad	4	4	47.78	39.60	73	9.8	20.6	277
چمران Chamran	اهواز Ahwaz	5	6	48.74	31.34	23	17.9	33.0	209
	داراب Darab	5	6	54.30	28.79	1098	14.4	29.8	251

دزفول Dezful	5	6	48.38	32.40	143	16.1	32.3	389
ایران‌شهر Iranshahr	5	5	60.72	27.23	591	19.3	34.2	113
خرم‌آباد Khorramabad	5	6	48.28	33.44	1148	9.1	25.3	495
زابل Zabol	4	5	61.54	31.89	489	14.7	29.7	58

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در مناطق مختلف
Table 3- Soil physico-chemical properties of different locations

منطقه Location	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	نقطه پژمردگی دائم Permanent wilting point	نقطه ظرفیت زراعی Field capacity	رطوبت اشباع Saturation	وزن مخصوص ظاهری Bulk density (g.cm ⁻³)	کربن آلی Organic carbon (%)	اسیدیته pH
اراک Arak	23.1	34.4	42.5	0.14	0.26	0.40	1.40	0.67	8.4
اردبیل Ardebil	24.0	32.6	43.4	0.15	0.27	0.40	1.32	1.02	7.8
اقلید Eqld	22.5	32.7	44.8	0.14	0.26	0.40	1.36	0.77	8.2
همدان Hamedan	21.6	34.1	44.3	0.13	0.25	0.40	1.41	0.74	8.2
خوی Khoy	23.8	34.3	41.9	0.14	0.27	0.40	1.41	0.97	7.8
مشهد Mashhad	20.1	36.0	43.9	0.12	0.25	0.39	1.33	0.86	8.3
میاندوآب Miandoab	27.7	33.9	38.4	0.17	0.29	0.41	1.43	0.77	7.7
قزوین Qazvin	24.8	31.8	43.4	0.15	0.27	0.40	1.37	0.99	7.7
تبریز Tabriz	23.8	35.3	40.9	0.14	0.27	0.40	1.41	0.66	8.1
ارومیه Uromieh	23.4	33.6	43.0	0.14	0.26	0.40	1.39	0.76	7.6
زنجان Zanjan	23.1	33.0	43.9	0.14	0.26	0.40	1.42	0.74	8.0
بروجرد Broujerd	24.8	32.7	42.5	0.15	0.27	0.40	1.42	0.64	8.0
اصفهان Esfahan	21.7	34.2	44.1	0.13	0.25	0.40	1.41	0.64	8.5
کرمانشاه Kermanshah	26.7	33.2	40.1	0.16	0.29	0.41	1.43	0.75	8.2
نیشابور Neyshabour	20.4	36.0	43.6	0.12	0.25	0.39	1.38	0.57	8.4
زرقان Zarqan	23.7	32.6	43.7	0.14	0.26	0.40	1.44	0.70	8.2
گنبد Gonbad	17.6	30.9	51.5	0.11	0.22	0.39	1.51	0.67	7.8
گرگان Gorgan	24.3	33.5	42.2	0.15	0.27	0.40	1.42	2.38	6.6
پارس‌آباد Parsabad	21.0	33.5	45.5	0.13	0.25	0.39	1.52	0.66	7.6

اهواز Ahwaz	22.4	34.3	43.3	0.14	0.26	0.40	1.58	0.46	8.2
داراب Darab	22.7	33.3	44.0	0.14	0.26	0.40	1.39	0.73	8.1
دزفول Dezful	24.2	33.5	42.3	0.15	0.27	0.40	1.62	0.56	8.0
ایران‌شهر Iranshahr	23.8	31.6	44.6	0.14	0.26	0.40	1.48	0.63	8.2
خرم‌آباد Khorramabad	28.0	34.3	37.7	0.17	0.30	0.41	1.45	0.77	8.3
زابل Zabol	21.8	30.6	47.6	0.13	0.25	0.39	1.52	0.57	8.1

حداکثر سرعت رشد دانه (MXFIL) کنترل می‌شود. پنجه‌زنی بستگی به وزن خشک پتانسیل تک ساقه (STMMX) دارد. ظهور برگ با درجه روز تجمعی با استفاده از فاصله فیلوکرون کنترل می‌شود. ورودی‌های اصلی خاک نیز عبارتند از: مقدار اولیه آب خاک، حجم آب خاک در حالت پژمردگی، ظرفیت زراعی و اشباع، ضرایب زهکشی و رواناب، فاکتورهای رشد ریشه، تبخیر اولیه و آلودگی خاک که به تفکیک هر ایستگاه به مدل وارد شد. اطلاعات مدیریت زراعی شامل تاریخ کاشت و عمق کاشت، تراکم، میزان و تاریخ مصرف کود و آب آبیاری و همچنین شرایط اولیه آب و محتوای نیتروژن خاک بود.

این مدل از هشت ضریب ژنتیکی اصلی برای هر رقم استفاده می‌کند: نیاز به بهاره‌سازی، حساسیت فتوپریودی، درجه روز مورد نیاز از جوانه‌زنی تا آغاز گل، درجه روز مورد نیاز از شروع پر شدن دانه تا رسیدگی، نسبت تعداد دانه بر وزن زیست‌توده، سرعت رشد دانه، حداکثر وزن خشک ساقه و فاصله فیلوکرون (جدول ۴). درجه روز مورد نیاز از جوانه‌زنی تا آغاز گل (P1) در ارقام گندم متفاوت است و حساسیت به بهاره‌سازی (VSEN) و فتوپریود (PPSEN) بر فنولوژی این دوره اثر می‌گذارد. همچنین درجه روز مورد نیاز از شروع پر شدن دانه تا رسیدگی فیزیولوژیک نیز توسط پارامتر P5 کنترل می‌شود. پتانسیل عملکرد دانه توسط ضریب تعداد دانه (GRNO) و

جدول ۴- ضرایب ژنتیکی واسنجی شده برای ارقام مختلف گندم

Table 4- Main genetic coefficients used in model for different wheat cultivars

تعریف پارامتر Parameter definition	واحد Unit	پارامتر Parameter	شهریار Shahriyar	پیش‌تاز Pishtaz	تجن Tajan	چمران Chamran
حساسیت به بهاره‌سازی Sensitivity to vernalization	-	VSEN	2.05	1.00	1.00	1.00
حساسیت به فتوپریود Sensitivity to photoperiod	-	PPSEN	5.7	5.2	4.9	4.8
درجه روز مورد نیاز از جوانه‌زنی تا آغاز گل Thermal time from emergence to the end of juvenile	°C	P1	300	280	270	250
درجه روز مورد نیاز از شروع پر شدن دانه تا رسیدگی Thermal time from beginning of grain filling to maturity	°C	P5	720	780	700	720
فاصله فیلوکرون Phyllochron interval	°C	PHINT	85	83	82	80
تعداد دانه بر وزن ساقه در زمان شروع پر شدن دانه Coefficient of kernel number per stem weight at the beginning of linear grain filling	kernels.stem weight ⁻¹	GRNO	37	36	28	34
حداکثر سرعت رشد دانه Potential kernel growth rate	mg kernel ⁻¹ .day ⁻¹	MXFIL	1.8	2.6	2.4	2.4
پتانسیل وزن خشک نهایی تک ساقه Potential final dry weight of a single tiller excluding grain	g	STMMX	3	3	3	3

واسنجی و اعتبارسنجی مدل: به‌طور کلی، برای برآورد

پارامترهای مدل‌های رشد محصولات زراعی دو روش وجود دارد: ۱- روش پارامتریابی^۱ یعنی برآورد هر پارامتر با توجه به مفهوم و تعریف آن و از طریق آزمایش‌های دقیق و ۲- روش واسنجی^۲ که بنا به تعریف وانگ و همکاران (Wang et al., 2011)، یعنی تنظیم پارامترهای مدل در محدوده معقول آن‌ها، به‌طوری‌که نتایج شبیه‌سازی شده قابل مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده باشد. برخی منتقدین واسنجی مانند سینکلر و سلیگمن (Sinclair and Seligman, 2000) استدلال می‌کنند که یک مدل محصول باید بر اساس معادلات فرآیندی که به‌صورت مستقل قابل مطالعه باشند، پایه‌گذاری شده باشد و پارامترهای مدل محصول از چنین مطالعاتی قابل حصول باشند. طرف دیگر این استدلال، این است که در اغلب موارد، این روش نمی‌تواند مقادیر رضایت‌بخش برای تمامی پارامترهای مدل را از مطالعات فرآیندها به‌دست آورد و در نتیجه، واسنجی لازم است. فث و جورگنسن (Fath & Jorgensen, 2011) عنوان کردند که واسنجی لازم است، زیرا برخی از مقادیر پارامترها در نشریات علمی قابل دستیابی نیستند و برخی از مقادیر موجود، دقیقاً همان چیزی نیست که برای مدل مورد نیاز است. پارامترها ممکن است تا حدودی از مقادیر واقعی اما ناشناخته در طبیعت، متفاوت باشند. بعضی از مدل‌ها نیاز به بیش از ۲۰ ضریب برای تعیین ویژگی‌های ژنوتیپ دارند که باید واسنجی شوند. علاوه بر این، تقریباً غیرممکن است که تمام این ضرایب را بتوان از آزمایش‌های مستقل به‌دست آورد. البته از این مورد نباید سوء برداشت شود که واسنجی، مقادیر دقیق‌تری از پارامترها را می‌دهد. واسنجی فقط برای چند پارامتر مدل انجام می‌شود و ضروری است، زیرا ما نیاز به جبران اشتباهات در تمام پارامترهایی که در واسنجی تخمین زده نشدند را داریم.

در این مطالعه، از روش دوم یعنی واسنجی برای برآورد پارامترهای مدل استفاده شد. چون مدل Nwheat به‌تازگی در چارچوب DSSAT ارائه شده است، ابزارهای برآورد ضرایب ژنتیکی موجود در نرم‌افزار مانند GLUE و GenCalc هنوز مدل مذکور را پشتیبانی نمی‌کنند. بنابراین برآورد پارامترها بر اساس سعی و خطا و با

توجه به مفهوم و تعریف هر پارامتر در محدوده معقول آن‌ها و همچنین با استفاده از ابزار Sensitivity نرم‌افزار DSSAT برای رسیدن به حداقل جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) انجام شد. یک روش سیستماتیک برای واسنجی اکثر مدل‌های رشد محصولات ارائه شده و آن بدین صورت است که ابتدا بایستی تاریخ گل‌دهی و تاریخ رسیدگی و سپس تجمع ماده خشک و شاخص سطح برگ و در نهایت، اجزای عملکرد و عملکرد دانه مورد واسنجی قرار گیرد (Hoogenboom et al., 1999). در این مدل پارامترهای P1، VSEN، PPSEN و PHINT بر تاریخ گل‌دهی تأثیر می‌گذارند (جدول ۴). این مرحله واسنجی، مشکل‌ترین و البته مهم‌ترین مرحله واسنجی است، ولی استفاده از داده‌های تاریخ گل‌دهی در طیف وسیعی از اقلیم و سال‌های مختلف، در برآورد دقیق‌تر این ضرایب بسیار مفید خواهد بود. پس از رسیدن به RMSE کوچک‌تر از پنج روز برای تاریخ گل‌دهی، با تغییر دادن پارامتر P5 تاریخ رسیدگی مورد واسنجی قرار گرفت که هر چه مقدار P5 بزرگ‌تر باشد، آن رقم دیررس‌تر می‌شود. در این مرحله چون فقط با یک پارامتر سر و کار داریم واسنجی آن آسان‌تر است. مقدار RMSE کمتر از هفت روز برای تاریخ رسیدگی مناسب در نظر گرفته شد. در مرحله بعد نوبت به پارامترهای GRNO، STMMX و MXFIL رسید که به‌طور هم‌زمان مورد واسنجی قرار گرفتند تا به مقدار nRMSE قابل قبول (۱۰ تا ۲۰ درصد) برای عملکرد دانه برسیم. شاخص‌های آماری که برای مقایسه نتایج داده‌های حاصل از شبیه‌سازی مدل با داده‌های واقعی مورد استفاده قرار گرفت شامل RMSE، جذر میانگین خطای نرمال شده (nRMSE)، شاخص توافق ویلموت (d)، خطای متوسط (ME) و ضریب تشخیص (R^2) بود. از RMSE جهت مقایسه اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده استفاده شد. چنانچه مقدار nRMSE کمتر از ۱۰٪ باشد شبیه‌سازی عالی، بین ۱۰ تا ۲۰٪ خوب، بین ۲۰ تا ۳۰٪ متوسط و بیشتر از ۳۰٪ ضعیف ارزیابی می‌شود (Yang et al., 2014). همچنین هر چه مقدار d به‌دست آمده توسط مدل به یک نزدیک‌تر باشد، بیانگر آن است که مدل در شبیه‌سازی موفق‌تر بوده و توانسته است میزان پیش‌بینی را با اختلاف کمتری نسبت به مقادیر مشاهده شده انجام دهد (Willmott, 1982).

آنالیز حساسیت مدل: آزمون حساسیت مدل به

دی‌اکسیدکربن و دما مورد سنجش قرار گرفت. در این مطالعه از داده‌های هواشناسی ۳۰ ساله (۱۹۸۱-۲۰۱۰) ایستگاه‌های هواشناسی تبریز، مشهد، گرگان و اهواز به‌ترتیب به‌عنوان نماینده منطقه مناسب

کشت ارقام شهریار، پیشتاز، تجن و چمران استفاده شد تا واکنش مدل به تغییرات داده‌های ورودی مورد ارزیابی قرار گیرد. برای سناریوهای آنالیز حساسیت، ترکیب تیماری دمای فعلی و افزایش سه، شش و نه درجه سانتی‌گرادی دمای حداقل و حداکثر روزانه هر منطقه و سه سطح غلظت CO_2 اتمسفر ۳۶۰، ۵۴۰ و ۷۲۰ پی‌پی‌ام انتخاب شدند. با استفاده از قسمت Seasonal Analysis نرم‌افزار DSSAT ۱۲ تیمار ترکیبی از دما و CO_2 ساخته شد و مدل در دوره ۳۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۸۱) اجرا گردید.

نتایج و بحث

واسنجی مدل: نتایج برآورد ضرایب ژنتیکی برای چهار رقم گندم در جدول ۴ ارائه شده است. از آن‌جا که رقم شهریار یک رقم زمستانه است و نیاز به بهاره‌سازی دارد، پارامتر حساسیت به بهاره‌سازی ۲/۰۵ برآورد شد. برای سایر ارقام که بهاره بودند این مقدار یک منظور شد. حساسیت ارقام به فتوپریود نیز از ۴/۸ تا ۵/۷ متفاوت بود (جدول ۴). مقادیر درجه روز مورد نیاز از جوانه‌زنی تا آغاز گل و همچنین شروع پر شدن دانه تا رسیدگی این ارقام متفاوت ولی نزدیک به هم بود (جدول ۴). هر چه مقادیر P_1 و P_5 بزرگ‌تر باشد، آن رقم دیررس‌تر می‌شود. در مدل Nwheat پارامتر فیلوکرون (PHINT) تأثیر مستقیم بر طول مراحل نمو و پارامترهای رشدی به‌ویژه شاخص سطح برگ دارد. پارامترهای GRNO و STMMX که اثر مستقیم بر تعداد دانه در سنبله دارند و همچنین MXFIL که سرعت پر شدن دانه را تعیین می‌کند، پارامترهای تعیین‌کننده عملکرد هستند که مقادیر آن‌ها برای هر رقم برآورد شد (جدول ۴). درک برهم‌کنش بین این پارامترها در مدیریت‌ها و اقلیم‌های متفاوت باعث برآورد دقیق پارامترها و شبیه‌سازی دقیق عملکرد دانه در مدل می‌شود.

مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای روز تا گل‌دهی، روز تا رسیدگی و عملکرد دانه پس از مرحله واسنجی مدل به‌تفکیک هر منطقه در جدول ۵ ارائه شده است. تعداد روز از کاشت تا گل‌دهی ارقام در مناطق مختلف با دقت خوبی شبیه‌سازی شد. آماره‌های RMSE، nRMSE و d برای صفات روز تا گل‌دهی و روز تا رسیدگی نشان داد که واسنجی مدل برای مراحل نمو با دقت بالایی انجام شده است (جدول ۶). اینکه مدل در مناطق مختلف با طول دوره رشدی قادر به شبیه‌سازی مراحل نمو است، نشان‌دهنده دقت بالای واسنجی مدل است. به‌عنوان مثال رقم شهریار در منطقه مشهد با متوسط دوره رشدی ۲۳۱ روز و منطقه اردبیل با طول دوره رشدی ۲۹۷ روز را با دقت خوبی شبیه‌سازی کرده است (جدول ۵). همچنین

برای رقم چمران در مناطق با طول دوره رشد متفاوت ۱۱۳ روز در ایرانشهر تا ۲۰۸ روز در خرم‌آباد، مشاهده می‌شود که دقت مدل در شبیه‌سازی مراحل نمو عالی بوده است (جدول ۵).

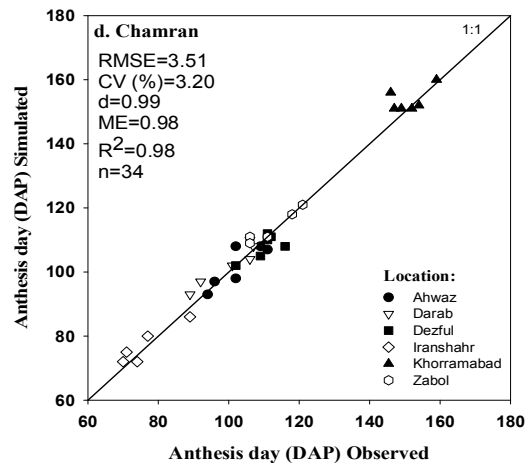
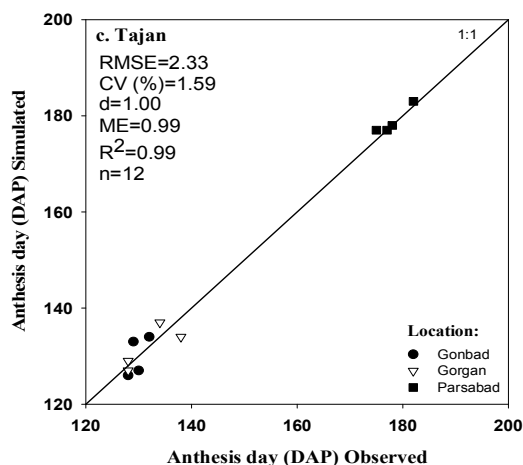
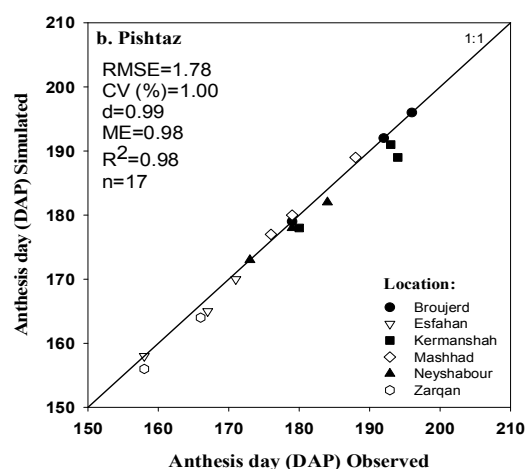
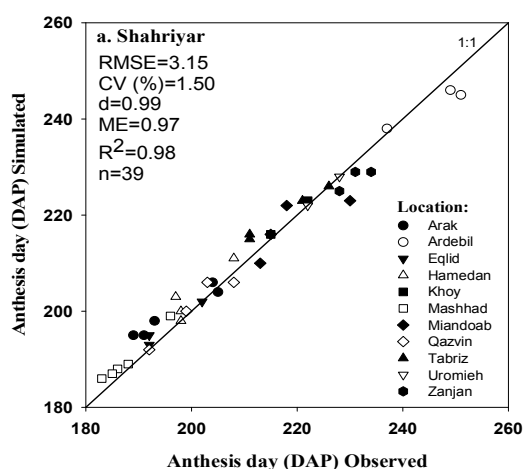
اهمیت واسنجی مراحل نمو از آن جهت بالاست که این مراحل تأثیر مستقیمی بر شبیه‌سازی رشد و عملکرد دارند و به عبارتی، پیش‌نیاز کالیبراسیون تولید ماده خشک و عملکرد می‌باشد. نتایج مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای در مرحله واسنجی مدل برای عملکرد دانه نیز نشان داد که میانگین عملکرد شبیه‌سازی شده هر چهار رقم در مناطق مختلف اقلیمی به مقادیر مشاهده شده بسیار نزدیک بوده است (جدول ۵). همچنین مقدار RMSE کوچک‌تر از ۷۳۰ کیلوگرم در هکتار، nRMSE کمتر از ۱۳ درصد و d بیشتر از ۰/۶۵ بود که دقت واسنجی در برآورد پارامترهای مدل را به‌خوبی نشان می‌دهد (جدول ۶). اگر چه مطالعات ارزیابی مدل برای ارقام هر منطقه خاص است و به‌طور مستقیم قابل مقایسه نیستند، ولی RMSE بین عملکرد مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در این تحقیق قابل مقایسه با یافته‌های دیگر محققان (Singh et al., 2008) در مورد ارزیابی مدل می‌باشد.

اعتبارسنجی مدل: برای تعیین اعتبار مدل از مجموعه‌ای از داده‌های آزمایش‌هایی که در برآورد ضرایب ژنتیکی مدل در مرحله واسنجی به کار نرفته بودند، استفاده شد (جدول ۲). نتایج اعتبارسنجی طول دوره کاشت تا گل‌دهی ارقام در شکل ۲ نشان داده شده است. مقادیر RMSE کوچک‌تر از چهار روز، nRMSE کمتر از سه درصد و d نزدیک به یک نشان از دقت بالای واسنجی مدل دارد. این دقت بالا در مورد مرحله فنولوژیکی کاشت تا رسیدگی هر چهار رقم گندم نیز مشاهده شد (شکل ۳). این معیارهای آماری نشان از توانایی خوب مدل در شبیه‌سازی صفات فنولوژیکی ارقام مختلف گندم در آزمایش‌های مناطق مختلف و سال‌های مختلف می‌باشد. پیش‌بینی نمو فنولوژیک یا مراحل نمو گیاه اهمیت زیادی دارد چون تولید و توزیع ماده خشک در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی تا حدود زیادی تحت تأثیر زمان وقوع مراحل فنولوژی می‌باشد. به همین ترتیب، ممکن است پیش‌بینی تغییرات سطح برگ و سایر فرآیندها به پیش‌بینی نمو فنولوژیک وابسته باشند (Soltani et al., 2006).

جدول ۵- مقادیر شبیه سازی و مشاهده ای روز تا گل دهی، روز تا رسیدگی و عملکرد دانه چهار رقم گندم با استفاده از مدل DSSAT-Nwheat
Table 5- Calibration results for DSSAT-Nwheat in predicting anthesis day, maturity day, and grain yield for four wheat cultivars

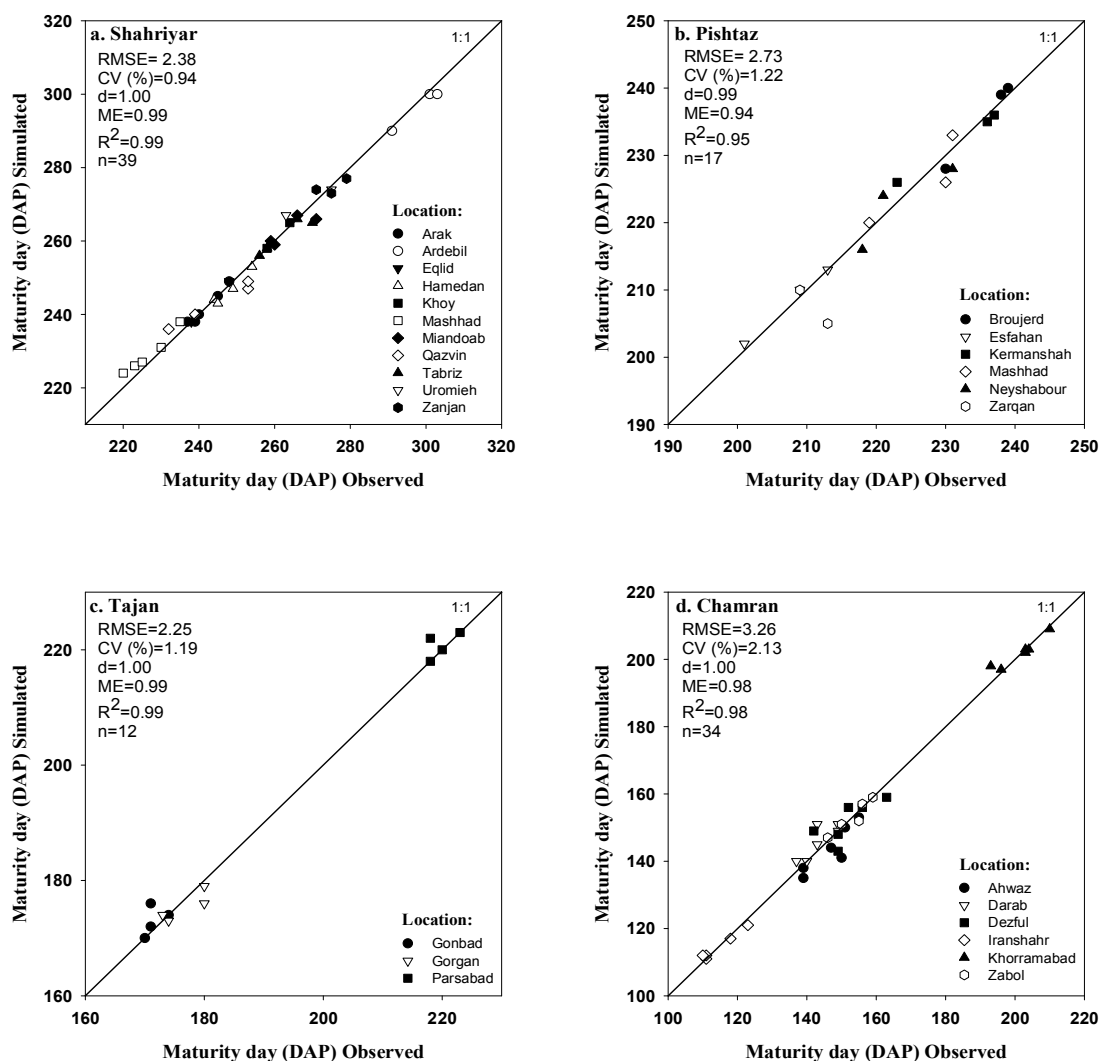
رقم Cultivar	منطقه Location	روز از کاشت تا گرده افشانی Anthesis day after planting (DAP)		روز از کاشت تا رسیدگی Maturity day after planting (DAP)		عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	
		مشاهده شده Observed		شبیه سازی شده Simulated		مشاهده شده Observed	
		مشاهده شده	شبیه سازی شده	مشاهده شده	شبیه سازی شده	مشاهده شده	شبیه سازی شده
شهریار Shahriyar	اراک Arak	203	204	247	246	5604	5389
	اردبیل Ardebil	241	239	297	296	6790	6410
	اقلید Eqld	200	201	246	247	4925	5416
	همدان Hamedan	204	207	254	253	5848	5302
	خوی Khoy	220	219	264	265	6870	7499
	مشهد Mashhad	190	194	231	235	5989	5932
	میاندوآب Miandoab	219	220	265	266	5797	6180
	قزوین Qazvin	202	203	243	245	5835	5660
	تبریز Tabriz	219	221	265	264	6146	6536
	ارومیه Uromieh	226	226	269	273	7466	6165
پیش‌تاز Pishtaz	زنجان Zanjan	226	228	276	275	5707	5807
	Average	214	215	260	260	6089	6027
	بروجرد Broujerd	187	189	233	237	5851	5912
	اصفهان Esfahan	165	163	212	209	5809	5827
	کرمانشاه Kermanshah	183	184	232	232	6366	5663
	مشهد Mashhad	178	181	228	226	6357	6070
	نیشابور Neyshabour	179	181	228	229	5657	5962
	زرقان Zarqan	162	165	215	215	5607	4898
	Average	176	177	225	224	5941	5722
تجن Tajan	گنبد Gonbad	131	132	175	176	4266	4168
	گرگان Gorgan	130	131	178	176	4036	4246
	پارس آباد Parsabad	179	179	221	222	5095	5442
	Average	147	147	191	192	4466	4618

چمران Chamran	اهواز Ahwaz	102	98	147	144	5045	5830
	داراب Darab	98	100	142	144	5621	5846
	دزفول Dezful	108	107	149	152	5292	5236
	ایران‌شهر Iranshahr	77	76	113	113	4261	3907
	خرم‌آباد Khorramabad	156	154	208	207	7006	7202
	زابل Zabol	117	114	157	154	4426	3813
	Average	110	108	153	152	5275	5306



شکل ۲- روز تا گل‌دهی شبیه‌سازی شده در مقابل روز تا گل‌دهی مشاهده شده ارقام (a) شهریار، (b) پیشتاز، (c) تاجن و (d) چمران خط ۱:۱ و پارامترهای آماری نتایج اعتبارسنجی در شکل نشان داده شده است.

Fig. 2- Observed versus simulated anthesis day after planting with the DSSAT-Nwheat model for wheat cultivars a) Shahriyar, b) Pishtaz, c) Tajan, and d) Chamran Line 1:1 and statistics for evaluating model performance were shown in each graph.



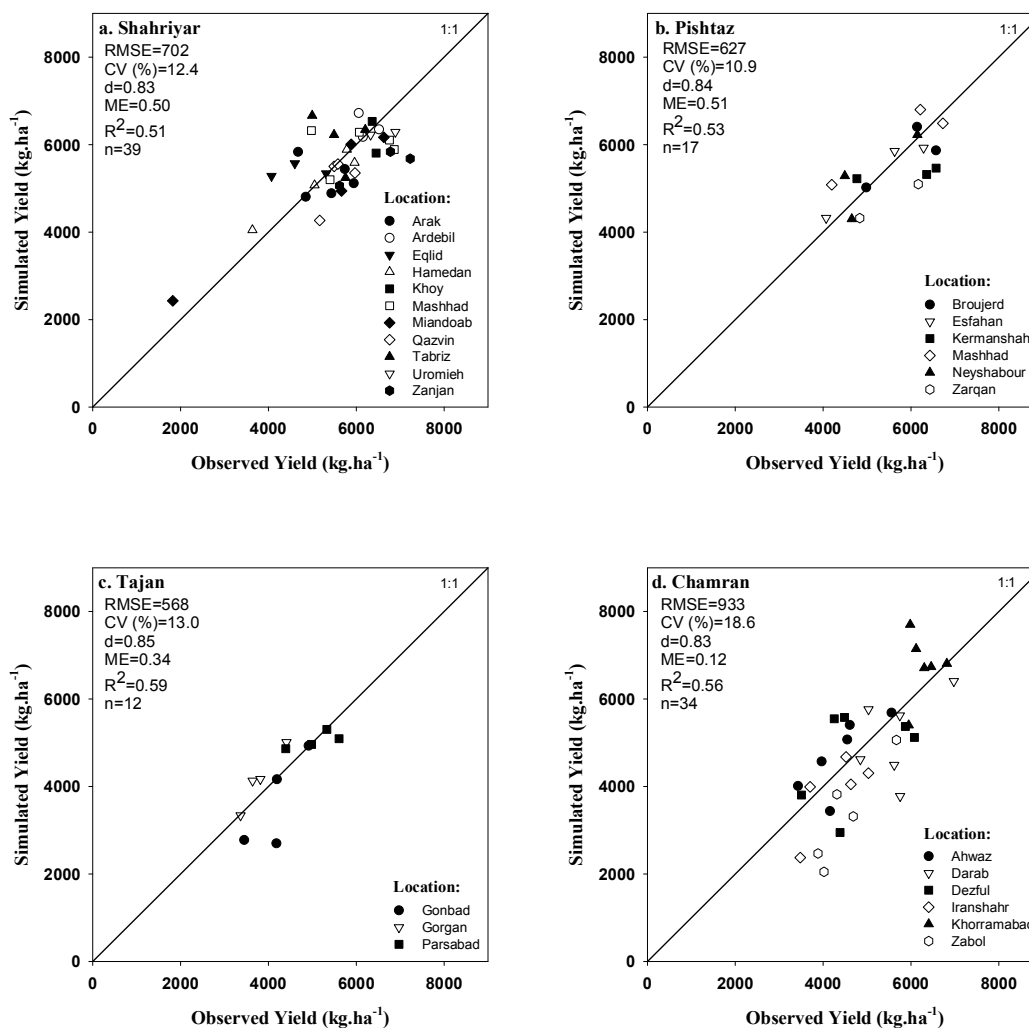
شکل ۳- روز تا رسیدگی شبیه‌سازی شده در مقابل روز تا رسیدگی مشاهده شده ارقام (a) شهریار، (b) پیشتاز، (c) تاجن و (d) چمران
 Fig. 3- Observed versus simulated maturity day after planting with the DSSAT-Nwheat model for wheat cultivars a) Shahriyar, b) Pishtaz, c) Tajan, and d) Chamran

خط ۱:۱ و پارامترهای آماری نتایج اعتبارسنجی در شکل نشان داده شده است.

Line 1:1 and statistics for evaluating model performance were shown in each graph.

شش رقم گندم در دو منطقه بیرجند و مشهد به‌وسیله مدل CERES- Wheat شبیه‌سازی و گزارش نمودند که مدل با دقت بالایی (کمتر از ۱۰ درصد میانگین مشاهدات) مراحل فنولوژیک ارقام گندم را در دو منطقه شبیه‌سازی نموده است.

همچنین نتایج اعتبارسنجی عملکرد دانه چهار رقم گندم نشان داد که مقدار RMSE از ۵۶۸ کیلوگرم در هکتار برای رقم تاجن تا ۹۳۳ کیلوگرم در هکتار برای رقم چمران متغیر بود. ولی از لحاظ nRMSE رقم پیشتاز از دقت بالاتری برخوردار بود. به‌طور کلی، nRMSE و d برای عملکرد دانه ارقام به‌ترتیب کوچک‌تر از ۲۰ درصد و بالاتر از ۰/۸ بود که دقت کالیبراسیون را خوب نشان می‌دهد (شکل ۴). کیانی و همکاران (Kiani et al., 2004) مراحل فنولوژی را برای



شکل ۴- عملکرد دانه شبیه‌سازی شده در مقابل عملکرد دانه مشاهده شده ارقام (a) شهریار، (b) پیشتاز، (c) تاجن و (d) چمران
Fig. 4- Observed versus simulated grain yields with the DSSAT-Nwheat model for wheat cultivars a) Shahriyar, b) Pishtaz, c) Tajan, and d) Chamran

خط ۱:۱ و پارامترهای آماری نتایج اعتبارسنجی در شکل نشان داده شده است.

Line 1:1 and statistics for evaluating model performance were shown in each graph.

گلستان نشان داد که مدل با دقت خوبی مراحل مذکور را شبیه‌سازی نموده است و مقدار RMSE برای روز تا گرده‌افشانی و روز تا رسیدگی به ترتیب ۴/۲ و ۵/۷ روز و برای عملکرد ۶۶۸ کیلوگرم در هکتار بود. به‌رغم وجود این گزارش‌ها که تماماً دقت کالبراسیون را خوب ارزیابی کرده‌اند، یک ضعف عمده در این تحقیقات وجود دارد و آن استفاده از داده‌های محلی برای برآورد پارامترهای مدل می‌باشد.

اندروزیان و همکاران (Andarzian et al., 2008) برای گندم رقم چمران در شرایط اقلیمی اهواز با مدل CERES-Wheat به پیش‌بینی مراحل فنولوژیکی و عملکرد پرداختند و به RMSE ۲/۵ روز برای تاریخ گرده‌افشانی، پنج روز برای رسیدگی فیزیولوژیک و ۴۶۵ کیلوگرم در هکتار برای عملکرد دانه رسیدند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی مراحل فنولوژیکی و عملکرد با DSSAT توسط ماهرو و همکاران (Mahru et al., 2010) برای چهار رقم گندم در استان

جدول ۶- نتایج واسنجی مدل برای شبیه‌سازی روز تا گرده‌افشانی، روز تا رسیدگی و عملکرد دانه چهار رقم گندم

Table 6- Summary of model calibration for predicting anthesis and maturity days and grain yield for four wheat cultivars

صفات Variable	آماره Evaluation stat	شهریار Shahriyar	پیش‌تاز Pishtaz	تجن Tajan	چمران Chamran
روز تا گل‌دهی Anthesis day	RMSE	2.62	2.59	2.60	3.78
	nRMSE (%)	1.51	1.49	1.50	2.18
	d	0.99	0.98	1.00	0.99
	R ² (1:1)	0.98	0.96	0.99	0.98
روز تا رسیدگی Maturity day	RMSE	2.98	3.24	2.74	3.49
	nRMSE (%)	1.36	1.48	1.25	1.59
	d	0.99	0.98	1.00	1.00
	R ² (1:1)	0.97	0.91	0.99	0.99
عملکرد دانه Grain yield	RMSE	708	559	536	722
	nRMSE (%)	12.6	9.9	9.5	12.8
	d	0.65	0.77	0.84	0.90
	R ² (1:1)	0.19	0.45	0.57	0.71

دانه شده است؛ ولی با افزایش بیشتر دما تا نه درجه سانتی‌گراد، عملکرد دانه ۲۳، ۱۵ و ۱۰ درصد نسبت به دمای پایه کاهش یافت (شکل ۵). در مطالعه کاسی و همکاران (Kassie et al., 2016) نیز افزایش شش درجه سانتی‌گراد دما باعث کاهش ۱۷ درصدی عملکرد در هلند و همچنین افزایش نه درجه سانتی‌گراد دما باعث کاهش ۴۲ درصدی عملکرد در استرالیا شد.

افزایش غلظت CO₂ از ۳۶۰ تا ۷۲۰ پی‌پی‌ام در دمای پایه، عملکرد دانه شبیه‌سازی شده را برای مناطق تبریز، مشهد، گرگان و اهواز به ترتیب ۴، ۱۰، ۱۳ و ۱۵ درصد افزایش داد (شکل ۵). بیشترین اثر افزایش CO₂ در شرایط افزایش نه درجه سانتی‌گراد دما در منطقه اهواز بود که توانست ۵۶ درصد عملکرد دانه را بهبود بخشد (شکل ۵). حساسیت متفاوت مدل در مناطق اقلیمی به این پارامترهای تغییر اقلیم نشان از کارایی بالای مدل در شبیه‌سازی است و می‌توان با اطمینان از این مدل کالیبره شده در مطالعات تغییر اقلیم استفاده کرد. دما و CO₂ بر فرآیندهای مختلف رشد و نمو محصول، هدایت روزنه‌ای و سرعت فرآیندهای فیزیولوژیکی تأثیر می‌گذارند. رابطه بین نمو محصول و پاسخ‌های دما در مدل‌های مختلف، متفاوت است. به عنوان مثال، مدل DSSAT-Nwheat یک فاکتور برای افزایش سرعت زوال برگ در پاسخ به دمای شدید دارد. DSSAT-Nwheat تأثیر افزایش غلظت CO₂ بر رشد محصول، کارایی مصرف تشعشع (RUE) و کارایی تعرق (TE) را بر اساس یک تابع مستقل RUE-CO₂-Temperature و یک تابع مستقل CO₂-TE شبیه‌سازی می‌کند (Reyenga et al., 1999). نتایج آزمایش‌های واقعی اثر افزایش

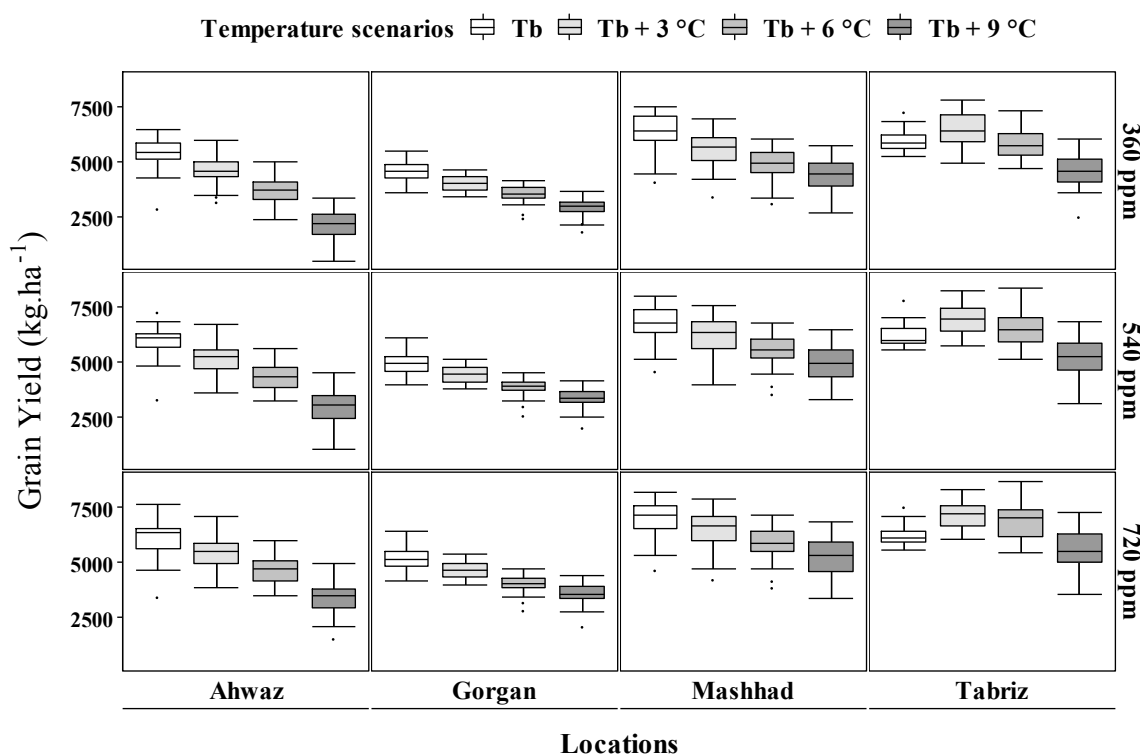
به دلیل وجود برهم‌کنش‌های پیچیده ژنتیکی، شرایط اقلیمی و شیوه‌های مدیریت، استفاده از داده‌های محلی نمی‌تواند به برآورد دقیق ضرایب ژنتیکی منجر شود (Kassie et al., 2016). ارزیابی جامع مدل‌های شبیه‌سازی محصول با مجموعه داده‌های کافی از محیط‌های مختلف، مدیریت، ارقام و انواع خاک برای استفاده از یک مدل محصول با اطمینان در تجزیه و تحلیل سیستم‌های کشاورزی حیاتی است (White et al., 2011). بنابراین، در مطالعه حاضر از مدل DSSAT-Nwheat که با داده‌هایی با طیف گسترده‌ای از مدیریت و شرایط محیطی مورد واسنجی و ارزیابی قرار گرفته است، می‌توان برای ارزیابی اثرات مختلف مدیریت زراعی و تصمیم‌گیری در نظام‌های کشت گندم در شرایط اقلیمی مختلف کشور استفاده کرد.

حساسیت مدل به پارامترهای تغییر اقلیم: نتایج آنالیز

حساسیت مدل DSSAT-Nwheat به افزایش دما و غلظت CO₂ در شکل ۵ نشان داده شده است. واکنش مدل به افزایش دما در مناطق مختلف و سطوح مختلف CO₂ متفاوت بود؛ به‌طوری‌که در منطقه اهواز افزایش دما تا نه درجه سانتی‌گراد در سطوح غلظت ۳۶۰، ۵۴۰ و ۷۲۰ پی‌پی‌ام CO₂ اتمسفر، به ترتیب باعث کاهش ۶۰، ۵۰ و ۴۶ درصدی عملکرد دانه شد؛ این کاهش عملکرد برای منطقه گرگان ۳۶، ۳۲ و ۳۱ درصد و برای منطقه مشهد ۳۲، ۲۸ و ۲۵ درصد بود (شکل ۵). همان‌طور که مشاهده می‌شود افزایش CO₂ مقداری از اثرات منفی گرما را تخفیف داده است. اما در منطقه سردسیر تبریز افزایش سه درجه سانتی‌گراد دما در سطوح غلظت ۳۶۰، ۵۴۰ و ۷۲۰ پی‌پی‌ام CO₂ به ترتیب باعث افزایش ۸، ۱۲ و ۱۴ درصدی عملکرد

۲۴ درصد بود. افزایش غلظت CO_2 باعث افزایش کارایی مصرف آب (WUE) از طریق بسته شدن نسبی روزنه‌ها برای تنظیم شار مولکول CO_2 می‌شود. به همین دلیل افزایش نسبی عملکرد دانه با افزایش غلظت CO_2 در شرایط تنش آب بیشتر است (Kassie et al., 2016). چون کاهش هدایت روزنه‌ای به‌طور مستقیم در مدل Nwheat شبیه‌سازی نمی‌شود، این اثر از طریق افزایش کارایی مصرف ترقق در شرایط افزایش غلظت CO_2 لحاظ می‌شود (Asseng et al., 2004).

دی‌اکسید کربن آزاد هوا بر عملکرد گندم در آمریکا (Kimball, 2006; Kimball et al., 1995; Wall et al., 2006; Ewert et al., 2002) و چین (Li et al., 2007; Ynag et al., 2007) نشان از افزایش ۳۵-۶ درصدی عملکرد دانه دارد که قابل مقایسه با نتایج این تحقیق است. کاسی و همکاران (Kassie et al., 2016) نیز گزارش کردند که در شرایط اقلیمی استرالیا، با افزایش غلظت CO_2 اتمسفر از ۳۶۰ تا ۷۲۰ پی‌پی‌ام عملکرد شبیه‌سازی شده در مدل DSSAT-Nwheat، ۱۰ درصد افزایش یافت که البته این مقدار افزایش در مدل‌های CERES و CROPSIM به‌ترتیب ۳۲ و



شکل ۵- حساسیت مدل DSSAT-Nwheat به سطوح مختلف افزایش دما و CO_2 در مناطق مختلف اقلیمی

Fig. 5- Sensitivity of the DSSAT-Nwheat model to levels of temperature and CO_2 concentrations in different climate regions

در نظام‌های کشت گندم در شرایط اقلیمی جاری و آینده مورد استفاده قرار گیرد. همچنین این مدل می‌تواند برای بررسی اثرات دما، CO_2 ، آب، مواد مغذی و شیوه‌های مدیریت زراعی در طیف وسیعی از محیط‌های رشد گندم مورد استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که مدل DSSAT-Nwheat پاسخ‌های عملکرد دانه به طیف گسترده‌ای از مدیریت و شرایط محیطی را به‌خوبی پیش‌بینی می‌کند. این مدل کالیبره شده هم‌اکنون می‌تواند برای ارزیابی تأثیرات مختلف مدیریت زراعی و تصمیم‌گیری

References

- Andarzian, B., Bakhshande, A.M., Bannayan, M., and Emam, Y., 2008. Evaluation of the CERES-wheat model in Ahvaz condition. *Journal of Agronomy Research of Iran* 6: 11-22. (In Persian with English Summary)
- Angulo, C., Rotter, R., Lock, R., Enders, A., Fronzek, S., and Ewert, F., 2013. Implication of crop model calibration strategies for assessing regional impacts of climate change in Europe. *Agricultural and Forest Meteorology* 170: 32-46.
- Asseng, S., Jamieson, P.D., Kimball, B., Pinter, P., Sayre, K., Bowden, J.W., and Howden, S.M., 2004. Simulated wheat growth affected by rising temperature: increased water deficit and elevated atmospheric CO₂. *Field Crops Research* 85(2-3): 85-102.
- Asseng, S., Keating, B.A., Fillery, I.R.P., Gregory, P.J., Bowden, J.W., Turner, N.C., Palta, J.A., and Abrecht, D.G., 1998. Performance of the APSIM-wheat model in Western Australia. *Field Crops Research* 57(2): 16-179.
- Asseng, S., Milroy, S.P., and Poole, M.L., 2008. Systems analysis of wheat production on low water-holding soils in a Mediterranean-type environment I. Yield potential and quality. *Field Crops Research* 105(1-2): 97-106.
- Bannayan, M., Crout, N.M.J., and Hoogenboom, G., 2003. Application of the CERES-wheat model for within-season prediction of winter wheat yields in the United Kingdom. *Agronomy Journal* 95: 114-125.
- Bassu, S., Asseng, S., and Richards, R., 2011. Yield benefits of triticale traits for wheat under current and future climates. *Field Crops Research* 124(1): 14-24.
- Esmailzadeh Moghaddam, M., Lotfali Aineh, G., Akbarimghadam, H., Abedini, M., Tahmasbi, S., Farhadnato, M., Seyahfer, M., Maghsoudinezhad, K., Poodineh, A., Shirvani, A., Sanei Nejad, A., Shahbazzpour, A., Tahmasbi, S., Amir Bakhtiar, N., Nikzad, A.R., Tabibbaghfari, M., Abdollahi, A., Mardani, M., and Jokar, K., 2011. Final report: Evaluation of adaptability of wheat genotypes in elite regional wheat yield trials (ERWYT79-89) of Warm Southern Zone (Zone-II). Cereal Research Department, Seed and Plant Improvement Institute-SPII, Karaj, Iran. (In Persian)
- Fath, B., and Jorgensen, S.E., 2011. *Fundamentals of Ecological Modelling: Applications in Environmental Management and Research*, (4th Ed.). Elsevier, Amsterdam.
- Heng, L.K., Asseng, S., Mejahed, K., and Rusan, M., 2007. Optimizing wheat productivity in two rainfed environments of the West Asia-North Africa region using a simulation model. *European Journal of Agronomy* 26(2): 121-129.
- Holzworth, D.P., Huth, N.I., Devoil, P.G., Zurcher, E.J., Herrmann, N.I., McLean, G., Chenu, K., Van Oosterom, E.J., Snow, V., Murphy, C., Moore, A.D., Brown, H., Whish, J.P.M., Verrall, S., Fainges, J., Bell, L.W., Peake, A.S., Poulton, P.L., Hochman, Z., Thorburn, P.J., Gaydon, D.S., Dalgliesh, N.P., Rodriguez, D., Cox, H., Chapman, S., Doherty, A., Teixeira, E., Sharp, J., Cichota, R., Vogeler, I., Li, F.Y., Wang, E.L., Hammer, G.L., Robertson, M.J., Dimes, J.P., Whitbread, A.M., Hunt, J., van Rees, H., McClelland, T., Carberry, P.S., Hargreaves, J.N.G., MacLeod, N., McDonald, C., Harsdorf, J., Wedgwood, S., and Keating, B.A., 2014. APSIM—evolution towards a new generation of agricultural systems simulation. *Environmental Modelling and Software* 62: 327-350.
- Hoogenboom, G., Porter, C.H., Shelia, V., Boote, K.J., Singh, U., White, J.W., Hunt, L.A., Ogoshi, R., Lizaso, J.I., Koo, J., Asseng, S., Singels, A., Moreno, L.P., and Jones, J.W., 2017. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.7 (<https://DSSAT.net>). DSSAT Foundation, Gainesville, Florida, USA.
- Hoogenboom, G., Wilkens, P.W., and Tsuji, G.Y., 1999. DSSAT v3, Vol. 4. University of Hawaii, Honolulu, HI.
- Hussain, J., Khaliq, T., Ahmad, A., and Akhtar, J., 2018. Performance of four crop models for simulations of wheat phenology, leaf growth, biomass and yield across planting dates. *PLoS One* 13(6): 1-14.
- Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J., and Ritchie, J.T., 2003. DSSAT Cropping System Model. *European Journal of Agronomy* 18: 235-265.
- Kassie, B.T., Asseng, S., Porter, C.H., and Royce, F.S., 2016. Performance of DSSAT-Nwheat across a wide range of current and future growing conditions. *European Journal of Agronomy* 81:27-36.
- Keating, B.A., Carberry, P.S., Hammer, G.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., Holzworth, D., Huth, N.I., Hargreaves, J.N.G., Meinke, H., Hochman, Z., McLean, G., Verburg, K., Snow, V., Dimes, J.P., Silburn, M., Wang, E., Brown, S., Bristow, K.L., Asseng, S., Chapman, S., McCown, R.L., Freebairn, D.M., and Smith, C.J., 2003. An overview of APSIM: a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy* 18(3-4): 67-288.
- Keating, B.A., Meinke, H., Probert, M.E., Huth, N.I., and Hills, I.G., 2001. NWheat: Documentation and Performance

- of a Wheat Module for APSIM. CSIRO Australia: Tropical Agriculture Technical Memorandum 9: 66pp.
- Kiani, A., Koocheki, A.R., Nassiri Mahallati, M., and Banayan, M., 2004. CERES-Wheat model evaluation at two different climatic in Khorasan province, II Phenology and growth parameter simulation. *Journal of Desert* 9: 125-142. (In Persian with English Summary)
- Liu, B., Asseng, S., Liu, L.L., Tang, L., Cao, W.X., and Zhu, Y., 2016. Testing the responses of four wheat crop models to heat stress at anthesis and grain filling. *Global Change Biology* 22: 1890-1903.
- Mahru, A.H., Soltani, A., Galeshi, S., and Kalate-Arabi, M., 2010. Estimates of genetic coefficients and evaluation of model DSSAT for Golestan province. *Electronic Journal of Crop Production* 3(2): 229-253. (In Persian with English Summary)
- Matthews, R.B., Rivington, M., Muhammed, S., Newton, A.C., and Hallett, P.D., 2013. Adapting crops and cropping systems to future climates to ensure food security: the role of crop modelling. *Global Food Security* 2(1):24-28.
- Najafi Mirok, T., Rezaei, M., Chaychi, M., Babaei, T., Sanjari, A., Ghodsi, M., Razavi, A.R., Yazdansepe, A., Torabi, M., Hooshyar, R., Atahosseini, M., AliSafavi, S., Mahfouzi, S., Aminzadeh, G., Nazeri, M., Rezaie, A., Jasemi, S., Ghorbani, A., and Amini, A., 2011. Final Report: Evaluation of adaptability of wheat genotypes in elite regional wheat yield trials (ERWYT81-89) of Cold Zone (Zone-IV). Cereal Research Department, Seed and Plant Improvement Institute-SPII, Karaj, Iran. (In Persian)
- Najafian, G., Ahmadi, G., Qandi, A., Shabanzadeh, B., Sarikhani, S., Jafarnejad, A., Hassanpour, J., Zare Faizabadi, A., HajAkhonde Meybodi, H., Mohammadkhani, A., Nategh, Z., Jokar, R., Ghavidel, N., Niazi, A., Sahraee, M., Minoo, J., Kalameh, A., Ammarloo, M., Nazari Beyranvand, H., Sadeghi, D., Dehghani, M.H., Mansouri, J., Tabeie, M., and Kohistani, B., 2010. Final Report: Evaluation of adaptability of wheat genotypes in elite regional wheat yield trials (ERWYT82-88) of Temperate Zone (Zone-III). Cereal Research Department, Seed and Plant Improvement Institute-SPII, Karaj, Iran. (In Persian)
- Nouri, M., Homaei, M., Bannayan, M., and Hoogenboom, G., 2016. Towards modeling soil texture-specific sensitivity of wheat yield and water balance to climatic changes. *Agricultural Water Management* 177: 248-263.
- O'Leary, G., Christy, B., Nuttall, J., Huth, N., Cammarano, D., Stockle, C., Basso, B., Shcherbak, I., Fitzgerald, G., Luo, Q., Farre-Codina, I., Palta, J., and Asseng, S., 2015. Response of wheat growth, grain yield and water use to elevated CO₂ under a free-air CO₂ enrichment (FACE) experiment and modelling in a semi-arid environment. *Global Change Biology* 21(7): 2670-2686.
- Oteng-Darko, P., Yeboah, S., Addy, S.N.T., Amponsah, S. and Owusu Danquah, E., 2013. Crop modeling: A tool for agricultural research – A review. *E3 Journal of Agricultural Research and Development (EJARD)* 2(1): 1-6.
- Reyenga, P.J., Howden, S.M., Meinke, H., and McKeon, G.M., 1999. Modelling global change impacts on wheat cropping in south-east Queensland, Australia. *Environmental Modelling and Software* 14(4): 297-306.
- Ritchie, J.T., Singh, U., Godwin, D., and Bowen, W.T., 1998. Cereal growth, development, and yield. In: G.Y. Tsuji, G. Hoogenboom, and P.K. Thornton (Eds.). *Understanding Options for Agricultural Production*. The Netherlands: Kluwer Academic, Dordrecht, p. 79-98.
- Saadati, Z., Delbari, M., Amiri, E., Panahi, M., Rahimian, M.H., and Ghodsi, M., 2016. Assessment of CERES-Wheat model in simulation of varieties of wheat yield under different irrigation treatments. *Journal of Water and Soil Resources Conservation* 5(3): 73-85. (In Persian with English Summary)
- Sinclair, T.R., and Seligman, N., 2000. Criteria for publishing papers on crop modeling. *Field Crops Research* 68: 165-172.
- Singh, A.K., Tripathy, R., and Chopra, U.K., 2008. Evaluation of CERES-Wheat and CropSyst models for water-nitrogen interactions in wheat crop. *Agricultural Water Management* 95(7): 776-786.
- Soltani, A., Hammer, G.L., Torabi, B., Robertson, M.J., and Zeinali, E., 2006. Modeling chickpea growth and development: phenological development. *Field Crops Research* 99: 1-13.
- SPII (Seed and Plant Improvement Institute), 2015. *Introduce of crops cultivars (Food Security and Health, Vol. 1)* Agricultural Research, Education and Promotion Organization, Karaj, Iran. (In Persian)
- Vahabzadeh, M., Kalateh, M., Jafarbayeh, J., Khavareinejad, M.S., Ghasemi, M., Souqi, H., Sheikh, F., Afshari, F., Ebrahimnejad, S., Dehghan, M.A., Naseri, A., Babaei Gol, A., Morteza Gholi, M., Khalilzadeh, G., Nouri, T., Abrodi, A.M. Saeedi, A., Fallah, H., Aminzadeh, G., and Lotfinejad, L., 2008. Final Report: Evaluation of adaptability of wheat genotypes in elite regional wheat yield trials (ERWYT79-86) of North Warm and Humid Zone

- (Zone-I). Cereal Research Department, Seed and Plant Improvement Institute-SPII, Karaj, Iran. (In Persian)
- Wang, X., Kemanian, A., and Williams, J., 2011. Special features of the EPIC and APEX modeling package and procedures for parameterization, calibration, validation, and applications. In: L.R. Ahuja and L. Ma (Eds.). *Methods of Introducing System Models into Agricultural Research*. American Society of Agronomy, Madison. p. 177-208.
- White, J.W., Hoogenboom, G., Kimball, B.A., and Wall, G.W., 2011. Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. *Field Crops Research* 124(3): 357-368.
- Willmott, C.J., 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of American Meteorology Society* 63: 1309-1313.
- Yang, J.M., Yang, J.Y., Liu, S., and Hoogenboom, G., 2014. An evaluation of the statistical methods for testing the performance of crop models with observed data. *Agricultural Systems* 127: 81-89.
- Zacharias, M., Kumar, S.N., Singh, S.D., Swaroopa, D.N., and Aggarwal, P.K., 2015. Evaluation of a regional climate model for impact assessment of climate change on crop productivity in the tropics. *Current Science* 108(6): 1119-1126.



Evaluation of DSSAT-Nwheat Model across a Wide Range of Climate Conditions in Iran

M. Fallah¹, A. Nezami^{2*}, H. Khazaie² and M. Nassiri Mahallati²

Submitted: 12-12-2018

Accepted: 23-06-2019

Fallah, M., Nezami, A., Khazaie, H., and Nassiri Mahallati, M., 2021. Evaluation of DSSAT-Nwheat model across a wide range of climate conditions in Iran. *Journal of Agroecology* 12(4):561-580

Introduction

Crop models can integrate the complex interactions of soil properties, climatic conditions, crop management practices, and crop genetic characteristics. One of the main aspects of crop simulation models is the possibility to use them across various environmental and management conditions, provided that they have been evaluated under a wide range of growing conditions. The Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) modeling platform is leading crop modeling system that is widely applied in various environments. Testing crop models under various temperature environments are essential to apply models to climate impact studies. The objective of this study was the testing and evaluation of DSSAT-Nwheat model across a wide range of climate conditions in Iran.

Materials and Methods

Nwheat model, which recently integrated into DSSAT, was evaluated for four wheat cultivars using observations from field experiments included a wide range of climate and management. Cultivars were Shahriyar, Pishtaz, Tajan, and Chamran cultivated in cold, temperate, humid and tropical regions in Iran, respectively. The locations represent four different wheat mega-environments, a concept used by wheat breeders for testing cultivars. The management information used at each site was obtained from the Seed and Plant Improvement Institute. Daily weather data, management events, and soil characteristics imported to DSSAT. The performance of the DSSAT-Nwheat during the calibration and evaluation was assessed using different statistics, Root Mean Square Error (RMSE), Normalized Root Mean Square Error (nRMSE), Willmott's index (d), and coefficient of determination (R^2) of a 1:1 regression line. A sensitivity analysis was conducted using 30 years of observed weather data from Tabriz, Mashhad, Gorgan, and Ahwaz. For the sensitivity analysis scenarios, the temperature was increased by 3, 6, and 9°C, and atmospheric CO₂ concentration levels were set at 360, 540, and 720 ppm.

Results and Discussion

Evaluation results showed that DSSAT-Nwheat model simulated planting to anthesis and planting to maturity accurately with RMSE values less than four days, nRMSE less than 3%, and d index close to one. Also, evaluation of grain yield showed that RMSE varied from 568 kg ha⁻¹ for Tajan cultivar up to 933 kg ha⁻¹ for Chamran cultivar. In general, nRMSE and d index for grain yield were less than 20% and higher than 0.8, respectively, which showed good calibration accuracy. In DSSAT-Nwheat model, the specific heat stress function explains heat stress effects during grain filling on grain yield in cultivars. Chamran cultivar is somewhat resistant to end season heat stress, so the DSSAT-Nwheat model underestimated in the warm regions. Because the cultivars differ regarding resistance to the end season heat stress, crop models need to consider cultivar-specific tolerance to heat stress to better simulate temperature effects on wheat cropping systems. The response

1- Ph.D. in Crop Ecology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

2- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

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

Doi:10.22067/jag.v12i4.7

of the model to the increase in temperature was different in regions and levels of CO₂ concentrations. Elevated atmospheric CO₂ concentrations lessened some of the adverse effects of high temperature. Therefore, the sensitivity analysis of DSSAT-Nwheat model to temperature variations and elevated atmospheric CO₂ concentrations showed that the model could be used in studies of climate change impacts on wheat production. This model can be employed to explore the integrated effects of temperature, atmospheric CO₂ concentrations, water, nutrients, and agronomic management practices in a range of wheat growing environments.

Conclusion

The results of this study showed that the DSSAT-Nwheat model had reliably good performance under a wide range of management and environmental conditions. This calibrated model can now be used for assessing impacts of various agronomic management strategies and decisions in wheat cropping systems under current and anticipated climate change. But more importantly is the calibration method and using a large number of climatological data to calibrate.

Keywords: Climate change, Developmental stages, Genetic coefficients, Modeling, Sensitivity analysis



مقاله علمی - پژوهشی

بهینه‌سازی آبیاری و تراکم کاشت ذرت (*Zea mays* L.) به کمک روش سطح-پاسخ

علیرضا کوچکی^{۱*}، مهدی نصیری محلاتی^۱ و علی مؤمن^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۱۶

کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م.، و مؤمن، ع.، ۱۳۹۹. بهینه‌سازی آبیاری و تراکم کاشت ذرت (*Zea mays* L.) به کمک روش سطح-پاسخ. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۴): ۵۸۱-۵۹۴.

چکیده

با افزایش کارایی مصرف آب از طریق عملیات مدیریتی نظیر تراکم مناسب کاشت و میزان آبیاری می‌توان در مناطق خشک و نیمه‌خشک عملکرد محصول را افزایش داد. به همین منظور آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۴ به روش سطح-پاسخ (RSM) در قالب طرح مرکب مرکزی با دو تکرار روی گیاه ذرت (*Zea mays* L.) در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. تیمارهای آزمایش با توجه به سطوح بالا و پایین حجم آبیاری (۶۰۰۰ و ۱۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار) و تراکم کاشت (پنج و نه بوته در مترمربع) طراحی شدند. عملکرد ذرت، عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب به عنوان متغیرهای وابسته مورد ارزیابی قرار گرفتند و با استفاده از مدل رگرسیونی درجه دو کامل واکنش این صفات به متغیرهای مستقل (تراکم و آبیاری) محاسبه شدند. سپس مقدار مصرف آب و تراکم ذرت بر اساس سه سناریوی اقتصادی، زیست‌محیطی و اقتصادی-زیست‌محیطی بهینه سازی شدند. در سناریوی اقتصادی با در نظر گرفتن هشت بوته در مترمربع و آبیاری ۱۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار بیشترین میزان عملکرد اقتصادی با ۱۳۴۵/۸ گرم در مترمربع به دست آمد که در این شرایط عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب به ترتیب ۴۵۳۴/۷ گرم در مترمربع و ۰/۹۸ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب بود. در سناریوی زیست‌محیطی نیز از انتخاب تراکم هفت بوته در مترمربع و آبیاری ۷۹۳۹ مترمکعب در هکتار بیشترین میزان کارایی مصرف آب ($1/21 \text{ kg.m}^{-3}$) حاصل شد که تحت این شرایط عملکرد دانه ۹۸۸/۶ گرم در مترمربع بود. بر اساس سناریوی اقتصادی-زیست‌محیطی، با انتخاب تراکم ۷/۵ بوته در مترمربع و آبیاری معادل ۱۰۸۴۸ مترمکعب در هکتار، بیشترین میزان عملکرد دانه و کارایی مصرف آب به ترتیب با ۱۲۴۰/۷ گرم در مترمربع و ۱/۱۶ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب به دست آمد. بنابراین، به طور کلی مصرف آب و انتخاب تراکم بر اساس سناریوی تلفیقی به دلیل در نظر گرفتن توأم مسائل اقتصادی و زیست‌محیطی نسبت به سناریوهای دیگر برتری دارد.

واژه‌های کلیدی: سناریوی اقتصادی-زیست‌محیطی، طرح مرکب مرکزی، عملکرد اقتصادی، کارایی مصرف آب

مقدمه

علاوه بر استفاده غذایی در بسیاری از کشورها، کاربردهایی نظیر تولید اتانول به عنوان سوخت زیستی و به شکل‌های سیلویی، علوفه و دانه-ای برای چهارپایان استفاده می‌شود (Heng et al., 2009). با توجه به تغییرات اقلیمی، افزایش تولید در شرایط بارندگی کم مناطق نیمه‌خشک به عنوان چالش مهمی مطرح شده است (Nyakudya & Stroosnijder, 2014) و کشاورزی در این مناطق اغلب در نتیجه پایین بودن کارایی مصرف آب بهره‌وری پایینی دارند (Wu et al., 2015). دلایل بسیار زیادی برای افزایش بهره‌وری مصرف آب در بخش کشاورزی وجود دارد که به طور کلی، می‌توان در

ذرت (*Zea mays* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات شناخته شده است که نزدیک به ۳۰٪ تولیدات محصولات دانه‌ای در جهان را شامل می‌شود. اخیراً نیاز برای تولید ذرت افزایش یافته است که

۱- استاد گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۲- دانشجوی دکتری آگرواکولوژی گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

(*) - نویسنده مسئول:
(Email: akooch@um.ac.ir
Doi: 10.22067/jag.v12i4.55311

سه گروه بزرگ طبقه‌بندی کرد: (۱) عواملی که با پایداری و بهبود محیط زیست مرتبطاند (Martín de Santa Olalla et al., 2007)؛ (۲) عواملی که با امنیت غذایی، افزایش جمعیت و تغییر اقلیم مرتبط-اند (Rosenzweig & Parry, 1994; González, 2010) و (۳) عواملی که آب را به‌عنوان فاکتور تولیدی در نظر گرفته و سودآوری مزارع از نظر اقتصادی را مورد توجه قرار می‌دهند (MartínezValderrama et al., 2011; Domínguez et al., 2012). از این‌رو، با توجه به کمبود منابع آبی و عدم قطعیت از وضعیت بارش در نتیجه تغییرات اقلیمی بهبود کارایی مصرف آب ضروری است (Heng et al., 2009) که می‌توان از طریق روش‌های مدیریتی مناسب نظیر انتخاب ارقام با ریشه‌دهی عمیق، تراکم مناسب کاشت و مدیریت حاصلخیزی خاک، کارایی مصرف آب و عملکرد محصولات را افزایش داد (Rockström et al., 2010; Titttonell & Giller, 2013).

تعیین تراکم بهینه یکی از راهکارهای مؤثر در بهبود کارایی استفاده از منابع موجود و افزایش عملکرد در واحد سطح است (Nassiri Mahallati et al., 2015). تراکم کشت با توجه به ژنوتیپ گیاه به‌طور گسترده متفاوت است (Nyakudya & Stroosnijder, 2014). هدف اصلی افزایش تراکم کشت، بهبود کارایی استفاده از منابع در واحد سطح و افزایش عملکرد دانه و زیست‌توده می‌باشد (Testa et al., 2016). عملکرد دانه در شرایط عدم وجود تنش زیستی و غیرزیستی به حداکثر شاخص سطح برگ و میزان تشعشع جذب شده به‌وسیله تراکم بالای گیاهی با تسریع در بسته شدن کانوپی بستگی دارد (Cox & Cherney, 2001). ارقام جدید ذرت نسبت به ارقام قدیمی به دلیل تحمل بالا به رقابت درون‌گونه‌ای نسبت به تراکم‌های بالای گیاهی تحمل بیشتری دارند و در نتیجه، نابرابری و افت عملکرد در آن‌ها کاهش یافته است (Widdicombe & Thelen, 2002). متوسط تراکم ذرت در شرایط کشت فشرده در ایالت متحده آمریکا حدود هشت گیاه در مترمربع است (Li et al., 2015) درحالی‌که در شرایط اقلیمی اروپا تراکم از شش تا هشت گیاه در مترمربع برای هیبریدهای متوسط تا دیررس متفاوت است (Sharratt & McWilliams, 2005). در مناطق نیمه‌خشک اغلب ذرت را با تراکم پایین کشت می‌کنند. درحالی‌که، در شرایط رطوبتی مناسب تراکم شش تا ۱۱/۹ بوته در مترمربع توصیه شده است (Heng et al., 2009).

بین مقدار مصرف آب و تراکم گیاهان زراعی اثرات متقابل پیچیده‌ای وجود دارد (Gheysari et al., 2009). بنابراین، تعیین مقدار بهینه منابع از قبیل آب و واکنش گیاه به میزان تراکم و تعیین

تراکم مطلوب در بوم‌نظام‌های زراعی، برای کاهش تلفات منابع و حصول عملکرد مناسب بسیار مهم و ضروری است (Koocheki et al., 2016). یکی از روش‌های مورد استفاده جهت بهینه‌سازی عوامل مختلف، استفاده از طرح مرکب مرکزی^۱ است (Wu & Hamada, 2000). این طرح روشی جایگزین و مناسب برای آزمایشات فاکتوریل می‌باشد که توسط باکس و ویلسون (Box & Wilson, 1951) ارائه شد و بعدها توسط باکس و هانتز (Box & Hunter, 1957) اصلاح گردید. مزیت استفاده از طرح مرکب مرکزی نسبت به آزمایشات فاکتوریل، امکان استخراج اطلاعات بیشتر از تحلیل این طرح و تعداد کمتر تیمار و تکرارهای مورد نیاز جهت انجام آزمایش می‌باشد که اجرای این طرح را آسان‌تر می‌کند. همچنین، امکان تعیین ترکیب‌های مختلف متغیر مستقل را در آزمایش فراهم می‌آورد (Aslan, 2007). از این‌رو روش آماری مناسبی برای بهینه‌سازی سطوح فاکتورهای مورد بررسی برای دست‌یابی به اهداف مشخص می‌باشد. نتایج مطالعات بهینه‌سازی با استفاده از این طرح در زراعت کلزا نشان داد که در سناریوی اقتصادی، مقدار بهینه آب، کود و تراکم کلزا (*Brassica napus* L.) به‌ترتیب برابر با ۳۴۱۱ مترمکعب، ۱۷۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و ۱۱۹ بوته در مترمربع برآورد شد (Koocheki et al., 2014). همچنین، مقدار بهینه این تیمارها در سناریوی زیست‌محیطی به‌ترتیب ۱۸۰۲ مترمکعب، ۱۱ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و ۱۲۲ بوته در مترمربع و در سناریوی اقتصادی-زیست‌محیطی به‌ترتیب معادل ۲۳۴۷ مترمکعب، ۹۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و ۱۱۴ بوته در مترمربع به‌دست آمد. در مطالعه دیگری، مقدار بهینه آبیاری و کود نیتروژن در زراعت گندم در سناریوی اقتصادی به‌ترتیب ۲۷۴ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۳۹۶۴ مترمکعب در هکتار آبیاری به دست آمد (Koocheki et al., 2016). در سناریوی زیست‌محیطی، مقدار بهینه این منابع به‌منظور کاهش تلفات نیتروژن محاسبه شد و برای کوددهی و آبیاری به‌ترتیب مقادیر ۶۴/۶۵ کیلوگرم در هکتار و ۲۶۵۱ مترمکعب در هکتار به‌دست آمد. در سناریوی اقتصادی-زیست‌محیطی عملکرد دانه و کاهش تلفات نیتروژن هم‌زمان مورد نظر قرار گرفت، در نتیجه مقادیر بهینه سطوح کوددهی و آبیاری به‌ترتیب معادل ۱۵۳ کیلوگرم در هکتار و ۳۰۳۰ مترمکعب به‌دست آمد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک
Table 1- Soil physicochemical properties

اسیدیته	هدایت الکتریکی	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	بافت
pH	EC (dS.m ⁻¹)	K (mg.kg ⁻¹)	P (mg.kg ⁻¹)	N (%)	Texture
7.6	2.4	200	30	0.045	لومی-سیلیتی Silt-loam

انجام گرفت و پس از آن نقشه طرح پیاده و کرت‌هایی به ابعاد ۱/۵ در سه متر ایجاد شد. فاصله روی ردیف ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴) جهت کاشت ۲۰ سانتی‌متر در همه تیمارها ثابت در نظر گرفته شد. از این رو، جهت اجرای تراکم‌های پنج، هفت و نه بوته در مترمربع فاصله بین ردیف‌ها به ترتیب ۵۵، ۷۰ و ۸۵ سانتی‌متر تنظیم گردید. آبیاری بلافاصله پس از کاشت و پس از آن هر هفت روز یک بار انجام شد. با تقسیم کل دوره رشدی که گیاه نیاز به آبیاری داشت (۱۲۰ روز) بر دور آبیاری، تعداد مراحل آبیاری محاسبه شد و برای تعیین مقدار آبیاری در هر دوره، میزان کل آب مصرفی بر اساس تیمارهای ذکر شده (۶۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۱۴۰۰۰ مترمکعب) بر تعداد مراحل آبیاری تقسیم و با استفاده از کنتور در هر مرحله از آبیاری مقدار آب مورد نظر در هریک از تیمارها اعمال شد. کنترل علف‌های هرز در سه نوبت از طریق وجین دستی انجام گرفت.

در پایان فصل رشد، برای اندازه‌گیری عملکرد دانه و بیولوژیک هر کرت، تمام بوته‌ها از مساحت دو مترمربع برداشت شدند و بوته‌های برداشت شده به مدت یک هفته در سایه و دمای معمولی قرار گرفتند و پس از توزین، میزان عملکرد دانه و ماده خشک تولیدی هر کرت مشخص شد.

کارایی مصرف آب طبق معادله ۱ محاسبه شد (Koocheki et al., 2014; Heydaripour et al., 2014).

$$WUE = \frac{Y_s}{W} \quad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله، Y_s : عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و W : مقدار کل آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) می‌باشد.

به منظور آنالیز نتایج، مدل درجه دو کامل با اثرات متقابل به داده‌های آزمایشی برازش داده شد (معادله ۲) و سپس بر اساس معیارهای آماری تجزیه رگرسیون (شامل مقادیر عدم برازش^۴، مقدار R^2 و بهترین مدل انتخاب شد.

علی‌رغم تحقیقات گسترده‌ای که در مورد اثر سطوح مختلف آبیاری و تراکم کاشت روی گیاهان مختلف از جمله ذرت صورت گرفته است، اطلاعات موجود در زمینه بهینه‌سازی هم‌زمان این دو عامل با استفاده از روش سطح-پاسخ^۱ اندک است، لذا این تحقیق با هدف بهینه‌سازی میزان مصرف آبیاری و تراکم کاشت با استفاده از طرح مرکب مرکزی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۴ به روش سطح-پاسخ (RSM) در قالب طرح مرکب مرکزی با دو تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا انجام شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری) مورد آزمایش در جدول ۱ نشان داده است.

طرح مرکب مرکزی تکنیک آماری است که در بهینه‌سازی فرایندهایی به کار برده می‌شود که پاسخ مورد نظر توسط تعدادی از متغیرها تحت تأثیر قرار می‌گیرد و با کمک این طرح تعداد آزمایش‌ها کاهش می‌یابد. مدل رگرسیونی برازش شده در این طرح به نحوی انتخاب شد که بتوان اثرات خطی، درجه دو و نیز اثرات متقابل بین فاکتورها را مورد ارزیابی قرار دهد (درجه دو کامل^۲). تیمارهای آزمایش با توجه به سطوح بالا و پایین حجم آبیاری (۶۰۰ و ۱۴۰۰ مترمکعب در هکتار) و تراکم کاشت (پنج و نه بوته در مترمربع) طراحی شدند و نقطه مرکزی به منظور برازش بهتر مدل و تخمین خطای آزمایش پنج مرتبه تکرار شد (جدول ۲). لازم به ذکر است که طرح مرکب مرکزی به صورت صاف^۳ اجرا شد.

عملیات خاک‌ورزی اولیه شامل؛ شخم و لولر برای تسطیح زمین

1- Response- surface methodology
2- Full quadratic regression
3- Face centered

4- Lack of fit

جدول ۲- ضرایب و تیمارهای طراحی شده برای یک تکرار جهت اجرای طرح مرکب مرکزی

Table 2- Coefficients and treatments designed for one replicate in order to perform a central composite design

تکرار Replication	ترکیب‌های تیماری Treatment combinations	ضرایب Coefficients		مقادیر Values	
		آبیاری	تراکم کاشت	آبیاری	تراکم کاشت
		Irrigation (x_2)	Plant density (x_1)	Irrigation ($m^3.ha^{-1}$)	Plant density (plants. m^{-2})
1	1	-1	-1	6000	5
1	2	0	-1	10000	5
1	3	+1	-1	14000	5
1	4	-1	0	6000	7
1	5	0	0	10000	7
1	6	0	0	10000	7
1	7	0	0	10000	7
1	8	0	0	10000	7
1	9	0	0	10000	7
1	10	+1	0	14000	7
1	11	-1	+1	6000	9
1	12	0	+1	10000	9
1	13	+1	+1	14000	9

*+۱، -۱ و ۰: به ترتیب سطوح بالا، پایین و میانگین را برای هر فاکتور نشان می‌دهد.
+1, -1, and 0: indicates up, down and mean level of each factor.

به همراه ضرایب رگرسیونی و ضریب تبیین (R^2) برای هر یک از متغیرهای وابسته شامل عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، کارایی مصرف آب (WUE) نشان داده شده است (جدول‌های ۳ و ۴).

عملکرد دانه

واکنش عملکرد دانه به تراکم کشت و آبیاری از یک تابع درجه دو پیروی کرد و این تابع ۹۵/۸ درصد تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمود (جدول ۴). با توجه به نتایج جدول ۳ اثرات خطی، درجه دو و اثر متقابل فاکتورهای مورد بررسی معنی‌دار بودند ($p \leq 0.01$) و از طرفی، آزمون عدم برازش مدل غیرمعنی‌دار بود ($p \geq 0.05$) که نشان می‌دهد مدل رگرسیونی درجه دو به دست آمده توانایی پیش‌بینی اثرات متغیر مستقل بر متغیر وابسته و قابلیت برازش مدل را دارد (جدول ۳). در سطح پایین آبیاری (۶۰۰۰ مترمکعب در هکتار) تراکم کشت با عملکرد دانه به صورت درجه دو با یکدیگر رابطه داشتند (رأس سهمی به سمت بالا و منفی)، به گونه‌ای که با افزایش تراکم کشت از پنج به هفت بوته در مترمربع، عملکرد دانه ابتدا افزایش (۵۳ درصد) و سپس با افزایش تراکم به نه بوته کاهش (۱۲ درصد) یافت.

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_1^2 + a_4X_2^2 + a_5X_1X_2 \quad \text{معادله (۲)}$$

در این معادله، Y: متغیر وابسته است که در این مطالعه عملکرد دانه ذرت، عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب می‌باشند، X_1 : متغیر مستقل تراکم کشت و X_2 : متغیر مستقل آبیاری بود و a_1 تا a_5 : ضرایب معادله می‌باشند.

به منظور تعیین سطوح بهینه فاکتورها از روش سطح- پاسخ استفاده شد. به طوری که مقدار بهینه مصرف آب و تراکم ذرت بر اساس سه سناریوی اقتصادی، زیست‌محیطی و اقتصادی- زیست‌محیطی محاسبه شد. بدین منظور، در سناریوی اقتصادی عملکرد دانه ذرت، در سناریوی زیست‌محیطی بالا بردن کارایی مصرف آب و مصرف کمتر منابع و در سناریوی اقتصادی- زیست‌محیطی حد متوسطی از عملکرد و مصرف آب مبنای برنامه‌ریزی قرار گرفت (Koocheki et al., 2014). جهت آنالیز آماری داده‌ها و ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Minitab ver. 17 استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس مدل رگرسیونی درجه دو کامل

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (مدل رگرسیونی درجه دو کامل) عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت تحت سطوح مختلف آبیاری و تراکم کاشت
Table 3- Analysis of variance (full quadratic regression model) for yield and WUE of maize under different treatments of irrigation and plant density

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	عملکرد دانه Grain yield		عملکرد بیولوژیک Biological yield		کارایی مصرف آب WUE	
		P-Value	میانگین مربعات Mean squares	P-Value	میانگین مربعات Mean squares	P-Value	میانگین مربعات Mean squares
مدل رگرسیون Regression	6	0.0001	232305	0.0001	1781782	0.0001	0.069
بلوک Blocks	1	0.337	3128	0.72	6327	0.371	0.003
خطی Linear	2	0.0001	522069	0.0001	4772844	0.0001	0.079
درجه دو Square	2	0.0001	158515	0.001	523295	0.0001	0.117
اثر متقابل Interaction	1	0.007	29537	0.182	92085	0.031	0.019
خطا Error	19		3228		47933		0.0034
عدم برازش Lack of fit	11	0.784	2529	0.33	25608	0.69	0.0029
خطای خالص Pure error	8		4189		78629		0.0041

جدول ۴- ضرایب رگرسیون و ضریب تبیین برای معادله رگرسیونی درجه دو کامل در متغیرهای وابسته
Table 4- Regression coefficients and R² of the full quadratic regression equation in dependent variables

ضرایب Coefficients	متغیرهای پاسخ					
	عملکرد دانه Grain yield		عملکرد بیولوژیک Biological yield		کارایی مصرف آب WUE	
	P-Value	Coef. (SE)	P-Value	Coef. (SE)	P-Value	Coef. (SE*)
a ₀	0.0001	1176.9(±16.7)	0.0001	3887.4(±64.3)	0.0001	1.18(±0.017)
a ₁	0.005	52.4(±16.4)	0.0001	348.8(±63.2)	0.031	0.04(±0.017)
a ₂	0.0001	290.3(±16.4)	0.0001	820.9(±63.2)	0.0001	-0.11(±0.017)
a ₃	0.0001	-116.9(±24.2)	0.549	-56.9(±93.2)	0.0001	-0.13(±0.025)
a ₄	0.0001	-148.8(±24.2)	0.001	-3773(±93.2)	0.001	-0.10(±0.025)
a ₅	0.007	60.8(±20.1)	0.182	10.3(±77.4)	0.031	0.05(±0.021)
R ²		95.79		92.15		86.26

SE: خطای معیار ضرایب رگرسیونی

SE: standard error of regression coefficient

مشاهده شده با ۱۳۲۴/۹ گرم در مترمربع از تیمار ۱۴۰۰۰ مترمکعب آب در هکتار و تراکم نه بوته در مترمربع به دست آمد (جدول ۵). با این حال با برازش مدل بیشترین میزان عملکرد دانه با ۱۳۱۸/۴ گرم در مترمربع از تراکم هفت بوته در مترمربع و ۱۴۰۰۰ مترمکعب آب در هکتار به دست آمد (جدول ۵). از این رو چنین به نظر می‌رسد که با افزایش هم‌زمان تراکم کشت و آبیاری به دلیل کمبود نور، تنها رشد رویشی افزایش یافته، در نتیجه عملکرد دانه نسبت به تراکم‌های

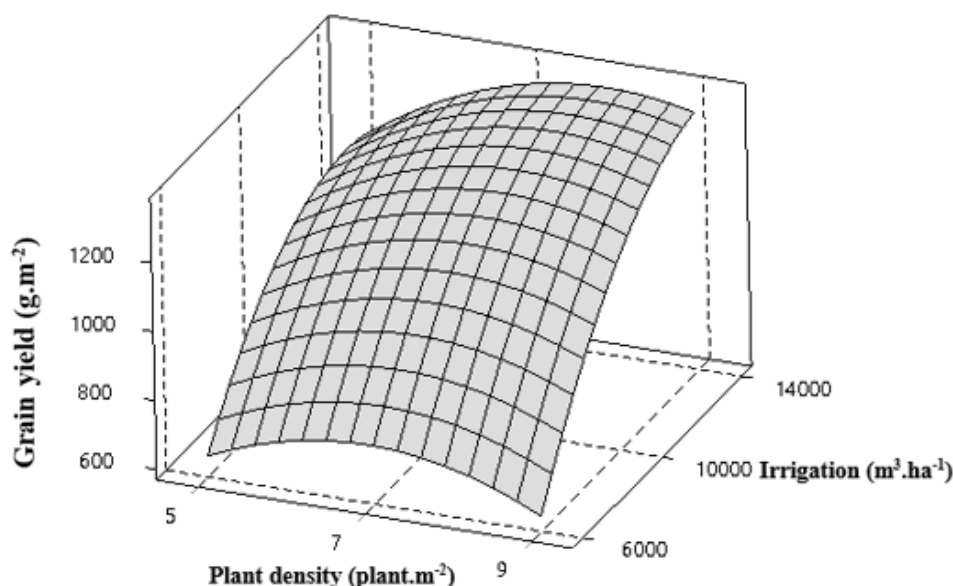
از طرف دیگر، با افزایش آبیاری از ۶۰۰۰ به ۱۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار رابطه تراکم کشت و عملکرد دانه روندی تقریباً خطی داشت (شکل ۱). به نظر می‌رسد در سطوح پایین آبیاری، کاهش و افزایش تراکم کشت به ترتیب در نتیجه افزایش تبخیر از سطح خاک و افزایش رقابت در جذب منابع (نور و آب) باعث کاهش عملکرد دانه شده است. درحالی‌که در سطوح بالای آبیاری، با افزایش تراکم کشت عملکرد دانه به صورت خطی افزایش یافت و بیشترین میزان عملکرد دانه

(Earley et al., 2001). پینتر و همکاران (Pinter et al., 1994) در آزمایشی هیبریدهای ذرت حساس و متحمل به تراکم‌های مختلف بوته (۴۰ تا ۱۶۰ هزار بوته در هکتار) را بر عملکرد ذرت بررسی نمودند. در این بررسی کمترین و بیشترین میزان عملکرد دانه به ترتیب از ۴۲ و ۱۱۸ هزار بوته در هکتار به دست آمد. درینی و مظاهری (Darini & Mazaheri, 2003) نیز در بررسی اثر پنج سطح تراکم بوته در منطقه جیرفت بر عملکرد ذرت دانه‌ای، دریافتند که با افزایش تراکم از ۷۰ به ۱۱۰ هزار بوته در هکتار عملکرد دانه افزایش می‌یابد، اما تعداد دانه در بلال را کاهش می‌دهد که در این بررسی تراکم ۱۱۰ هزار بوته در هکتار بهترین تراکم کاشت ذرت برای منطقه جیرفت گزارش شد.

عملکرد بیولوژیک

بر اساس جدول ۳، مدل رگرسیونی درجه دو توانست به‌طور معنی‌داری ($p \leq 0.01$) تأثیر متغیرهای مستقل بر عملکرد بیولوژیک را نشان دهد به گونه‌ای که با توجه به ضریب تبیین ۹۲/۱۵ درصد تغییرات عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر متغیرهای مستقل قابل توجیه است (جدول ۴).

مطلوب (هفت بوته در مترمربع) کاهش نشان داده است. آل ناگار و همکاران (Al-Naggar et al., 2015) نیز گزارش کردند که تراکم بالای کشت در نتیجه کاهش در دسترس بودن نور و سایر منابع، عملکرد دانه ذرت در هر بوته را کاهش می‌دهد که کاهش عملکرد عموماً در نتیجه کاهش تعداد بلال، کاهش دانه در بلال، پایین بودن وزن دانه و یا ترکیبی از این اجزای عملکرد باشد، اما در شرایط بهینه آب و منابع تغذیه‌ای تراکم بالای کشت می‌تواند باعث افزایش عملکرد شود. بنابراین، با توجه به نتایج بهینه‌سازی، جهت دستیابی به بیشترین عملکرد اقتصادی (۱۳۴۵ / ۷۶ گرم در مترمربع) انتخاب تراکم ۷/۹۵ بوته در مترمربع و آبیاری ۱۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار به منظور حداکثر نمودن عملکرد دانه ضروری به نظر می‌رسد (جدول ۶). همچنین با توجه به شیب افزایش عملکرد در نتیجه افزایش آبیاری و تراکم (تا حد بهینه) (شکل ۱)، می‌توان بیان نمود که عملکرد دانه ذرت با افزایش آبیاری با شیب تندتری در مقایسه با افزایش تراکم افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده واکنش بیشتر عملکرد دانه ذرت به میزان آب در مقایسه با تراکم کشت است. با این حال، افزایش تراکم کشت بیش از حد بهینه نیز به علت کاهش جذب تشعشع خورشیدی در قسمت‌های پایین پوشش گیاهی باعث کاهش عملکرد می‌شود



شکل ۱- نمودار سطح- پاسخ عملکرد دانه ذرت تحت تأثیر تراکم کشت و آبیاری

Fig. 1- Response- surface for grain yield of maize with different plant density and irrigation levels

جدول ۵- میانگین مقادیر عملکرد و کارایی مصرف آب مشاهده شده و برازش شده ذرت تحت تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری و تراکم کاشت

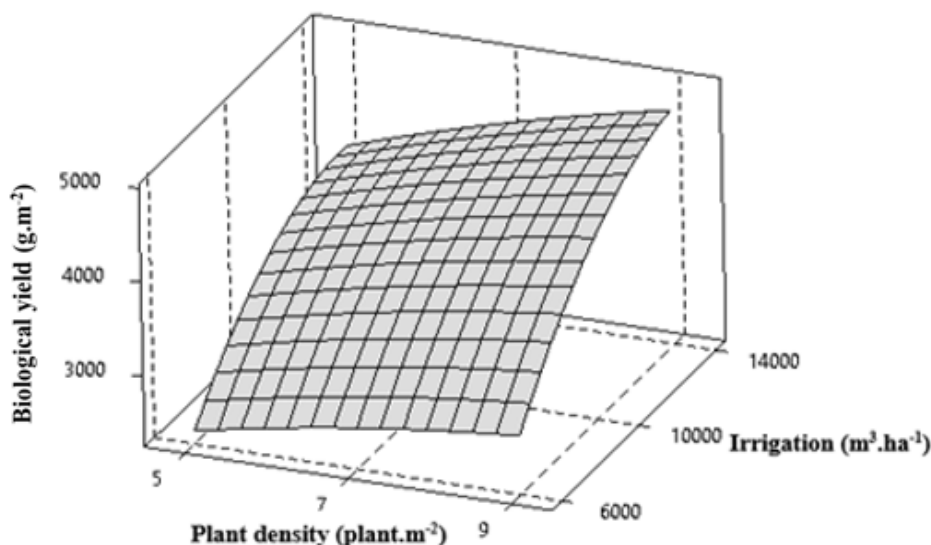
تیمار Treatment		عملکرد دانه Grain yield (g.m ⁻²)		عملکرد بیولوژیک Biological yield (g.m ⁻²)		کارایی مصرف آب WUE (kg.m ⁻³)	
تراکم کاشت Plant density (plants.m ⁻²) (x ₁)	آبیاری Irrigation (m ³ .ha ⁻¹) (x ₂)	برازش شده Fitted	مشاهده شده Observed	برازش شده Fitted	مشاهده شده Observed	برازش شده Fitted	مشاهده شده Observed
5	6000	629.3	640.2	2390.8	2425.5	1.07	1.07
5	10000	107.6	983.0	3481.8	3454.2	1.01	0.99
5	14000	1083.3	1102.0	3818.0	3811.0	0.76	0.79
7	6000	737.8	719.5	2689.2	2663.4	1.18	1.2
7	10000	1176.9	1160.4	3887.4	3986.0	1.18	1.17
7	10000	1176.9	1197.1	3887.4	3546.3	1.18	1.20
7	10000	1176.9	1143.5	3887.4	3935.4	1.18	1.14
7	10000	1176.9	1208.4	3887.4	3780.2	1.18	1.21
7	10000	1176.9	1217.5	3887.4	4157.5	1.18	1.22
7	14000	1318.4	1294.5	4330.9	4388.4	0.97	0.93
9	6000	612.5	620.0	2873.8	2865.0	1.05	1.03
9	10000	1112.3	1094.5	4179.3	4238.5	1.09	1.10
9	14000	1314.6	1324.9	4730.1	4679.7	0.93	0.95

مختلف تراکم کاشت به علت تفاوت در پتانسیل ژنتیکی تفاوت قابل توجهی نشان می‌دهد. کوکس (Cox, 1996) طی آزمایشی واکنش عملکرد ذرت در سطوح مختلف تراکم بوته را مورد مطالعه قرار داد و گزارش کرد که برای تولید حداکثر ماده خشک نیاز به تراکم نه بوته در مترمربع می‌باشد.

با توجه به قدر مطلق ضرایب خطی ($a_2=820/9$) و درجه دو ($a_4=377/3$)، مشخص می‌شود که رابطه عملکرد بیولوژیک و آبیاری روندی تقریباً خطی داشت که به نظر می‌رسد با افزایش فراهمی آب در تراکم‌های مختلف، رشد رویشی افزایش یافته و افزایش عملکرد بیولوژیک را به دنبال داشته است (شکل ۲). نتایج مطالعه‌ای نشان داد که با افزایش سطح آبیاری عملکرد بیولوژیک ذرت افزایش یافت و بیشترین میزان آن با $23/54$ تن در هکتار از تیمار ۱۰۰ درصد نیاز گیاه به دست آمد (Di Paolo & Rinaldi, 2008).

همچنین آزمون عدم برازش مدل غیرمعنی‌دار بود ($p \geq 0.05$) که به طور کلی، نشان‌دهنده قابلیت بالای برازش مدل است (جدول ۳). بر اساس جدول ۳ اثرات خطی، درجه دو متغیرهای مستقل بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود ($p \leq 0.01$)، درحالی که اثر متقابل تراکم کاشت و آبیاری معنی‌دار ($p \geq 0.05$) نبود.

علامت ضرایب موجود در جدول ۴ نشان‌دهنده نوع رابطه بین فاکتورها (مستقیم یا معکوس) است. از این رو اثر تراکم کشت بر عملکرد بیولوژیک به صورت مستقیم و خطی بود ($a_1=348/8$). به طوری که، با افزایش تراکم کشت عملکرد بیولوژیک افزایش یافت. با افزایش تراکم کشت در نتیجه افزایش تعداد گیاه در واحد سطح عملکرد بیولوژیک افزایش یافت. به طوری که، بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک مشاهده شده و برازش داده شده به ترتیب با $4679/7$ و $4730/1$ گرم در مترمربع از تیمار نه بوته در مترمربع و 14000 مترمکعب آب در هکتار مشاهده شد (جدول ۵). لیو و همکاران (Liu et al., 2004) نیز گزارش کردند که عملکرد ذرت در پاسخ به سطوح



شکل ۲- نمودار سطح- پاسخ عملکرد بیولوژیک ذرت تحت تأثیر تراکم کشت و آبیاری
Fig. 2- Response- surface for biological yield of maize with different plant density and irrigation levels

مصرف آب کارایی مصرف آب کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد که بیشترین کارایی مصرف آب مشاهده شده و برآزش یافته با ۱/۲۲ و ۱/۱۸ کیلوگرم به‌ازای هر مترمکعب از تیمار هفت بوته در مترمربع و ۱۰۰۰۰ مترمکعب آب در هکتار به‌دست آمد (جدول ۵).

با توجه به نتایج جدول ۵ مشخص می‌شود که در سطوح پایین (۶۰۰۰ مترمکعب در هکتار) و متوسط آبیاری (۱۰۰۰۰ هزار مترمکعب در هکتار)، بیشترین میزان کارایی مصرف آب مشاهده شده از تراکم هفت بوته در مترمربع به‌دست آمد، درحالی که در سطح بالای آبیاری (۱۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار) بیشترین میزان کارایی مصرف آب از تراکم نه بوته در مترمربع به‌دست آمد. با این وجود، نتایج کارایی مصرف آب برآزش شده نشان داد که بیشترین میزان این کارایی در همه سطوح آبیاری از تراکم هفت بوته در مترمربع به‌دست آمد، در نتیجه بدون مدنظر قرار دادن عملکرد اقتصادی (دانه) با در نظر گرفتن تراکم ۷/۱ بوته در مترمربع و ۷۹۳۹/۴ مترمکعب آب در هکتار بیشترین میزان کارایی مصرف آب ($1/21 \text{ kg.m}^{-3}$) حاصل شد (جدول ۶). نتایج مطالعه‌ای که به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف تراکم و نیاز آبی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت هیبرید سینگل کراس ۵۰۰ انجام شد، نشان داد که آبیاری به‌میزان ۱۲۵ درصد نیاز آبی با تراکم ۸۵ هزار بوته در هکتار بیشترین عملکرد را به‌میزان ۱۲ تن در هکتار تولید

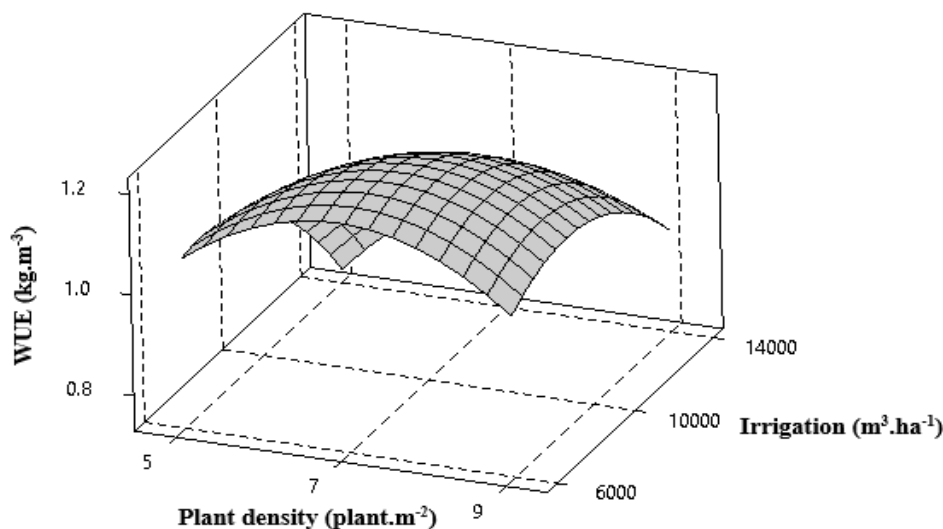
کارایی مصرف آب

نتایج جدول تجزیه واریانس مدل رگرسیونی نشان داد که اثرات خطی و درجه دو متغیرهای مستقل مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل تراکم کشت و آبیاری در سطح احتمال پنج درصد بر کارایی مصرف آب معنی‌دار بود (جدول ۳). مقدار عددی ضریب تبیین ($R^2 = ۸۶/۲۶$) و غیرمعنی‌دار بودن آزمون عدم برآزش مدل ($p \geq ۰/۰۵$) نشان‌دهنده برآزش نسبتاً خوب مدل رگرسیونی در برآزش داده‌ها و قدرت پیش‌بینی مدل است (جدول ۳ و ۴). با توجه به ضرایب رگرسیونی مشخص می‌شود که رابطه بین تراکم کشت و کارایی مصرف آب هم به‌صورت مستقیم و خطی ($a_1 = ۰/۰۴$) و هم به‌صورت درجه دو ($a_3 = -۰/۱۳$) و معکوس است (جدول ۴)، که با توجه به بیشتر بودن قدر مطلق ضریب درجه دوم، واکنش کارایی مصرف آب به تراکم کشت روندی تقریباً به‌صورت درجه دو دارد، به این معنی که با افزایش تراکم از پنج به هفت بوته در مترمربع ابتدا کارایی مصرف آب افزایش و سپس با افزایش تراکم به نه بوته در مترمربع کاهش می‌یابد (شکل ۳).

اثر آبیاری نیز بر کارایی مصرف آب نیز به‌صورت خطی و هم به‌صورت درجه دو است که با توجه به ضرایب رگرسیونی (جدول ۴) این رابطه به‌صورت منفی و معکوس است. بدین ترتیب که با افزایش

مشاهده شد که سطوح بالای آبیاری به همراه تراکم کم و یا متوسط و یا سطوح پایین آبیاری به همراه تراکم پایین کشت به عنوان بهترین ترکیب تیماری جهت آبیاری معرفی شدند (El-Hendawy et al., 2008).

کرد. همچنین تیمار مذکور پس از تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی با تراکم ۷۵ هزار بوته در هکتار از بیشترین میزان کارایی مصرف آب ($1/22$ کیلوگرم بر متر مکعب) برخوردار بود (Nakhjavani Moghadam et al., 2013). در آزمایشی به منظور مطالعه اثر سطوح مختلف آبیاری و تراکم کشت بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت



شکل ۳- نمودار سطح- پاسخ کارایی مصرف آب ذرت تحت تأثیر تراکم کشت و آبیاری

Fig. 3- Response- surface for water use efficiency of maize with different plant density and irrigation levels.

مستقل می‌باشد (Mansouri et al., 2014). مقدار این شاخص بر اساس سناریوی اقتصادی، زیست‌محیطی و اقتصادی-زیست‌محیطی به ترتیب ۰/۹۸، ۰/۸۴ و ۰/۷۹ به دست آمد که بر این اساس در سناریوی اقتصادی ($DI=0/98$) بیشترین میزان دقت مدل در شبیه‌سازی مقدار متغیرهای وابسته مشاهده شد. بدین ترتیب، در سناریوی اقتصادی با در نظر گرفتن ۷/۹۵ بوته در مترمربع و آبیاری ۱۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار بیشترین میزان عملکرد اقتصادی ($1345/8$ گرم در مترمربع) به دست آمد که در چنین شرایط عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب به ترتیب ۴۵۳۴/۷ گرم در مترمربع و ۰/۹۸ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب بود (جدول ۶). در سناریوی زیست‌محیطی انتخاب تراکم ۷/۱ بوته در مترمربع و آبیاری ۷۹۳۹/۴ مترمکعب در هکتار بیشترین میزان کارایی مصرف آب ($1/21 \text{ kg.m}^{-3}$) حاصل شد که تحت این شرایط عملکرد دانه ۹۸۸/۶ گرم در مترمربع بود. در سناریوی اقتصادی-زیست‌محیطی نیز با انتخاب تراکم ۷/۵ بوته در

بهینه‌سازی

جدول ۶ مقادیر بهینه متغیرهای مستقل تراکم کاشت و آبیاری تحت سه سناریوی اقتصادی، زیست‌محیطی و اقتصادی-زیست‌محیطی را بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و کارایی مصرف آب را نشان می‌دهد. در سناریوی اقتصادی عملکرد دانه ذرت، در سناریوی زیست‌محیطی بالا بردن کارایی مصرف آب و مصرف کمتر منابع و در سناریوی اقتصادی-زیست‌محیطی حد متوسطی از عملکرد و مصرف آب مبنای برنامه‌ریزی و به عنوان فاکتور اصلی تعیین‌کننده مقادیر بهینه منابع در نظر گرفته شد (Koocheki et al., 2014). شاخص مطلوبیت (DI^1) بیانگر میزان دقت مدل در تعیین ترکیب تیمارهای مورد بررسی برای به دست آوردن متغیرهای وابسته می‌باشد که مقدار این شاخص هر چقدر به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده دقت بالای مدل در شبیه‌سازی مقدار متغیرهای وابسته تحت تأثیر متغیرهای

1- Desirability index

مترمربع و آبیاری ۱۰۸۴۸/۵ مترمکعب در هکتار بیشترین میزان عملکرد دانه و کارایی مصرف آب به ترتیب با ۱۲۴۰/۷ گرم در مترمربع و ۱/۱۶ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب به دست آمد که در این شرایط عملکرد بیولوژیک معادل ۴۱۲۸/۷ کیلوگرم در هکتار بود.

جدول ۶- مقادیر بهینه سازی شده تراکم بوته و آبیاری جهت دستیابی به متغیرهای وابسته مورد انتظار در سناریوهای مورد بررسی
Table 6- Optimized values of plant density and irrigation for achieving to the expected dependent variables based on evaluated scenarios

سناریوها Scenarios	متغیرهای مستقل Independent variables (X)		متغیرهای وابسته Dependent variables (Y)			شاخص مطلوبیت DI
	تراکم بوته plant density (plants.m ⁻²)	آبیاری Irrigation (m ³ .ha ⁻¹)	عملکرد دانه Grain yield (g.m ⁻²)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (g.m ⁻²)	WUE (kg.m ⁻³)	
اقتصادی Economic	7.95	14000	1345.8	4534.7	0.98	0.98
زیست محیطی Ecological	7.1	7939.4	988.6	3378.9	1.21	0.84
اقتصادی-زیست محیطی Economic-Ecological	7.47	10848.5	1240.7	4128.7	1.16	0.79

نتیجه گیری

کمترین میزان کارایی مصرف آب (۰/۹۸ kg.m⁻³) حاصل شد. بنابراین، بهترین راهکار جهت دستیابی به حداکثر عملکرد اقتصادی و کارایی مصرف آب در راستای کشاورزی پایدار انتخاب سناریوی اقتصادی-زیست محیطی است که در این شرایط با اعمال تراکم ۷/۵ بوته در مترمربع و آبیاری ۱۰۸۴۸/۵ مترمکعب در هکتار بیشترین میزان عملکرد دانه و کارایی مصرف آب به ترتیب با ۱۲۴۰/۷ گرم در مترمربع و ۱/۱۶ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب به دست آمد. بنابراین، به طور کلی مصرف آب و انتخاب تراکم بر اساس سناریوی تلفیقی به دلیل در نظر گرفتن توأم به مسائل اقتصادی و زیست محیطی نسبت به سناریوهای دیگر برتری دارد.

سپاسگزاری

بودجه این طرح از محل پژوهش شماره ۳۳۰۴۸/۲ مورخ ۱۳۹۴/۳/۱۵ معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدینوسیله سپاسگزاری می شود.

ایران جزء مناطق خشک و نیمه خشک جهان محسوب می شود که با بحران جدی آب مواجه است. از این رو، با توجه به کمبود منابع آب و مشکلات زیست محیطی ناشی از استفاده بیش از حد آن، استفاده از راهکارهای مدیریتی نظیر تعیین تراکم مناسب کشت جهت بهینه سازی این منابع به منظور افزایش عملکرد در واحد سطح و کارایی مصرف آب ضروری است. نتایج این مطالعه نیز نشان داد که اثر متقابل تراکم کشت و آبیاری در تعیین عملکرد اقتصادی و کارایی مصرف آب ذرت معنی دار بود و بیشترین کارایی مصرف آب برآزش شده در همه سطوح آبیاری از تراکم هفت بوته در مترمربع به دست آمد. در نتیجه، با انتخاب سناریوی زیست محیطی و با در نظر گرفتن تراکم ۷/۵ بوته در مترمربع و ۷۹۳۹/۴ مترمکعب آب در هکتار بیشترین میزان کارایی مصرف آب (۱/۲۱ kg.m⁻³) به دست آمد. بیشترین میزان عملکرد دانه با توجه به سناریوی اقتصادی نیز با ۱۳۴۵/۸ گرم در مترمربع با اعمال تراکم هشت بوته در مترمربع و آبیاری ۱۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار به دست آمد که در این شرایط

References

- Al-Naggar, A.M.M., Shabana, R.A., Atta, M.M.M., and Al-khalil, T.H., 2015. Maize response to elevated plant density combined with lowered N-fertilizer rate is genotype-dependent. *The Crop Journal* 3: 96-109.
- Aslan, N., 2007. Application of response surface methodology and central composite rotatable design for modeling the influence of some operating variables of a multi-gravity separator for chromite concentration. *Powder Technology*

- 86: 769–776.
- Box, G.E.P., and Wilson, K.B., 1951. On the experimental attainment of optimum conditions. Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology) 13: 1–45.
- Box, G.E.P., and Hunter, J.S., 1957. Multi-factor experimental designs for exploring response surfaces. The Institute of Mathematical Statistics p. 195-241.
- Cox, W.J., 1996. Whole plant physiological and yield responses of maize to plant density. Agronomy Journal 88: 489-496.
- Cox, W.J., and Cherney, J.R., 2001. Row spacing, plant density, and nitrogen effects on corn silage. Agronomy Journal 93: 597–602.
- Darini, A., and Mazaheri, D., 2003. The effect of planting date and plant density on yield of corn (spring planting) in Jiroft. The Seventh Iranian Congress of Crop Science, Karaj, Irab. (In Persian)
- Di Paolo, E., and Rinaldi, M., 2008. Yield response of corn to irrigation and nitrogen fertilization in a Mediterranean environment. Field Crops Research 105: 202-210.
- Domínguez, A., de Juan, J.A., Tarjuelo, J.M., Martínez, R.S., and Martínez-Romero, A., 2012. Determination of optimal regulated deficit irrigation strategies for maize in a semi-arid environment. Agricultural Water Management 110: 67-77.
- Earley, E., Rath, B., Sief, R.D., and Hageman, R.H., 2001. Effects of shade applied at different of plant development on corn production. Crop Science 7: 151-159.
- El-Hendawy, S.E., El-Lattief, E.A.A., Ahmed, M.S., and Schmidhalter, U., 2008. Irrigation rate and plant density effects on yield and water use efficiency of drip-irrigated corn. Agricultural Water Management 95: 836-844.
- Gheysari, M., Mirlatif, S.M., Bannayan, M., Homae, M., and Hoogenboom, G., 2009. Interaction of water and nitrogen on maize grown for silage. Agriculture and Water Management 96: 809-821.
- González, H., 2010. Debates on food security and agrofood world governance. International Journal of Food Science and Technology 45(7): 1345–1352.
- Heng, L.K., Hsiao, T., Evett, S., Howell, T., and Steduto, P., 2009. Validating the FAO AquaCrop model for irrigated and water deficient field maize. Agronomy Journal 101: 488–498.
- Heydaripour, R., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Zarea Feyzabadi, A., 2014. The effects of different levels of irrigation and nitrogen fertilizer on productivity and efficiency in corn (*Zea mays* L.), sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.) Journal of Agroecology 6(2): 187-198. (In Persian with English Summary)
- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Fallahpour, F., and Amiri, M.B., 2016. Optimization of nitrogen fertilizer and irrigation in wheat cultivation by central composite design. Journal of Agroecology, In Press. (In Persian with English Summary)
- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Moradi, R., and Mansoori, H., 2014. Optimizing water, nitrogen and crop density in canola cultivation using response surface methodology and central composite design. Soil Science and Plant Nutrition 60: 286-298.
- Li, J., Xie, R.Z., Wang, K.R., Ming, B., Guo, Y.Q., Zhang, G.Q., and Li, S.K., 2015. Variations in maize dry matter, harvest index, and grain yield with plant density. Agronomy Journal 107: 829-834.
- Liu, W., Tollenaar, M., Stewart, G., and Deen, W., 2004. Response of corn grain yield to spatial and temporal variability in emergence. Crop Science 44: 847-854.
- Mansouri, H., Banayan Aval, M., Rezvani Moghaddam, P., and Lakzian, A., 2014. Management of nitrogen, irrigation and planting density in Persian shallot (*Allium hirtifolium*) by using central composite optimizing method. Sustainable Agriculture and Production Science 24 (4.1): 41-60. (In Persian with English Summary)
- Martín de Santa Olalla, F.J., Domínguez, A., Ortega, J.F., Artigao, A., and Fabeiro, C., 2007. Bayesian networks in planning a large aquifer in Eastern Mancha, Spain. Environmental Modelling and Software 22: 1089–1100.
- Martínez-Valderrama, J., Ibáñez, J., Alcalá, F.J., Domínguez, A., Yassin, M., and Puigdefábregas, J., 2011. The use of a hydrological-economic model to assess sustainability in groundwater-dependent agriculture in drylands. Journal of Hydrology 402: 80–91.
- Nakhjavani Moghadam, M.M., Farhadi Oskouei, E., SadreQayan, S.H., and Najafi, E., 2013. The different levels of irrigation and plant density on yield and morphological traits Corn single cross-500 in Karaj. Iranian Journal of Field Crops Research 11(1): 13-22. (In Persian with English Summary)
- Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Amin Ghafouri, A., and Mahluji Rad, M., 2015. Optimizing corm size and density

- in saffron (*Crocus sativus* L.) cultivation by central composite design. *Saffron Agronomy and Technology* 3(3): 167-177.
- Nyakudya, I.W., and Stroosnijder, L., 2014. Effect of rooting depth, plant density and planting date on maize (*Zea mays* L.) yield and water use efficiency in semi-arid Zimbabwe: Modelling with AquaCrop. *Agricultural Water Management* 146: 280-296.
- Pinter, L., Alföldi, Z., and Paldi, E., 1994. Feed value of forage maize hybrids varying in tolerance to plant density. *Agronomy Journal* 86: 799-804.
- Rockström, J., Karlberg, L., Wani, S.P., Barron, J., Hatibu, N., Oweis, T., Bruggeman, A., Farahani, J., and Qiang, Z., 2010. Managing water in rainfed agriculture—the need for a paradigm shift. *Agricultural Water Management* 97: 543–550.
- Rosenzweig, C., and Parry, M., 1994. Potential impact of climate change on world food supply. *Nature* 367: 133–138.
- Sharratt, B.S., and McWilliams, D., 2005. Microclimatic and rooting characteristics of narrow-row versus conventional-row corn. *Agronomy Journal* 97: 1129–1135.
- Testa, G., Reyneri, A., and Blandino, M., 2016. Maize grain yield enhancement through high plant density cultivation with different inter-row and intra-row spacings. *European Journal of Agronomy* 72: 28-37.
- Tittonell, P., and Giller, K.E., 2013. When yield gaps are poverty traps: the paradigm of ecological intensification in African smallholder agriculture. *Field Crops Research* 143: 76–90.
- Widdicombe, W.D., and Thelen, K.D., 2002. Row width and plant density effects on corn grain production in the northern corn belt. *Agronomy Journal* 94: 1020–1023.
- Wu, C.F.J., and Hamada, M., 2000. *Experiments: planning, analysis, and parameter design optimization*. New York.
- Wu, Y., Jia, Z., Ren, X., Zhang, Y., Chen, X., Bing, H., and Zhang, P., 2015. Effects of ridge and furrow rainwater harvesting system combined with irrigation on improving water use efficiency of maize (*Zea mays* L.) in semi-humid area of China. *Agricultural Water Management* 158: 1-9.



Optimization of Irrigation and Plant Density of Corn (*Zea mays* L.) by Using Response-Surface Methodology

A. Koocheki^{1*}, M. Nassiri Mahallati² and A. Momen²

Submitted: 21-04-2016

Accepted: 06-08-2016

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Momen, A., 2021. Optimization of irrigation and plant density of corn (*Zea mays* L.) by using response-surface methodology. Journal of Agroecology 12(4):581-594.

Introduction

Water and plant density have a complex interaction. Determination of optimum density is an effective strategy to improve the efficiency of available resources usage and to increase the yield per unit area. Despite extensive research on the effects of different levels of irrigation and plant density for different crops, including corn, information on the optimization of these resources, using response-surface methodology (RSM) is scarce. Therefore, the objective of this study was to determine the optimal level of irrigation and plant density in corn production based on central composite design (CCD).

Materials and Methods

An experiment was conducted by using response-surface methodology with the central composite design and two replications on corn at the Research Farm of Ferdowsi University of Mashhad, during the 2015 growing season. The experimental treatments were the highest and lowest levels of irrigation volume (6000 and 14000 m³.ha⁻¹) and plant density (5 and 9 plants.m⁻²). Grain yield (G_y), biological yield (B_y) and water use efficiency (WUE) were measured as response variables in a full quadratic polynomial model. Consumption rate of irrigation and density were optimized based on three scenarios: economic, environmental and eco-environmental. Grain yield of corn and WUE were considered as the main factors to determine the optimum level of treatments under the economical and environmental scenarios, respectively. In the eco-environmental scenario, the main factor was WUE and grain yield.

Results and Discussion

The results indicated that at low level of irrigation (6000 m³.ha⁻¹) plant density and grain yield correlated with others as quadratic so that by increasing the density from 5 to 7 plants.m⁻², grain yield first increased and then decreased with enhancing density to 9 plants.m⁻². It seems that at low levels of irrigation, reduction and enhancement of plant density, respectively, as a result of increasing evaporation from soil surface and increasing competition in resource uptake (light and water) has reduced grain yield. Grain yield at high levels of irrigation showed a relatively linear relationship with incrementing plant density, and the highest grain yield with 1324.9 g.m⁻² was obtained from treatment of 14000 m³.ha⁻¹ of water and density of 9 plants.m⁻². Nevertheless, the results of model fitting showed that the highest grain yield with 1318.4 g.m⁻² was attained from the density of 7 plants.m⁻² and 14000 m³.ha⁻¹ of water. Therefore, it seems that with the simultaneous enhancement in plant density and irrigation, vegetative growth due to lack of light has increased, as a result of grain yield than optimum densities (7 plants.m⁻²) has shown a decrease.

The regression model could significantly indicate that impact of independent variables on the grain yield, biological yield and water use efficiency (dependent variable). In economic scenario with considering 8 plants.m⁻² and irrigation of 14000 m³.ha⁻¹ the maximum of economical yield with 1345.8 g.m⁻² was achieved in which biological yield and water use efficiency were 4534.7 gr.m⁻² and 0.98 kg.m⁻³ of water, respectively. In

1- Professor, Agrotechnology Department, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

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

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

Doi:10.22067/jag.v12i4.55311

environmental scenario also the choice of the density of 7 plants.m⁻² and irrigation of 7939 m³.ha⁻¹ the highest water use efficiency (1.21 kg.m⁻³) was attained in which grain yield that was 988.6 g.m⁻². Based on eco-environmental scenario with choice of the density of 7.5 plants.m⁻² and irrigation of 10848.5 m³.ha⁻¹ the maximum grain yield and water use efficiency was obtained in 1240.7 g.m⁻² and 1.16 kg.m⁻³ of water, respectively.

Conclusion

Due to lack of water resources and environmental problems caused by the excessive use of water, applying appropriate management practices such as proper planting density to optimize these resources is essential. The best way to achieve the highest economic yield and water use efficiency and, to reach sustainable agriculture is the choice of eco-environmental scenario in which by application of the density of 7.5 plants.m⁻² and irrigation level of 10848.5 m³.ha⁻¹ the maximum grain yield and water use efficiency with 1240.7 g.m⁻² and 1.16 kg.m⁻³ of water was obtained, respectively.

Keywords: Central composite design, Eco-environmental scenario, Economic yield, Water use efficiency



مقاله علمی - پژوهشی

ارزیابی تأثیر مدیریت آبیاری تناوبی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد و میزان آب مصرفی چهار رقم برنج (*Oryza sativa* L.) در استان گیلان

هورام اصغری لالمی^۱، سید علیرضا ولدآبادی^{۲*}، محمدرضا یزدانی^۳، حمیدرضا ذاکرین^۴ و مهرزاد الله قلی‌پور^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۰۵

اصغری لالمی، ه.، ولدآبادی، س.ع.، یزدانی، م.، ذاکرین، ح.، و قلی‌پور، م.، ۱۳۹۹. ارزیابی تأثیر مدیریت آبیاری تناوبی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد و میزان آب مصرفی چهار رقم برنج (*Oryza sativa* L.) در استان گیلان. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۴): ۵۹۵-۶۱۲.

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر آبیاری تناوبی بر سرعت رشد و خصوصیات گیاهی چهار رقم برنج (*Oryza sativa* L.)، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات برنج استان گیلان در دو سال زراعی ۱۳۹۳-۹۴ و ۹۵-۱۳۹۴ به‌صورت آزمایش اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۲۰ تیمار به اجرا در آمد. عامل اصلی پنج سطح آبیاری تناوبی (آبیاری روزانه به‌صورت غرقاب (شاهد)، ۸، ۱۰ و ۱۵ روز یک بار) و چهار رقم برنج هاشمی، خزر، گیلانه و ۸۴۳۱ به‌عنوان عامل فرعی مد نظر قرار گرفتند. نتایج نشان داد که اثر متقابل آبیاری و رقم بر صفات وزن خشک برگ و ساقه، LDW، TDW و NAR در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. همچنین شاخص سطح برگ و LWR در فاکتور آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. در مقایسه سطوح مختلف آبیاری، آبیاری روزانه رشد بهتری نسبت به سایر روش‌های آبیاری داشت. در شرایط بدون تنش (آبیاری روزانه) رقم ۸۴۳۱ دارای بیشترین رشد و رقم هاشمی کمترین رشد را دارا بود. در شرایط تنش متوسط (آبیاری ۵ و ۸ روزه) رقم ۸۴۳۱ مقاومت بیشتری به تنش داشت و بهترین شرایط را داشت و رقم هاشمی ضعیف‌ترین بود. در شرایط تنش زیاد (آبیاری ۱۰ و ۱۵ روزه) رقم خزر بیشترین مقاومت را به کمبود آب داشت و رقم گیلانه از این نظر ضعیف‌ترین رقم بود. بدین ترتیب، از آن‌جا که لزوم برنامه‌ریزی دقیق برای استفاده بهینه و پایدار از منابع آبی موجود ضروری است، پیشنهاد می‌شود انتخاب روش‌های مناسب مدیریتی همچون آبیاری و کاشت ارقام با عملکرد بالا را برای دستیابی به عملکرد دانه پایدار و تأمین امنیت غذایی به‌ویژه در شرایط محدودیت آب مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: امنیت غذایی، عملکرد پایدار، محدودیت آب

مقدمه

کالری و ۷۵ درصد پروتئین مصرفی مردم جنوب شرق آسیا است. تولید برنج تا اوایل دهه ۱۳۴۰ می‌توانست نیازهای داخلی کشور را تا حدی تأمین کند، ولی در حال حاضر با توجه به افزایش سریع جمعیت و بهبود وضعیت اقتصادی مردم، تولید داخلی کفاف نیاز مردم را نمی‌دهد و همه ساله مقدار زیادی برنج از خارج وارد کشور می‌شود.

آب مهم‌ترین عامل برای تولید پایدار در مناطق برنج‌خیز است. تقریباً ۷۵ درصد جهان برنج جهان از شالیزارهای فاریاب تولید می‌شود (Carmelita et al., 2011). مصرف آب برنج بیش از چهار برابر بقیه

برنج (*Oryza sativa* L.) بعد از گندم (*Triticum aestivum* L.) مهم‌ترین گیاه زراعی دنیا بوده و تأمین‌کننده بیش از ۸۰ درصد

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: valadabadi97@gmail.com)

Doi: 10.22067/jag.v12i4.75721

غلات و در مجموع، نزدیک به ۵۰ درصد آب آبیاری اختصاص داده شده برای کشاورزی در کل جهان گزارش شده است (Grigg et al., 2000). برنج بیش‌ترین مقدار مصرف آب را در بین محصولات کشاورزی دارا بوده و حدود ۸۰ درصد کل منابع آب شیرین مصرفی آسیا را شامل می‌شود (Sedaghat et al., 2015). از ۲۵ درصد آب-های شیرین موجود در دنیا ۷۰ درصد آن در بخش کشاورزی مصرف شده که ۳۰-۲۵ درصد آن به زراعت برنج اختصاص دارد (Sedaghat et al., 2015). برنج بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در مقایسه محصولات مختلف کشاورزی است (Bouman, 2007; Bouman & Tuong, 2001) و رشد و عملکرد آن به‌طور معنی‌داری وابسته به تغییرات آب‌وهوایی و متعاقب آن کمبود آب قرار دارد (Pan et al., 2017). با توجه به محدودیت دسترسی به منابع آبی کافی، مهم‌ترین چالش تولید برنج، ذخیره آب، افزایش بهره‌وری و کارایی مصرف آب است (Bouman et al., 2001). برای کاهش مصرف آب در برنج، روش‌های مختلفی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به مدیریت‌های آبیاری غیرغرقاب در دوره‌هایی از رشد برنج اشاره نمود (Bouman & Tuong, 2001). بومن و تونگ (Bouman & Tuong, 2001) مقدار آبیاری برنج را $1/1 - 2/0$ کیلوگرم دانه به‌ازای هر مترمکعب آب ورودی (مجموع آبیاری و بارندگی) محاسبه کردند.

یکی از راهکارهای موجود برای کاهش مصرف آب در کشت برنج، تغییر روش مرسوم آبیاری غرقاب دائم به روش آبیاری تناوبی با فاصله مناسب برای هر رقم می‌باشد (Abdi, 2003; Asadi et al., 2003). تحقیقات نشان داده است که با تغییر شیوه آبیاری از غرقابی به آبیاری تناوبی می‌توان بدون کاهش عملکرد و یا با درصد قابل قبولی از آن در مصرف آب صرفه‌جویی نمود و بازده کاربرد آب را به‌مقدار قابل توجهی افزایش داد (Bouman et al., 2005). نتایج آزمایشی در نیجریه نشان داد که بالاترین راندمان مصرف آب مربوط به اشباع کامل خاک در مقایسه با رژیم‌های غرقابی و شرایط ظرفیت مزرعای خاک است (Nwaduwe & Chude, 1998). خشک و مرطوب نمودن متناوب خاک مهم‌ترین عمل حفظ رطوبت در زراعت برنج چین می‌باشد (Mao, 1993). کشت برنج در شرایط خاک کاملاً اشباع در مقایسه با غرقاب سنتی ضمن کاهش درون‌ده‌های آب، باعث افزایش بازدهی آن می‌شود (Tabbal et al., 2002). برنج را می‌توان مانند گیاهان آپلند گندم و ذرت (*Zea mays* L.) به‌عنوان یک گیاه هوازی آبیاری نمود (Bouman, 2001).

دی-داتا (De-Datta, 1980) گزارش نمود که نیاز آبی برنج به رقم، نوع خاک، توپوگرافی و مرحله رشدی محصول بستگی دارد. وی با اعمال دوره‌های آبیاری تناوبی چهار، شش، هشت و ۱۰ روزه روی ارقام IR20 و IR480-5-9 بیان نمود که دوره‌های آبیاری چهار و هشت روزه، عملکرد را به اندازه یک تن نسبت به دور آبیاری ۱۰ روزه افزایش داد. همچنین با افزایش دور آبیاری تناوبی، ارتفاع گیاه، تعداد پنجه، شاخص سطح برگ و تولید ماده خشک برنج کاهش یافت. یامبو و اینگرام (Yambo & Ingram, 1998) نیز گزارش کردند که تیمار تنش در دوره‌های ۵ و ۱۰ روزه در مراحل زایشی سبب کاهش ۴۰-۲۵ درصدی عملکرد شد و اعمال تنش در دوره ۱۵ روزه در مراحل ظهور جوانه اولیه در خوشه، گل‌دهی و پر کردن دانه‌های زودرس به‌ترتیب عملکرد را به‌میزان ۷۰، ۸۸ و ۵۲ درصد کاهش داد. کوباتا و تاکامی (Kobata & Takami, 1989) کاهش عملکرد دانه برنج تحت تأثیر تنش آبی را به افزایش عقیمی، کاهش تعداد دانه و تولید ماده خشک نسبت دادند. سورت و همکاران (Sorte et al., 1992) مشاهده نمودند که تنش آبی پنج روزه در ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ روز بعد از کاشت روی ارقام مختلف برنج، موجب کاهش عملکرد دانه به‌ترتیب برابر با ۷، ۲۳، ۵۵ و ۴۸ درصد گردید.

فوکایی (Fukai, 1999) دریافت که مناسب‌ترین زمان برای دسترسی به آب جهت دستیابی به عملکرد بالا، زمان گل‌دهی است و ارقامی که زود گل می‌دهند، برای مناطقی که احتمال بروز خشکی آخر فصل بالا است، مناسب‌تر هستند؛ در حالی که در مناطقی که تنش خشکی در ابتدای فصل وجود دارد و تنش در خلال مرحله رویشی رخ می‌دهد، ارقام زودرس حساس‌تر به تنش خشکی هستند. به‌علاوه، تنوع برای تحمل به تنش خشکی به اثر متقابل فنولوژی، ژنوتیپ و محیط بستگی دارد. کومار و کومار (Kumar & Kumar, 2000) اظهار داشتند که اعمال تنش خشکی به‌طور معنی‌داری ارتفاع و سطح برگ را کاهش داد. همچنین ارقام با زیست‌توده بیشتر در مقایسه با ارقام با زیست‌توده کمتر به خشکی متحمل‌تر بودند. تنوع ارقام جهت حفظ پتانسیل آب برگ، لوله‌ای شدن برگ و پایداری عملکرد تحت شرایط تنش خشکی معنی‌دار بود.

تاکنون بیشتر مطالعات در زمینه شیوه‌های مدیریت آبیاری برنج در ایران بر پایه دور ثابت آبیاری از ابتدا تا انتهای فصل کشت و یا تأثیر قطع آب در مراحل مختلف رشد بوده است. بر این اساس، با توجه به بروز خشکسالی‌های اخیر، کمبود منابع آبی در سطح کشور،

ناکافی بودن آب در مراحل مختلف رشد برنج و از آن‌جا که مدیریت آبیاری راهکاری پایدار برای کشاورزی در مناطق دارای بحران کم‌آبی می‌باشد (Baroudy et al., 2014 El)، ضروری است با برنامه‌ریزی دقیق و اعمال مدیریت صحیح آبیاری و انتخاب ارقام مناسب، کارایی و بهره‌وری تولید ارتقاء داده شود. لذا این مطالعه با هدف بررسی تأثیر مدیریت آبیاری تناوبی بر شاخص‌های فیزیوژنیک رشد و میزان آب مصرفی چهار رقم رایج برنج در استان گیلان طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت اسپیلت پلات در قالب طرح بلوک‌های

کامل تصادفی با سه تکرار در محل ستاد مؤسسه تحقیقات برنج طی دو سال ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ انجام شد. پنج سطح آبیاری (شامل آبیاری غرقاب دائم و آبیاری تناوبی هر ۵، ۸، ۱۰ و ۱۵ روز یک بار) و چهار رقم (خزر، گیلانه، هاشمی و ۸۴۳۱) به‌ترتیب به‌عنوان عامل اصلی و فرعی مد نظر قرار گرفتند.

نمونه‌برداری از خاک جهت تعیین بافت خاک و میزان ظرفیت نگهداری آب خاک در حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی و برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک از قبیل EC، pH، میزان Ca، Na و Mg انجام شد (جدول ۱).

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

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

سوپر فسفات تریپل، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم به‌صورت سولفات پتاسیم و ۶۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌صورت اوره قبل از کاشت به خاک اضافه شد.

عملیات نشاکاری در ۲۵ اردیبهشت‌ماه (بر اساس تقویم زراعی ارائه شده توسط سازمان جهاد کشاورزی استان گیلان بهترین زمان نشاکاری و بیشترین میزان نشاکاری اراضی شالیزاری استان گیلان نیمه دوم اردیبهشت می‌باشد) انجام گرفت. در این زمان، نشاءها به اندازه طبیعی خود یعنی ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر رسیده و دارای ۴-۵ برگ

در ۱۵ روز اول بعد از نشاکاری آبیاری غرقابی اعمال شد تا بوته به‌خوبی استقرار یابد. در زمان بارندگی سطح آب در مقدار قبل از شروع بارندگی تثبیت (مقدار آب مزرعه به‌مقدار قبل از بارندگی کاهش یافت) و از ازدیاد عمق آب در اثر باران جلوگیری شد. خزانه‌گیری به‌روش مرسوم منطقه انجام شد. شخم شالیزار در دو نوبت انجام گرفت. شخم اول در اواخر پاییز و اوایل زمستان و شخم دوم عمود بر شخم اول در فصل بهار انجام گرفت. کودپاشی زمین طبق آزمون خاک انجام شد. بر این اساس، ۴۵ کیلوگرم در هکتار فسفر به‌صورت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که صفات وزن خشک برگ و ساقه، LDW، TDW و NAR در اثر متقابل آبیاری و رقم در سطح احتمال یک درصد و همچنین شاخص سطح برگ و LWR در فاکتور آبیاری در سطح احتمال یک معنی‌دار شدند. صفات LAR، CGR، RGR و SLA معنی‌دار نبودند (جدول ۲).

از نظر شاخص سطح برگ، رقم خزر با ۲/۴۹ بیشترین و رقم هاشمی با ۲/۱۷ کمترین مقدار را دارا بودند. آبیاری روزانه بیشترین شاخص سطح برگ را با ۳/۰۱ ایجاد نمود و آبیاری ۱۵ روزه با ۱/۳۵ کمترین مقدار را دارا بود. آبیاری روزانه و رقم خزر در اثر متقابل دو فاکتور دارای بیشترین شاخص سطح برگ با ۳/۲۲ بودند. همچنین آبیاری ۱۵ روزه و رقم ۸۴۳۱ با ۱/۱۵ کمترین مقدار را دارا بودند (جدول‌های ۲ و ۳). 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 میزان سطح برگ را تحت تأثیر قرار دهد. آبیاری همچنین از طریق افزایش انعطاف‌پذیری دیواره سلولی، افزایش پتانسیل اسمزی و فشار تورژسانس سطح برگ سبب افزایش سطح برگ می‌شود. بومسا و وین (Boomsma & Vyn, 2008) گزارش نمودند که سطح برگ در گیاهان از صفات حساس به کم‌آبی است. هیو و همکاران (Hu et al., 2007) نیز گزارش نمودند که خشکی جذب املاح و مواد غذایی را کاهش می‌دهد که این امر نیز به نوبه خود می‌تواند باعث کاهش رشد اندام هوایی گیاه شود. از نظر فیزیولوژی گیاهی کمبود آب تقسیم سلولی و طول شدن را در تمامی ابعاد کاهش می‌دهد (Lukovic et al., 2009). رشد سلول از جمله فرآیندهای حساس نسبت به کم‌آبی می‌باشد. رشد نتیجه تولید سلول توسط تقسیم سلول‌های مریستمی و توسعه سلول‌های جوان است. در شرایط کمبود شدید آب، طول شدن سلول‌های گیاهان می‌تواند به دلیل متوقف شدن جریان آب از آوندهای چوبی به سلول‌های در حال توسعه متوقف شود و طول شدن سلول و در نتیجه، خصوصیات مربوط به رشد گیاه کاهش یابد (Anjum et al., 2011).

عملکرد دانه یکی از صفات مهم گیاه برنج می‌باشد. وقوع تنش خشکی باعث کاهش عملکرد گیاه می‌گردد. در این میان آب نقش مهمی در به‌دست آوردن عملکرد حداکثری در گیاه برنج دارد.

بودند. برای انجام نشاءکاری، نشاءها از خزانه به زمین اصلی منتقل شدند. قبل از انتقال نشاءها خزانه کاملاً آبیاری شد تا عمل کنند نشاءها به‌آسانی صورت گیرد و به ریشه‌ها آسیبی وارد نگردد. سپس کاشت نشاءها در زمین اصلی صورت گرفت.

صفاتی از قبیل وزن خشک ساقه و برگ، شاخص سطح برگ (LAI)^۱، سرعت رشد محصول (CGR)^۲، سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR)^۳، نسبت سطح برگ (LAR)^۴، سرعت رشد نسبی (RGR)^۵ و سطح ویژه برگ (SLA)^۶ در زمان خوشه‌دهی و عملکرد دانه اندازه‌گیری و محاسبه شد.

شاخص سطح برگ (LAI) با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید.
معادله (۱)
$$LAI = LA / GA$$

در این معادله، 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.
معادله (۲)
$$CGR = W_2 - W_1 / T_2 - T_1$$

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.
معادله (۳)
$$NAR = CGR / LAI$$

سرعت رشد نسبی (RGR) طبق معادله ۴ محاسبه شد که در آن، TDW: وزن خشک کل گیاه است.

معادله (۴)
$$RGR = CGR / TDW$$

سطح ویژه برگ (SLA) طبق معادله ۵ محاسبه شد که در آن، LA: سطح برگ و LDW: وزن خشک برگ می‌باشد.

معادله (۵)
$$SLA = LA / LDW$$

نسبت سطح برگ (LAR) با استفاده از معادله ۶ محاسبه شد.
معادله (۶)
$$LAR = LA / TDW$$

به‌منظور انجام تجزیه واریانس از نرم‌افزارهای SAS 9.1 و SPSS، برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel و برای مقایسه میانگین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

- 1- Leaf area index
- 2- Crop growth rate
- 3- Net assimilation rate
- 4- Leaf area ratio
- 5- Relative growth rate
- 6- Specific leaf area

جدول ۲ - تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر آبیاری تناوبی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشدی ارقام برنج طی دو سال زراعی

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for the effect of alternating irrigation on physiological growth indices of rice cultivars during two growing seasons													
منابع تغییر	درجه آزادی	سرعت رشد نسبی	سرعت رشد نسبی	سرعت رشد نسبی	سرعت رشد نسبی	سرعت رشد نسبی	سرعت رشد نسبی	سرعت رشد نسبی	سرعت رشد نسبی	سرعت رشد نسبی	سرعت رشد نسبی	سرعت رشد نسبی	سرعت رشد نسبی
S.O.V	df	RGR	SLA	LAR	CGR _{max}	LWR	Yield	SLA	LAR	CGR _{max}	LWR	Yield	SLA
سال	1	0.000 ns	0.012 ns	0.004 ns	0.004 ns	0.004 ns	0.004 ns	0.004 ns	0.004 ns	0.004 ns	0.004 ns	0.004 ns	0.004 ns
Year (Y)	1	0.000 ns	0.012 ns	0.004 ns	0.004 ns	0.004 ns	0.004 ns	0.004 ns	0.004 ns	0.004 ns	0.004 ns	0.004 ns	0.004 ns
خطای اصلی	4	0.000	8.156	0.043	0.216	0.657	0.657	0.657	0.657	0.657	0.657	0.657	0.657
Main error	4	0.000	8.156	0.043	0.216	0.657	0.657	0.657	0.657	0.657	0.657	0.657	0.657
آبیاری تناوبی	4	0.000 ns	175.509**	89.657**	12.266**	47.768**	47.768**	47.768**	47.768**	47.768**	47.768**	47.768**	47.768**
Alternating irrigation (I)	4	0.000 ns	175.509**	89.657**	12.266**	47.768**	47.768**	47.768**	47.768**	47.768**	47.768**	47.768**	47.768**
I × Y	4	0.000 ns	0.001 ns	0.001 ns	0.060 ns	0.649**	0.649**	0.649**	0.649**	0.649**	0.649**	0.649**	0.649**
خطای فرعی	16	0.000	0.002	0.002	0.093	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Sub error	16	0.000	0.002	0.002	0.093	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
رقم	3	0.000 ns	131.468 ns	60.091 ns	1.282 ns	6.729**	6.729**	6.729**	6.729**	6.729**	6.729**	6.729**	6.729**
Variety (V)	3	0.000 ns	131.468 ns	60.091 ns	1.282 ns	6.729**	6.729**	6.729**	6.729**	6.729**	6.729**	6.729**	6.729**
Y × V	3	0.000 ns	0.001 ns	0.001 ns	0.095 ns	0.037**	0.037**	0.037**	0.037**	0.037**	0.037**	0.037**	0.037**
I × V	12	0.000 ns	9.380**	1.702**	0.090 ns	1.342**	1.342**	1.342**	1.342**	1.342**	1.342**	1.342**	1.342**
Y × I × V	12	0.000 ns	0.002 ns	0.003 ns	0.022 ns	0.009**	0.009**	0.009**	0.009**	0.009**	0.009**	0.009**	0.009**
خطای فرعی	60	0.000	0.001	0.002	0.052	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Sub error	60	0.000	0.001	0.002	0.052	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
ضریب تغییرات	-	0.25	0.29	0.49	10.08	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
CV (%)	-	0.25	0.29	0.49	10.08	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49

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

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

تیمار	Mean comparisons for the interaction effects of alternating irrigation on growth indices of rice cultivars during two growing seasons										عملکرد دانه
	شاخص سطح برگ	سرعت رشد	محصول	سرعت رشد	کل خشک	وزن خشک	سرعت	نسبت سطح	نسبت وزن	ساقه خشک	وزن خشک
Treatment	LAI	CGR (g.m ⁻² .day ⁻¹)	TDW (g.m ⁻²)	RGR (g.m ⁻²)	NAR (g.m ⁻² .day ⁻¹)	LAR (m ² .g ⁻¹)	SLA (m ² .g ⁻¹)	LWR (g.g ⁻¹)	Leaf dry weight (g.m ⁻²)	Stem dry weight (g.m ⁻²)	Yield (kg.ha ⁻¹)
I ₁ ×V ₁	3.322 ^{a*}	12.09 ^d	494.7 ^c	0.02443 ^a	7.955 ^e	0.004090 ^a	0.0108 ^a	0.3805 ^{cdef}	11.03 ^f	17.42 ^b	5420 ^a
I ₁ ×V ₂	3.195 ^{abc}	14.30 ^b	482.6 ^d	0.02961 ^a	8.721 ^b	0.005037 ^a	0.0103 ^a	0.3868 ^{bcd}	12.16 ^d	14.36 ^f	5188 ^a
I ₁ ×V ₃	2.772 ^{bcd}	13.07 ^c	533.9 ^a	0.02791 ^a	8.490 ^c	0.005272 ^a	0.011 ^a	0.3680 ^{def}	13.41 ^b	20.06 ^a	3906 ^c
I ₁ ×V ₄	2.750 ^{cd}	14.84 ^a	531.5 ^b	0.02447 ^a	9.484 ^a	0.005272 ^a	0.009 ^a	0.3167 ^f	10.37 ⁱ	12.97 ^h	4301 ^{bc}
I ₂ ×V ₁	3.263 ^{ab}	10.71 ^f	435.0 ^e	0.02460 ^a	7.647 ^f	0.003500 ^a	0.008 ^a	0.4141 ^{bcd}	12.42 ^c	17.29 ^c	5421 ^a
I ₂ ×V ₂	2.825 ^{bcd}	11.12 ^e	376.8 ⁱ	0.02950 ^a	8.01 ^f	0.004628 ^a	0.010 ^a	0.4292 ^{bcd}	14.485 ^k	14.21 ^g	5364 ^a
I ₂ ×V ₃	2.545 ^{de}	10.18 ^g	412.0 ^g	0.02469 ^a	7.258 ^h	0.004892 ^a	0.009 ^a	0.4295 ^{bcd}	13.47 ^b	17.39 ^b	4044 ^c
I ₂ ×V ₄	3.063 ^{abc}	10.24 ^g	434.6 ^f	0.02355 ^a	7.249 ^h	0.004617 ^a	0.0089 ^a	0.3510 ^{ef}	9.790 ^j	14.34 ^f	4698 ^b
I ₃ ×V ₁	2.390 ^{def}	9.272 ⁱ	370.9 ^j	0.02499 ^a	5.159 ⁱ	0.003350 ^a	0.007 ^a	0.4224 ^{bcd}	9.503 ^k	15.65 ^d	3877 ^c
I ₃ ×V ₂	2.340 ^{defg}	10.78 ^f	303.5 ^l	0.03548 ^a	8.394 ^d	0.004222 ^a	0.008 ^a	0.4516 ^{ab}	10.82 ^g	11.25 ^k	3942 ^c
I ₃ ×V ₃	2.222 ^{efgh}	8.249 ^k	325.0 ^k	0.02536 ^a	7.204 ^h	0.004067 ^a	0.0085 ^a	0.3761 ^{cdef}	11.78 ^e	14.37 ^f	3310 ^d
I ₃ ×V ₄	2.010 ^{fghi}	9.455 ^h	382.9 ^h	0.02468 ^a	6.223 ^k	0.003420 ^a	0.008 ^a	0.3904 ^{bcd}	8.785 ^m	10.95 ^l	3286 ^d
I ₄ ×V ₁	1.855 ^{ghi}	6.492 ^m	281.9 ⁿ	0.02614 ^a	6.546 ^j	0.002940 ^a	0.006 ^a	0.4388 ^{abc}	7.798 ^o	15.21 ^e	2899 ^{de}
I ₄ ×V ₂	1.913 ^{fghi}	8.582 ^j	265.0 ^o	0.03236 ^a	6.976 ⁱ	0.003678 ^a	0.007 ^a	0.4051 ^{bcd}	9.238 ^l	9.655 ⁿ	3115 ^d
I ₄ ×V ₃	1.767 ^{hij}	6.534 ^m	254.4 ^p	0.02565 ^a	5.227 ^l	0.003393 ^a	0.005 ^a	0.4242 ^{bcd}	10.57 ^h	11.36 ^j	2975 ^{de}
I ₄ ×V ₄	1.592 ^{ijk}	7.674 ^l	298.0 ^m	0.02572 ^a	6.268 ^k	0.003245 ^a	0.006 ^a	0.3846 ^{bcdef}	7.743 ^o	10.29 ^m	2611 ^e
I ₅ ×V ₁	1.303 ^{jk}	4.152 ^q	179.7 ^t	0.02204 ^a	4.948 ^m	0.003065 ^a	0.004 ^a	0.5032 ^a	6.742 ^p	12.57 ⁱ	2001 ^f
I ₅ ×V ₂	1.322 ^{jk}	5.022 ^o	183.8 ^s	0.02725 ^a	5.214 ^l	0.003395 ^a	0.0033 ^a	0.4441 ^{abc}	8.622 ⁿ	8.603 ^q	2010 ^f
I ₅ ×V ₃	1.157 ^k	4.789 ^p	204.0 ^q	0.02342 ^a	4.417 ⁿ	0.002880 ^a	0.0038 ^a	0.4397 ^{abc}	6.338 ^q	8.807 ^p	1928 ^f
I ₅ ×V ₄	1.653 ^{ij}	5.202 ⁿ	198.6 ^r	0.02300 ^a	7.442 ^g	0.003213 ^a	0.004 ^a	0.4301 ^{bcd}	14.00 ^a	9.548 ^o	1640 ^f

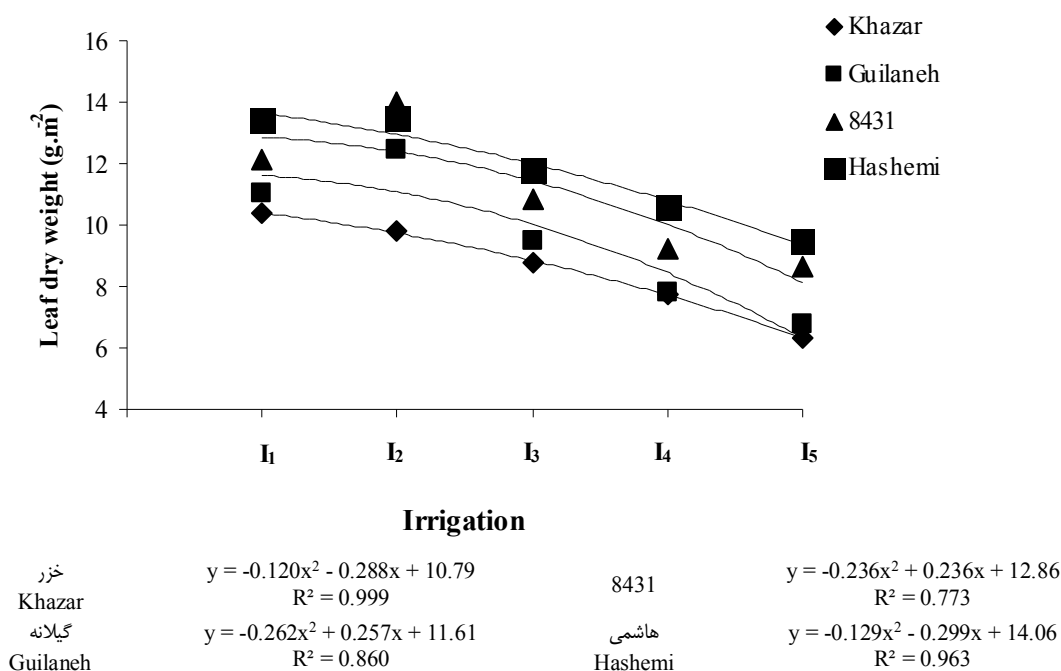
I₁, I₂, I₃, I₄ and I₅ are present irrigation at every day, every 5 days, 8 days, 10 days and 15 days and V₁, V₂, V₃ and V₄: Khazar, Glaneh, 8431 and Hashemi cultivars, respectively.

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

کمترین وزن خشک برگ بودند (جدول‌های ۲ و ۳). آبیاری باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی و افزایش وزن خشک گیاه از طریق تأثیر بر فرایندهای بیولوژیک گیاه 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 بیز فسفات کربوکسیلاز در کلروپلاست اشاره کرد. با کاهش میزان آب آبیاری از تجمع ماده خشک و میزان جذب آب و در نتیجه، محتوای آب گیاه کاسته می‌شود (Nazarli & Zardashti, 2010). کاهش جذب در گیاه که بیشتر وزن تر گیاه را شامل می‌شود، وابسته به فعالیت ریشه‌ها است، ولی در صورت کم‌آبی، از رشد ریشه‌ها و فعالیت جذبی ریشه‌ها کاسته خواهد شد (Boomsa & Vyn, 2008). از سوی دیگر، کاهش در وزن خشک برگ‌ها در اثر کم‌آبی به دلیل کاهش تجمع آسمیلات‌ها که ناشی از کاهش تولید و ظرفیت پذیرش مواد فتوسنتزی برای رشد برگ‌ها است، در گیاه اتفاق می‌افتد (Yordanova & Popova, 2007).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین آبیاری پنج روزه با مقدار ۴۸۸۱ کیلوگرم بیشترین عملکرد دانه را داشت. در بین ارقام مختلف برنج رقم خزر با مقدار ۳۹۲۵ کیلوگرم بیشترین عملکرد را داشتند. در اثر متقابل دو فاکتور، آبیاری پنج روزه و رقم خزر با ۵۴۲۱ کیلوگرم بیشترین عملکرد برنج را داشتند. در آبیاری غرقاب و پنج روزه از بین ارقام مختلف رقم خزر بیشترین عملکرد را داشت، در حالی که در آبیاری ۸، ۱۰ و ۱۵ روزه رقم گیلانه دارای بیشترین عملکرد بودند. بررسی ارقام مختلف نشان داد که در این ارقام آبیاری پنج روزه بیشترین عملکرد دانه را داشت.

آبیاری پنج روزه با ۱۲/۴۲ گرم دارای بیشترین وزن خشک برگ و آبیاری ۱۵ روزه با ۷/۷۹ گرم کمترین مقدار را دارا بود. در بین ارقام مختلف کشت شده، رقم ۸۴۳۱ با ۱۱/۷۴ گرم بیشترین و رقم هاشمی با ۸/۶ گرم کمترین وزن خشک برگ را داشتند. در اثر متقابل آبیاری و رقم، آبیاری پنج روزه و رقم گیلانه با ۱۴ گرم دارای بیشترین وزن خشک برگ و آبیاری ۱۵ روزه و رقم هاشمی با ۶/۳۳ گرم دارای



شکل ۱- اثر متقابل آبیاری تناوبی بر وزن خشک برگ ارقام برنج

Fig. 1- Interaction of alternating irrigation on leaf dry weight of rice cultivars

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

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

از نظر وزن خشک ساقه، رقم خزر با ۱۵/۶۳ بیشترین و رقم هاشمی با ۱۱/۴۷ کمترین مقدار را دارا بودند. آبیاری روزانه بیشترین وزن خشک ساقه را با ۱۶/۲ گرم ایجاد نمود و آبیاری ۱۵ روزه با ۹/۸۸ کمترین مقدار را دارا بود. آبیاری روزانه و رقم ۸۴۳۱ اثر متقابل دو فاکتور دارای بیشترین وزن خشک ساقه با ۲۰/۰۶ گرم بودند، همچنین آبیاری ۱۵ روزه و رقم گیلانه با ۸/۶۰ گرم کمترین مقدار را دارا بودند (جدول‌های ۲ و ۳). آبیاری باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی در گیاه شده و همچنین از طریق تحت تأثیر قرار دادن فرایندهای 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 بیز فسفات کربوکسیلاز در کلروپلاست اشاره کرد. کاهش فتوسنتز مهم‌ترین عامل کاهنده وزن خشک بخش‌های مختلف گیاه است (Efeoglu et al., 2009). تحقیقات نشان داده است که بروز کم‌آبی منجر به کاهش سطح برگ و فعالیت فتوسنتزی گیاه می‌شود و در نتیجه، میزان تجمع آسمیلات‌ها افزایش می‌یابد که منجر به تخصیص بیشتر آسمیلات‌ها برای بخش‌های مختلف گیاه و در نتیجه، افزایش رشد گیاهان می‌گردد (Mafakheri et al., 2010). بنابراین، تأمین آب کافی برای رشد گیاه نقش مثبتی را در افزایش رشد گیاه بر عهده خواهد داشت. بومسا و وین (Boomsma & Vyn, 2008) نیز گزارش نمودند که تحت تأثیر خشکی انتقال مواد غذایی به ساقه کاهش می‌یابد. تحت شرایط خشکی، عناصر غذایی (به‌ویژه نیتروژن) نقش مهمی را در عملکرد گیاهان زراعی بر عهده دارد (Rajala et al., 2009). گرگین و همکاران (Gorgean et al., 2008) نیز اظهار داشته‌اند که نیتروژن مهم‌ترین عنصر غذایی محدودکننده تولید گیاهان زراعی مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک است

سرعت رشد محصول یکی از شاخص‌هایی است که با عملکرد گیاهان زراعی همبستگی بالایی نشان می‌دهد. در ابتدای فصل رشد به دلیل کم بودن سطح برگ، دریافت نور و فتوسنتز و در نتیجه، سرعت تجمع ماده خشک کم می‌باشد. با افزایش سطح برگ جذب نور و فتوسنتز و تولید ماده خشک بیشتر شده و متعاقب آن سرعت رشد گیاه افزایش می‌یابد. در انتهای فصل رشد به دلیل افزایش زیست‌توده و تنفس نگهداری، انتقال مواد فتوسنتزی از برگ‌ها به

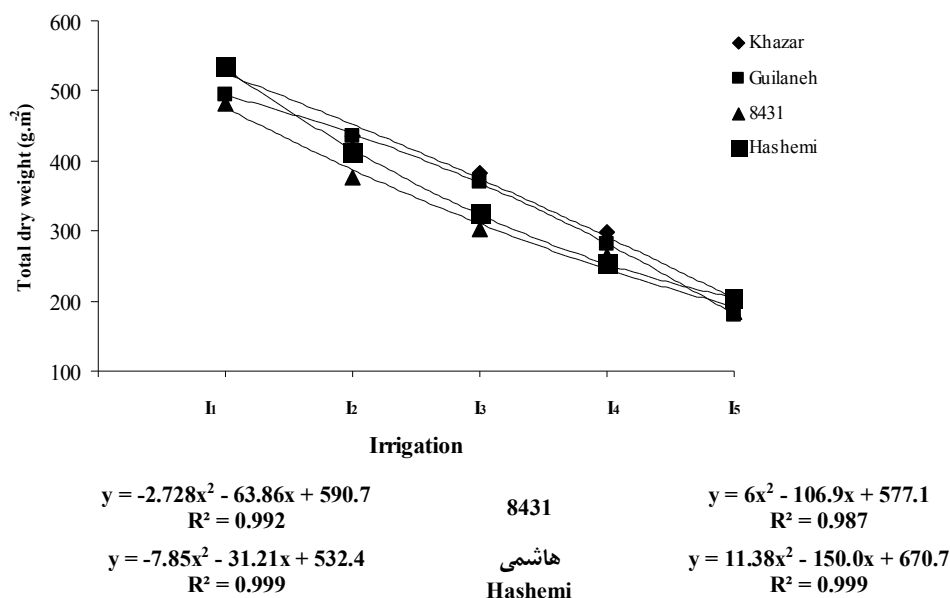
دانه‌ها، خنک شدن هوا و پیری و ریزش برگ‌ها سرعت رشد گیاه کاهش می‌یابد. از نظر CGR، رقم گیلانه با ۹/۵۹ گرم بر مترمربع در روز بیشترین و رقم خزر با ۸/۵۴ گرم بر مترمربع در روز کمترین مقدار را دارا بودند. آبیاری روزانه بیشترین CGR را با ۱۳/۵۷ گرم بر مترمربع در روز ایجاد نمود و آبیاری ۱۵ روزه با ۴/۷۹ گرم بر مترمربع در روز کمترین مقدار را دارا بود. آبیاری روزانه و رقم هاشمی در اثر متقابل دو فاکتور دارای بیشترین CGR با ۱۴/۸۴ گرم بر مترمربع در روز بودند، همچنین آبیاری ۱۵ روزه و رقم خزر با ۴/۱۵ گرم بر مترمربع در روز کمترین مقدار را دارا بودند (جدول‌های ۲ و 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 به مقدار TDW دارد در نتیجه، افزایش TDW باعث افزایش CGR می‌گردد. با کاهش آبیاری در نتیجه کاهش وزن خشک گیاه CGR نیز کاهش می‌یابد. جمالی (Jamali, 2013) با بررسی تأثیر سطوح کود نیتروژن و آبیاری (پس از ۳۰ و ۷۰ میلی‌متر تبخیر) روی سرعت رشد گشنیز (*Coriandrum sativum* L.)، بیشترین CGR مربوط به تیمار آبیاری پس از ۳۰ میلی‌متر تبخیر و کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (سرعت رشد ۲۸ گرم بر مترمربع بر روز) مشاهده شد. عبدزاد گوهری (Abdzad Gohari, 2012) در مطالعه‌ای روی تأثیر سطوح نیتروژن و تنش آبی (فاصله آبیاری ۶، ۱۲ و ۱۸ روز یک بار) بر بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) گزارش نمودند که بیشترین سرعت رشد محصول در فاصله آبیاری شش روزه (هشت گرم بر مترمربع بر روز) به دست آمد. وی نتیجه گرفت که کاهش فاصله آبیاری با بهبود توسعه برگ‌ها و افزایش نفوذ نور به داخل کانوبی در نهایت، CGR را بهبود داده است. ریکاردو و همکاران (Ricardo et al., 2008) کاهش سرعت رشد گیاه بادام زمینی در شرایط اعمال تنش خشکی را تأیید کرد. به نظر می‌رسد در شرایط تنش به دلیل کاهش سطح برگ، فتوسنتز ارقام مختلف کم شده و برگ‌ها دچار پیری زودرس شده و سرعت رشد محصول کاهش یافته است. از طرف دیگر، در شرایط بدون تنش، نور بیشتری توسط گیاه دریافت شده و از آن‌جا که سرعت رشد محصول تابعی از سطح برگ است، میزان فتوسنتز و سرعت رشد محصول افزایش می‌یابد.

بیشترین سرعت رشد نسبی مربوط به ابتدای فصل رشد می‌باشد؛

افزایش دریافت تشعشع خورشیدی و بیوماس نهایی را موجب می‌گردد.

بالاترین LDW در آبیاری روزانه با ۱۸۴/۹ گرم بر مترمربع به‌دست آمد. کمترین مقدار در آبیاری ۱۵ روزه با ۸۴/۱۳ گرم بر مترمربع مشاهده شد. در بین ارقام مختلف، گیلانه با ۱۴۲/۴ گرم بر مترمربع بیشترین و رقم هاشمی با ۱۳۳/۵ گرم بر مترمربع کمترین مقدار LDW را دارا بود. در اثر متقابل آبیاری و رقم، آبیاری روزانه و رقم ۸۴۳۱ با ۱۹۶/۵ گرم بر مترمربع بیشترین LDW و آبیاری ۱۵ روزه و رقم هاشمی با ۷۶/۳۱ گرم بر مترمربع کمترین LDW را داشتند (جدول‌های ۲ و ۳). شاخص LDW همبستگی زیادی با وزن خشک برگ دارد و از حاصل‌ضرب وزن خشک برگ در ضریب به‌دست 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.

به‌طوری‌که با گذشت زمان به‌دلیل سایه‌اندازی برگ‌های بالایی بر پایینی، کاهش پتانسیل فتوسنتزی این برگ‌ها، افزایش سهم 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 هشت روز با ۰/۲۷ مترمربع بر گرم به‌دست آمد. کمترین مقدار در آبیاری ۱۵ روزه با ۰/۲۴ مترمربع بر گرم مشاهده شد. در بین ارقام مختلف، گیلانه با ۰/۳۰ مترمربع بر گرم بیشترین و رقم خزر با ۰/۲۴ مترمربع بر گرم کمترین مقدار RGR را دارا بود. در اثر متقابل آبیاری و رقم، آبیاری هشت روز و رقم گیلانه با ۰/۳۵ مترمربع بر گرم بیشترین RGR و آبیاری ۱۰ روزه و رقم خزر با ۰/۲۲ مترمربع بر گرم کمترین RGR را داشتند (جدول‌های ۲ و ۳). همبستگی معنی‌دار بین RGR و SLA نشان می‌دهد که ارقام دارای برگ‌های نازک‌تر به‌دلیل 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). به نظر می‌رسد تأمین رطوبت کافی در طول فصل رشد باعث توسعه برگ‌ها در ارقام مختلف می‌شود که خود



شکل ۲- اثر متقابل آبیاری تناوبی بر وزن خشک ارقام برنج
Fig. 2- Interaction of alternating irrigation on total dry weight of rice cultivars

I₁, I₂, I₃, I₄ and I₅: به‌ترتیب آبیاری روزانه، ۵ روزه، ۸ روزه، ۱۰ روزه و ۱۵ روز یک بار
I₁, I₂, I₃, I₄ and I₅: are present irrigation at every day, every 5 days, 8 days, 10 days and 15 days, respectively.

محمدیان و همکاران (Mohammadian et al., 2005) اظهار داشتند که تحت شرایط خشکی رشد برگ‌ها کاهش می‌یابد و در نتیجه، کربوهیدرات‌های کمی به برگ‌ها اختصاص داده می‌شود (Zhang et al., 2012). تحت شرایط کم‌آبی برگ‌ها دارای هدایت روزنه‌ای پایینی هستند تا آب گیاه را حفظ کنند. در نتیجه، تثبیت دی-اکسید کربن و میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد و منجر به کاهش تولید آسیمیلات‌ها برای رشد و عملکرد گیاهان می‌گردد (Mafakheri et al., 2010). نوری‌اظهر و احسان‌زاده (Nouri Azhar & Ehsanzadeh, 2007) با بررسی تغییرات شاخص‌های رشد پنج هیبرید ذرت (*Zea mays* L.) در دو رژیم آبیاری گزارش کردند که کم‌آبیاری اثر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ دارد. آن‌ها همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص سطح برگ و عملکرد ماده خشک گزارش کردند.

بالاترین TDW در آبیاری روزانه با ۵۱۰/۷ گرم بر مترمربع به‌دست آمد. کمترین مقدار در آبیاری ۱۵ روزه با ۱۹۱/۵ گرم بر مترمربع مشاهده شد. در بین ارقام مختلف، هاشمی با ۳۶۹/۱ گرم بر مترمربع بیشترین و رقم گیلاسه با ۳۲۲/۳ گرم بر مترمربع کمترین مقدار TDW را دارا بود. در اثر متقابل آبیاری و رقم، آبیاری روزانه و رقم ۸۴۳/۱ با ۵۳۳/۹ گرم بر مترمربع بیشترین TDW و آبیاری ۱۵ روزه و رقم خزر با ۱۷۹/۷ گرم بر مترمربع کمترین TDW را داشتند (جدول‌های ۲ و ۳). شاخص TDW همبستگی زیادی با وزن خشک کل گیاه دارد. در نتیجه آبیاری، تولید مواد فتوسنتزی افزایش می‌یابد که باعث افزایش وزن خشک کل گیاه می‌شود و افزایش این عامل باعث افزایش شاخص TDW 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 کل کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد که تنش آبی در طی مرحله رشد رویشی و پایان دوره رشد گیاه، موجب سرعت بخشیدن در مراحل رشدی شده که در نتیجه، به‌دلیل کاهش طول دوره رشد، کاهش تولید ماده خشک را موجب شده است. اعمال کم‌آبیاری در مرحله رشد رویشی و زایشی (تشکیل خوشه و گل‌دهی) باعث می‌شود به‌دلیل کمبود رطوبت، دانه‌های گرده به تخمدان نفوذ نکرده و عمل تلقیح به‌خوبی انجام نشده که در نهایت، وزن اندام‌های رویشی و زایشی کاهش یابد. بونمان و تانگ (Bounman & Toungh, 2001) گزارش

نمودند که کمبود آب طی مرحله رشد رویشی تعداد پنجه را کاهش داد. سینک و میسرا (Singh & Misra, 1974) اظهار داشتند که تنش آبی طی مرحله استقرار گیاه (در اوایل دوره رشد رویشی) موجب کاهش تعداد پنجه شد، ولی چون پنجه‌های باقی‌مانده تعداد دانه و وزن هزار دانه بیشتری به‌ازای هر خوشه تولید می‌کنند، کاهش تعداد پنجه تأثیر زیادی بر عملکرد ندارد. بومان (Bouman, 2007) دریافتند که با اعمال مدیریت صحیح آب می‌توان مانع کاهش عملکرد شد و همچنین، از طریق صرفه‌جویی در مصرف آب، بهره‌وری را افزایش داد. بر این اساس، هر عاملی که عملکرد را افزایش دهد، راندمان مصرف آب را نیز افزایش می‌دهد. از طرف دیگر، بروز هر گونه تنش رطوبتی باعث افزایش مقاومت روزنه‌ای شده و کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد. در چنین مواقعی تلفات آب در اثر ترقق بیشتر از فتوسنتز کاهش یافته که در نتیجه آن بالا رفتن کارایی مصرف آب را موجب می‌شود (Amiri et al., 2011). جلیلیان و محسنیان (Jalilian & Mohsennia, 2013) دریافتند که با افزایش تنش خشکی از ۲۰ به ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی تجمع ماده خشک جو کاهش یافت.

هوانگ و همکاران (Hwang et al., 1989) نشان دادند که تنش آبی طول خوشه را در برنج کاهش داد. کاهش وزن هزار دانه به‌دلیل تأثیر رطوبت و کاهش انتقال مواد غذایی در زمان پر شدن دانه در تیمارهای تحت تنش می‌باشد (Yoshida, 1981). جیانگ و همکاران (Jiang et al., 1991) اختلاف معنی‌داری را برای عملکرد، تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری در برنج گزارش نمودند. هوانگ و همکاران (Hwang et al., 1989) اظهار داشتند که تحت شرایط محدودیت آب در مرحله گل‌دهی، کاهش عمدتاً ناشی از افزایش عقیمی سنبلیچه‌ها است. خشکی، موجب عقیمی گلچه‌ها در مرحله پر شدن دانه‌ها می‌گردد، در نتیجه تعداد دانه‌های پوک افزایش یافته و اختلاف بین ارقام از لحاظ تعداد دانه پر شده مشاهده گردید. بنابر گزارش‌های سینک و میسرا (Singh & Misra, 1974)، یوشیدا (Yoshida, 1981) و کیم و همکاران (Kim et al., 1988) مشخص گردید که کاهش آب در هر مرحله رشدی سبب عدم پر شدن دانه‌ها می‌گردد که بسته به شدت و مرحله بروز تنش و رقم شدت افت عملکرد متفاوت می‌باشد. جراکونگمن و همکاران (Jerakongman et al., 1996) بیان داشتند که ارقام دارای عملکرد بالا، عموماً ارتفاع

کوتاه و شاخص برداشت بالایی داشته و همه آن‌ها کارایی دسترسی به آب بهتری نسبت به سایرین دارند. این محققان نشان دادند که پتانسیل عملکرد بالای واریته‌های متحمل، ناشی از شاخص برداشت بالا تحت شرایط مطلوب، زمان مناسب گل‌دهی برای فرار از تنش آبی و توانایی برای حفظ رشد در طی خشکی مربوط می‌باشد. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود انتخاب ارقام مناسب با شاخص برداشت بالا جهت دستیابی به عملکرد بالاتر به‌ویژه در شرایط کم‌آبی بهره‌گیری شود.

آبیاری روزانه با $8/66$ گرم بر مترمربع در روز دارای بیشترین NAR و آبیاری ۱۵ روزه با $4/93$ گرم بر مترمربع در روز کمترین مقدار را دارا بود. در بین ارقام مختلف کشت شده، رقم گیالانه با $7/46$ گرم بر مترمربع در روز بیشترین و رقم 8431 با $6/32$ گرم بر مترمربع در روز کمترین NAR را داشتند. در اثر متقابل آبیاری و رقم، آبیاری روزانه و رقم هاشمی با $9/48$ گرم بر مترمربع در روز دارای بیشترین NAR و آبیاری ۱۵ روزه و رقم 8431 با $4/41$ گرم بر مترمربع در روز دارای کمترین NAR بودند (جدول‌های ۲ و ۳). با افزایش سرعت رشد محصول در همه تیمارها سرعت جذب خالص افزایش یافت که این امر می‌تواند به این علت باشد که ارتباط مستقیمی بین سرعت رشد محصول و سرعت جذب خالص وجود دارد. دادرسی و همکاران (Dadrasi et al., 2012) با بررسی اثر آبیاری (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) بر شاخص‌های رشد دو رقم ذرت نشان دادند که بیشترین شاخص سطح برگ ($4/7$)، سرعت رشد محصول ($50/23$ گرم بر مترمربع بر روز)، وزن خشک کل (1920 گرم بر مترمربع) و سرعت جذب خالص ($11/20$ گرم بر مترمربع بر روز) در تیمار ۵۰ میلی‌متر تبخیر و کمترین این شاخص‌ها (به‌ترتیب با $27/8$ ، $2/84$ گرم بر مترمربع بر روز، 1064 گرم بر مترمربع و $9/6$ گرم بر مترمربع بر روز) در تیمار ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر حاصل شد. به نظر می‌رسد که پیری زودرس، افزایش تنفس و همچنین رقابت بیشتر برای جذب آب در ارقام مختلف برنج موجب کاهش سرعت جذب خالص شده است.

بالاترین LWR در آبیاری روزانه با $0/44$ گرم در گرم به‌دست آمد. کمترین مقدار در آبیاری ۱۵ روزه با $0/36$ گرم در گرم مشاهده شد. در بین ارقام مختلف، گیالانه با $0/44$ گرم در گرم بیشترین و رقم هاشمی با $0/37$ گرم در گرم کمترین مقدار LWR را دارا بود. در اثر متقابل آبیاری و رقم، آبیاری روزانه و رقم گیالانه با $0/50$ گرم در گرم

بیشترین LWR و آبیاری ۱۵ روز و رقم هاشمی با مدار $0/31$ گرم در گرم کمترین LWR را داشتند. آلوری و همکاران (Alluri et al., 1978) اظهار داشتند که تنش رطوبتی سبب کاهش رشد و ارتفاع گیاه گردید. بروز تنش در طی پر شدن دانه صرف‌نظر از کاهش عملکرد ناشی از محدودیت آسیمیلات و کوتاه شدن دوره پر شدن دانه، باعث کاهش در کیفیت آن به‌صورت زوال کلی در ظاهر دانه، سفید کردن و کیفیت پخت، درصد بیشتر دانه‌های گچی، میزان بازیافت پایین‌تر برنج سالم، تغییر ساختمانی در آمیلوپکتین و انعطاف سخت‌تر شد (Zhu et al., 1997). مرحله شیری از پر شدن دانه حساس‌ترین فاز در برنج نسبت به تنش خشکی است (Zakaria et al., 2002).

LAR نسبت سطح بافت‌های فتوسنتزکننده به وزن خشک کل بافت‌های تنفس‌کننده را نشان می‌دهد. آبیاری روزانه با $0/050$ مترمربع بر گرم دارای بیشترین LAR و آبیاری ۱۵ روزه با $0/030$ مترمربع بر گرم کمترین مقدار را دارا بود. در بین ارقام مختلف کشت شده، رقم گیالانه با $0/042$ مترمربع بر گرم بیشترین و رقم هاشمی با $0/035$ مترمربع بر گرم کمترین LAR را داشتند. در اثر متقابل آبیاری و رقم، آبیاری روزانه و رقم گیالانه با $0/053$ مترمربع بر گرم دارای بیشترین LAR و آبیاری ۱۵ روزه و رقم هاشمی با $0/029$ مترمربع بر گرم دارای کمترین LAR بودند. برگ‌ها مهم‌ترین اندام فتوسنتزی گیاه بوده و شاخص سطح برگ مهم‌ترین فاکتور در تعیین رشد و تولید زیست‌توده می‌باشد (Hamzei & Soltani, 2012). محققین معتقدند رفع تنش آبی و افزایش آب مصرفی باعث افزایش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شده توسط تاج‌پوشش گیاهی در ارتفاع ۸۰-۴۰ سانتی‌متری سطح زمین شده و در نتیجه، باعث جلوگیری از پیری زودرس برگ‌ها شده و رشد و عملکرد را بهبود می‌بخشد (Zhong et al., 2015; Han et al., 2014; Li et al., 2008).

SLA عبارت است از نسبت سطح برگ به وزن خشک برگ و واحد آن مترمربع بر گرم می‌باشد. SLA نشان‌دهنده ضخامت برگ است و هر چه کوچک‌تر باشد، برگ ضخیم‌تر است و تعداد کلروپلاست و غلظت کلروفیل سلول‌های مزوفیل آن بیشتر است، لذا تلفات نوری کمتر و توان فتوسنتزی آن بیشتر است. آبیاری روزانه با $0/012$ مترمربع بر گرم دارای بیشترین SLA و آبیاری ۱۵ روزه با $0/004$ مترمربع بر گرم کمترین مقدار را دارا بود. در بین ارقام مختلف کشت شده، رقم گیالانه با $0/012$ مترمربع بر گرم بیشترین و رقم خزر

با ۰/۰۰۴۶ مترمربع بر گرم کمترین SLA را داشتند. در اثر متقابل آبیاری و رقم، آبیاری روزانه و رقم گیلا نه با ۰/۰۱۱ مترمربع بر گرم دارای بیشترین SLA و آبیاری ۱۵ روزه و رقم خزر با ۰/۰۰۳۳ مترمربع بر گرم دارای کمترین SLA بودند.

بررسی‌ها نشان داده است خشکی اثرات زیادی بر کاهش رشد و تجمع ماده خشک گیاهی دارد (Ucan et al., 2007). بنابراین، به نظر می‌رسد با افزایش تنش خشکی دریافت تشعشع خورشیدی و به تبع آن میزان تجمع ماده خشک گیاهی کاهش و وزن خشک آن‌ها نیز کاهش می‌یابد که این موضوع ناشی از پژمردگی برگ‌ها، محدودیت در رشد و توسعه برگ‌ها در شرایط کمبود آب و یا پیری زودرس برگ‌ها می‌باشد (Ngugi et al., 2013).

میزان آب مصرفی یکی از شاخص‌های مهم کاشت برنج می‌باشد. آبیاری روزانه با ۵۹۲۳ مترمکعب در هکتار بیشترین و آبیاری ۱۵ روزه با ۴۳۳۳ مترمکعب در هکتار کمترین میزان آب مصرفی را داشتند. در بین ارقام مختلف، رقم خزر بیشترین (۵۷۶۰ مترمکعب در هکتار) و رقم هاشمی کمترین میزان آب مصرفی (۴۹۴۵ مترمکعب در هکتار) را ایجاد نمود. در اثر متقابل دو فاکتور، آبیاری روزانه و رقم خزر با ۶۳۰۷ مترمکعب در هکتار بیشترین آب مصرفی و آبیاری ۱۵ روزه و رقم هاشمی (۴۰۲۷ مترمکعب در هکتار) کمترین را داشتند. میزان آب مصرفی برای کشت برنج در روش‌های سنتی، به دلیل تلفات آب در اثر نشست، فرونشست عمقی، تبخیر از سطح آزاد آب‌ها و آب مصرفی برای آماده‌سازی زمین بسیار زیاد است (Tuong & Bouman, 2003; Borell et al., 1997). غرقاب ماندن طولانی‌مدت زمین در کاشت برنج موجب بروز مشکلاتی در طول دوره رشد از جمله ایجاد شرایط احیا در اثر عدم تهویه، تجمع مواد سمی در محیط ریشه، حساسیت گیاه به آفات و بیماری‌ها و آلودگی آب و خاک می‌شود (Lin et al., 2003). یکی از راهکارهای افزایش بهره‌وری آب در مزرعه، کاهش مصارف تبخیر، نفوذ و نشست است (Tuong & Bhuiyan, 1999). کاشت نشای برنج به‌صورت جوی و پشته‌ای در مقایسه با روش سنتی، باعث ۱۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب، بدون کاهش عملکرد گردید (Nguyen et al., 2009; He, 2010). کاشت برنج به‌صورت جوی و پشته در سه مطالعه جداگانه به‌ترتیب باعث ۳۴/۸، ۳۱/۶ و ۴۲ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش به‌ترتیب ۳/۴، ۳/۷ و ۱۶ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با روش سنتی شد (Dawe et al., 1998; Atta, 2008; Rezaei Estakhroei et al., 2017).

رودریک و همکاران (Roderick et al., 2011) نتیجه گرفتند که روش کم‌آبیاری تناوب خشکی و رطوبت در حدود ۳۸ درصد مصرف آب آبیاری شالیزار را بدون کاهش عملکرد و سود کشاورزان کاهش داده است. تنش خشکی ناشی از آبیاری غیرغرقابی به‌رغم کاهش میزان آب مصرفی، موجب مختلف کردن انتقال املاح و مواد غذایی به گیاه برنج می‌شود. در این شرایط، گیاه به‌منظور ادامه جذب آب از طریق تجمع ترکیبات اسمزی از جمله پرولین و کربوهیدرات‌های محلول، پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد (Tarahomi et al., 2010). غلظت زیاد مواد محلول باعث سمیت سلول شده و از این طریق بر عملکرد بسیاری از آنزیم‌های درگیر در سیستم فتوسنتزی مؤثر واقع می‌شود. کاهش وزن خشک به‌دلیل کاهش رشد گیاهی، بسته شدن روزنه‌ها و متعاقب آن کاهش فتوسنتز، پیری و ریزش برگ‌ها می‌باشد (Gisele et al., 2007). نحوی (Nahvi, 2000) دور آبیاری تناوبی پنج روزه با حفظ راندمان مصرف آب و بدون کاهش معنی‌دار عملکرد را به‌عنوان راهکاری برای مقابله با کم‌آبی در رقم خزر پیشنهاد نمود. یامبو و اینگرام (Yambo & Ingram, 1988) در بررسی دوره‌های مختلف آبیاری مشاهده نمودند که در تنش کم‌آبی، دور آبیاری پنج روزه در مرحله زایشی سبب کاهش ۴۰-۲۵ درصدی عملکرد شد. بنابراین، چنین به نظر می‌رسد در مناطقی که کمبود منابع آبی وجود دارد و یا در شرایط خشک‌سالی، به‌جای حالت غرقاب، از آبیاری‌های تناوبی می‌توان استفاده نمود، ولی پیشنهاد می‌شود که سعی شود کم‌آبیاری در مرحله رشد زایشی اعمال نشود. همچنین با انتخاب ارقام مناسب متحمل به کم‌آبیاری سعی شود از منابع در راستای تولید پایدار حداکثر بهره‌برداری انجام گیرد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که در مقایسه مدیریت‌های مختلف آبیاری، حالت غرقابی برای تمام ارقام مورد مطالعه برنج به‌دلیل عدم وجود تنش مناسب‌ترین حالت به‌شمار می‌رود، زیرا گیاه با دریافت به‌موقع آب توانسته نیازهای خود را مرتفع و عملکرد قابل اقتصادی قبولی تولید نموده است. با افزایش فاصله بین روزهای آبیاری به‌دلیل افزایش شدت تنش خشکی، شاخص‌های رشدی برنج کاهش یافت. به‌طوری‌که آبیاری روزانه بهترین شرایط را برای رشد گیاه فراهم نمود. در شرایط بدون تنش (آبیاری روزانه) رقم ۸۴۳۱ دارای بیشترین رشد و رقم هاشمی کمترین رشد را دارا بود. در شرایط تنش متوسط

ارقامی از برنج که در شرایط آبیاری تناوبی عملکرد دانه قابل قبولی تولید کنند، یکی از نیازهای اصلاحی در این زمینه بوده که بایستی مورد توجه قرار گیرد که این امر می‌تواند به‌طور ویژه‌ای عملکرد و میزان مصرف آب را تحت تأثیر قرار دهد. لذا پیشنهاد می‌شود انتخاب تراکم مناسب کاشت و مدیریت آبیاری را به‌عنوان راهکاری زراعی در راستای تأمین امنیت غذایی و پایداری تولید مد نظر قرار داد.

(آبیاری پنج و هشت روزه) رقم ۸۴۳۱ مقاومت بیشتری به تنش داشت و بهترین شرایط را داشت و رقم هاشمی ضعیف‌ترین بود. در شرایط تنش زیاد (آبیاری ۱۰ و ۱۵ روزه) رقم خزر بیشترین رشد را داشت و رقم گیلانه از این نظر ضعیف‌ترین رقم بود. مقایسه سرعت رشد محصول نشان می‌دهد که آبیاری روزانه و رقم هاشمی بیشترین سرعت رشد را دارا می‌باشند و کمترین سرعت رشد در آبیاری ۱۵ روزه و رقم خزر مشاهده شد. بر این اساس، به نظر می‌رسد اصلاح انتخاب

References

- Abdi, P., 2003. Evaluation of economic yield of smallwater supplying structure in agriculture. *Journal of Soil and Water* 19: 301-302.
- Abdzad Gohari, A., 2012. Effect of nitrogen fertilizer and various irrigation regimes on yield and physiological traits in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *International Journal of Farm and Allied Science* 1(1): 26-32.
- Alluri, K., Vodouhe, R.S., Treharne, K.J., and Buddenhagen, I.W., 1978. Evaluation of rice varieties for drought avoidance and drought escape mechanisms. *Rice in Africa* 37-53.
- Amiri, E., Razavipour, T., Farid, A., and Bannayan, M., 2011. Effects of crop density and irrigation management on water productivity of rice production in Northern Iran: Field and modeling approach. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 42(17): 2085-2099.
- Anjum, S.A., Xie, X., Wang, L., Saleem, M.F., Man, C., and Lei, W., 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research* 6(9): 2026-2032.
- Asadi, R., Shahin, P., and Ahmadi, R., 2003. Introducing new methods of rice irrigation in China. *Journal of the Dryness and Agricultural Drought* 13: 13-21.
- Atta, Y.I., 2008. Innovative method for rice irrigation with high potential of water saving. *Water Management Research Institute National Water Research Center, Egyptian*, p. 17.
- Boomsma, C.R., and Vyn, T.J., 2008. Maize drought tolerance: potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis? *Field Crops Research* 108: 14-31.
- Borell, A.K., Garside, A., and Fukai, S., 1997. Improving efficiency of water use for irrigated rice in a semi -arid tropical environment. *Field Crops Research* 52: 231-248.
- Bouman, B.A.M., 2001. Water-efficient management strategies in rice production. *International Rice Research Notes* 16(2): 17-22.
- Bouman, B.A.M., 2007. A conceptual framework for the improvement of cropwater productivity at different spatial scales. *Agricultural Systems* 93: 43-60.
- Bouman, B.A.M., and Tuong, T.P., 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated rice. *Agricultural Water Management* 49: 11-30.
- Carmelita, M., Alberto, R., Wassmann, R., Hirano, T., Miyata, A., Hatano, R., Kumar, A., Padre, 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.
- Dadrasi, V.A., Aboutalebian, M.A., Ahmadvand, G., Mousavi, S.S., and Seyedi, M., 2012. Effect of on-farm seed priming and irrigation interval the on growth indices of two corn cultivars (*Zea mays* L.). *Journal of Agronomy Sciences* 3(7): 67-88. (In Persian with English Summary)
- Dawe, D., Seckler, D., and Barker, R., 1998. Water supply and research for food security in Asia. *Proceedings of the Workshop on Increasing Water Productivity and Efficiency in Rice Based Systems, International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines*, 5 July.
- De-Datta, S.K., 1981. *Principles and Practices of Rice Production*. Los Banos, Philippines, IRRI, p. 540.
- Efeoglu, B., Ekmekçi, Y., and Çiçek, N., 2009. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. *South African Journal of Botany* 75: 34-42.
- El Baroudy, A.A., Ibrahim, M.M., and Mahmoud, M.A., 2014. Effects of deficit irrigation and transplanting methods of

- irrigated rice on soil physical properties and rice yield. *Soil Use and Management* 30: 88-98.
- Fukai, S., 1999. Phonology in rainfed low land rice. *Field Crops Research* 64: 51-60.
- 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)
- 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)
- Gisele, A., Torres, M., Gimenes, A., de Rosa, V.E., and Quecini, V., 2007. Identifying water stress-response mechanisms in citrus by in silico transcriptome analysis. *Genetics and Molecular Biology* 30: 888-905.
- Goergen, E., Chambers, J.C., and Blank, R., 2009. Effects of water and nitrogen availability on nitrogen contribution by the legume, lupinus argenteus Pursh. *Applied Soil Ecology* 42: 200-208.
- Hamzei, J., and Soltani, J., 2012. Deficit irrigation of rapeseed for water-saving: Effects on biomass accumulation, light interception and radiation use efficiency under different N rates. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 155: 153-160.
- Han, Y.Y., Wang, G.Y., Zhou, X.B., Chen, Y.H., and Liu, P., 2014. Radiation use efficiency and yield response of winter wheat to planting patterns and irrigation in northern China. *Agronomy Journal* 106: 168-174.
- He, C., 2010. Effects of furrow irrigation on the growth, production and water use efficiency of direct sowing rice. *The Scientific World Journal* 10: 1483-1497.
- Hu, Y., Burucs, Z., Tucher Von, S., and Schmidhalter, U., 2007. Short-term effects of drought and salinity on mineral nutrient distribution along growing leaves of maize seedlings. *Environmental and Experimental Botany* 60: 268-275.
- Hwang, C.J., Kim, K.T., Oh, N.K., and Jeong, J.U., 1989. The effect of drought at the reproductive stage on degeneration, sterility, ripening and nutrient uptake of rice. *Research Reports of the Rural Development of Administration Rice* 31: 36-42.
- Jalilian, J., and Mohsennia, O., 2013. Effects of superabsorbent and irrigation regime on seedling growth characteristics of barley. *Cercetari Agronomice in Moldova* 6(3): 12-20.
- Jamali, M.M., 2013. Investigate the effect of drought stress and different amount of chemical fertilizers on some physiological characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *International Journal of Farm and Allied Science* 2(20): 872-879.
- Jerakongman, S., Rajatasareekul, S., Naklang, K., Romyen, P., Fukai, S., Skulkhu, E., Jumpaket, B., and Nathabutr, K., 1996. Growth and grain yield of contrasting rice cultivars grown under different conditions of water availability. *Field Crops Research* 44: 139-150.
- Jiang, H., Jiang, G.L., Wang, G.L., Wu, J.L., He, Z.B., and Shen, J.L., 1991. Identification of drought resistance in rice germplasm resources. *Jiangsu, Agricultural Science* 1: 10-12.
- Kim, H., Lee, S.K., Chung, G.S., and Sohn, J.K., 1988. Screening of rice drought resistance in a sloping field. *Research-Reports of the Rural Development Administration, Rice* 30: 36-43.
- Kobata, T., and Takami, S., 1989. Water status and grain production of several japonica rice's under grain-filling stage drought. *Japanese Journal of Crop Science* 58: 212-216.
- Kumar, R., and Kumar, R., 2002. Effect of drought on growth, leaf rolling, plant water status and yield of rice (*Oryza sativa* L.). *Indian Journal of Agronomy* 47: 61-66.
- Li, Q., Chen, Y.H., Liu, M.Y., Zhou, X.B., Yu, S.L., and Dong, B.D., 2008. Effects of irrigation and planting patterns on radiation use efficiency and yield of winter wheat in North China. *Agricultural Water Management* 95: 469-476.
- Lin, S., Tao, H., Dittert, K., Xu, Y., Fan, X., Shen, Q., and Sattelmacher, B., 2003. Saving water with the ground cover rice production system in China. In: *Technological and Institutional Innovations for Sustainable Rural Development. Conference on International Agricultural Research for Development*, Göttingen Germany, 8-10 October.
- Lukovic, J., Maksimovi, I., Zoric, L., Nagl, N., Percic, M., Polic, D., and Putnik-Delic, M., 2009. Histological characteristics of sugar beet leaves potentially linked to drought tolerance. *Industrial Crops and Products* 30: 281-286.
- Mafakheri, A., Siosemardeh, B., Bahramnejad, P.C., Struik, E., and Sohrabi, A., 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science* 4(8): 580-585.

- Mao, Z., 1993. Environmental impact of water-saving irrigation for rice. Proceedings of Environmentally Sound Water Resource Utilization, AIT Bangkok, Thailand, 8-11 Nov. p. 143-148.
- Mohammadian, R., Moghaddam, M., Rahimian, H., and Sadeghian, S.Y., 2005. Effect of early season drought stress on growth characteristics of sugar beet genotypes. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 29: 357-368.
- Nahvi, M., 2000. Determination of best irrigation period based on growth analysis and gain yield (Khazar cultivar). Thesis of M.Sc., Azad Islamic University of Karaj, Karaj, Iran. (In Persian)
- Nazarli, H., and Zardashti, M.R., 2010. The effect of drought stress and super absorbent polymer (a200) on agronomical traits of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under field condition. Cercetări Agronomice în Moldova 3(12): 5-14.
- Ngugi, K., Collins, J.O., and Muchira, S., 2013. Combining, earliness, short anthesis to silking interval and yield based selection indices under intermittent water stress to select for drought tolerant maize. Australian Journal of Crop Science 7: 2014-202.
- Nguyen, H.T., Fischer, K.S., and Fukai, S., 2009. Physiological responses to various water saving systems in rice. Field Crops Research 112(2): 189-198.
- Nouri Azhar, J., and Ehsanzadeh, P., 2007. Study of relationship of some growth indices and yield of five corn hybrids at two irrigation regimes in Esfahan region. Journal of Science and Technology 41: 261-272.
- Nwaduikwe, P.D., and Chude, V.O., 1998. Manipulation of the irrigation schedule of rice as a means of maximizing water use efficiency and irrigation efficiency in the semi-arid tropics. Journal of Arid Environments 40(3): 331-339.
- Pan, J., Liu, Y., Zhong, X., Lampayan, R.M., Singleton, G.R., Huang, N., Liang, K., Peng, B., and Tian, K., 2017. Grain yield, water productivity and nitrogen use efficiency of rice under different water management and fertilizer-N inputs in South China. Agricultural Water Management 184: 191-200.
- Rajala, A., Hakala, K.P., Makela, S., Murinen, D., and Peltone-Sainio, P., 2009. Spring wheat response to timing of water deficit through sink and grain filling capacity. Field Crops Research 114(2): 236-271.
- Rezaei Estakhroei, A., Sedaghat, M., Arabzadeh, B., and Sayyari, N., 2017. Effect of innovative irrigation methods on yield and yield components of rice (Shiroodi cultivar). Journal of Water and Irrigation Management 6(2): 193-204. (In Persian with English Summary)
- Ricardo, J.H., Dardanelli, J.I., Maia, E., and Collino, D.J., 2008. Seed yield determination of peanut crops under water deficit, soil strength effects on pod set, the source-sink ratio and radiation use efficiency. Field Crops Research 109: 24-33.
- Roderick, M., Florencia, G.R., Rodriguez, G.D.P., Lampayan, R.M., and Bouman, B.A.M., 2011. Impact of the alternate wetting and drying (AWD) water-saving irrigation technique: Evidence from rice producers in the Philippines. Food Policy 36(2): 280-288.
- Sedaghat, N., Pirdashti, H., Asadi, R., and Mousavi-Taghani, Y., 2015. Effect of different irrigation methods on rice water productivity. Journal of Water Research in Agriculture 28(1): 1-9.
- Singh, Y.P., and Misra, J.P., 1974. Evaluation of yield and yield component of rice (*Oryza sativa* L.) in deferent irrigation management. Indian Journal of Agronomy 19: 60-63.
- Sorte, N.V., Deolate, R.D., Shastri, N.R., Kukade, N.N., and Bhute, M.G., 1992. Effect of short term water stress on yield and yield attributes in upland paddy cultivars. Journal of Soils and Crops 2: 11-16.
- Tabbal, D.F., Bouman, B.A.M., Bhuiyan, S.I., Sibayan, E.B., and Sattar, M.A., 2002. On-Farm strategies for reducing water input in irrigated rice: Case studies in the Philippines. Agricultural Water Management 56(2): 93-112.
- Tarahomi, G., Lahuti, M., and Abasi, F., 2010. Effects of drought stress on changes in soluble carbohydrates, chlorophyll and potassium in *Salvia leriifolia* Benth. Journal of Biological Sciences 3: 1-7.
- Tuong, T.P., and Bhuiyan, S.I., 1999. Increasing water-use efficiency in rice production: Farm level perspectives. Agricultural Water Management 40(1): 117-122.
- Tuong, T.P., and Bouman, B.A.M., 2003. Rice production in water-scarce environments. In: J.W. Kijne et al. (Eds.) Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement, Issue 1 of Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series. CABI Publishing. Cambridge, USA, p. 53-67.
- Ucan, K., Killi, F., Gencoglan, C., and Merdun, H., 2007. Effect of irrigation frequency and amount on water use efficiency and yield of sesame (*Sesame indicum* L.) under field conditions. Field Crops Research 101: 249-258.
- Yambo, E.B., and Ingram, K.T., 1988. Drought stress index for rice. Philippines, Journal of Crop Science 13: 150-111.
- Yordanova, R., and Popova, L., 2007. Effect of exogenous treatment with salicylic acid on photosynthetic activity and antioxidant capacity of chilled wheat plants. General and Applied Plant Physiology 33 (3-4): 155-170.

- Yoshida, S., 1981. Fundamentals of rice crop science. Los Banos, Philippine International Rice Research Institute Press.
- Zakaria, S., Matsuda, T., Tajima, S., and Nitta, Y., 2002. Effect of high temperature at ripening stage reserve accumulation in seed in some rice cultivars. *Plant Production Science* 5: 160-168.
- Zhang, P., Feng, B., Wang, P., Dai, H., Song, H., GAO, X., GAO, J., Chen, J., and Chai, Y., 2012. Leaf senescence and activities of antioxidant enzymes in different broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.) cultivars under simulated drought condition. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 10(2): 438-444.
- Zhong, W.W., Liu, J.Q., Zhou, X.B., Chen, Y.H., and Bi, J.J., 2015. Row spacing and irrigation effect on radiation use efficiency of winter wheat. *Journal of Animal and Plant Science* 25(2): 448-455.
- Zhu, Q.S., Zhang, Z.J., Yang, J.C., and Cao, X.Z., 1997. Source-Sink characteristics related to the yield in inter subspecific hybrid rice. *Scientia Agricultura Sinica* 30: 52-59. (In Chinese with English Summary)



Effect of Rotational Irrigation on Physiological Growth Indexes and Water Use of Four Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivars in Gilan Province

H. Asghari Lalami¹, S.A. Valadabadi², M. Yazdani³, H. Zakrin² and M.A. Gholipour⁴

Submitted: 03-10-2018

Accepted: 27-09-2020

Asghari Lalami, H., Valadabadi, S.A., Yazdani, M., Zakrin, H., and Gholipour, M.A., 2021. Effect of rotational irrigation on physiological indexes growth and water use of four rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in Gilan province. Journal of Agroecology 12(4):595-612.

Introduction

Rice (*Oryza sativa* L.) as the second most important crop globally and provides 80% calorie and 5% protein requirement of people is Southeast Asia. After wheat, the rice is main food of the Iranian people. This plant is cultivated in 15 provinces of the country on an area of about 600,000 hectares. Up to 1961 rice production in Iran was able to answer the internal rice requirement but at present due to population increase and economic enhancement compared to previous decades, production is less than requirement amount so there are so much importing rice the moment. Water is most limiting factor for rice production in Iran. Among other crops, rice with consumption of 80% of Southeast Asia use the highest share of water. About 70% of share of 25% global regular water is consumed by agriculture and 25-30% of has been in use for rice production. Rice is a large water consumer and its yield quite depends on climate and thus deficit water as a consequence of it. The main tendency of the Iranian people is, to consume quality rice cultivars such as Hashemi, Sadri, Ali Kazemi, Sadri Domsiah. They have a long slender grain and a head rice recovery (HRR) of 60 to 63 percent, an intermediate amylose content (AC), aroma and elongation qualities. However water is the main limitation of rice cultivation in Iran and management of water supply, distribution and consumption along with proper yield, has a major role in the continuation of rice production in Iran. So selection of cultivars compatible with intermittent irrigation management and at the same time, relatively good quality and higher yield, increases Physical productivity of water and farmers incomes.

Materials and Methods

This experiment was conducted as split-plot based on complete block design with three replications in Rice Research Center in 2014 and 2015. The employed treatments consisted of five irrigation levels (permanent flood, and rotational by 5, 8, 10 and every 15 days) and four cultivars (Khazar, Gilane, Hashemi, and 8431) as main and sub-factors, respectively. After transplanting, for the first 15 days no irrigation was applied till fully established of plants. At raining situations, water level was determined before rainfall to prevent more water than was already determined as treatment. Main ground was two times ploughed. Transplanting was done on 15 April using transplants with 20-25 cm length and have 4 to 5 leaves. Before transferring the transplants, the transplanted ground was irrigated for easier pull out of transplants and no damage imposed to roots. Traits including leaf and stem dry weight, 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 measured at booting stage.

Results and Discussion

Study results showed that the interaction of irrigation and cultivar was significant ($p \leq 0.01$) for leaf and stem dry weight, LDW, TDW, and NAR. In addition, LAI, LWR were also significant ($p \leq 0.01$) for irrigation treatment. Daily irrigation resulted in highest yield and at no stress condition (daily irrigation) the cultivar 8431 and Hashemi showed the highest and lowest growth respectively. Under 5 and 8 days interval irrigation the cultivar 8431 showed that highest tolerance to water stress while Hashemi was the weakest ne. Under intensive

1 and 2- Ph.D. Student and Assistant 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: valadabadi97@gmail.com)

Doi:10.22067/jag.v12i4.75721

stress (irrigation levels of 10 and 15 days) Khazar showed the highest tolerance but Gilane showed the least tolerance. Therefore, knowledge of various cultivars response is quite vital for any management to achieve the highest yield at water-limited conditions.

Conclusion

This study showed that permanent flood water is the ideal condition for rice to produce the highest yield. As time interval of irrigation increased rice plants yield decreased. Under optimum condition, Hashemi showed the poorest cultivar while 8431 cultivar showed superior across all cultivars. Similar results obtained at irrigation intervals of 5 and 8 days.

Keywords: Food security, Sustainable yield, Water limitation



مقاله علمی - پژوهشی

تعیین خلأ عملکرد سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در استان گلستان

امیر دادرسی^۱، بنیامین ترابی^{۲*}، اصغر رحیمی^۳، افشین سلطانی^۴ و ابراهیم زینلی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۲۷

دادرسی، ا.، ترابی، ب.، رحیمی، ا.، سلطانی، ا.، وزینلی، ا.، ۱۳۹۹. تعیین خلأ عملکرد سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در استان گلستان. بوم شناسی کشاورزی ۱۲(۴): ۶۱۳-۶۳۳.

چکیده

تحلیل خلأ عملکرد یک روش کمی برای افزایش احتمالی ظرفیت تولید گیاهان زراعی در یک ناحیه مشخص می باشد و یکی از مهم ترین بخش های طراحی راهبردهای تأمین غذا در مقیاس منطقه ای، ملی و جهانی است. در این راستا، با استفاده از مدل شبیه سازی SSM-iCrop2 مقدار عملکرد پتانسیل سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) برآورد شد و سپس با استفاده از نرم افزار GIS و به کمک دو روش گیگا و درون یابی مقادیر عملکرد پتانسیل، عملکرد واقعی، خلأ عملکرد برای استان گلستان محاسبه گردید. نتایج نشان داد که عملکرد واقعی استان گلستان (میانگین ۱۰ ساله مورد بررسی) براساس گزارش جهاد کشاورزی معادل ۲۲ تن در هکتار می باشد. همچنین عملکرد واقعی محاسبه شده براساس روش گیگا معادل ۲۰ تن در هکتار و براساس روش درون یابی نیز ۲۲ تن در هکتار به دست آمد. حداکثر عملکرد غده گزارش شده توسط کشاورزان ۵۵ تن بوده است که بر این اساس مقدار عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده ارزیابی گردید. در روش گیگا ۵۲ تن در هکتار و در روش درون یابی ۴۲ تن در هکتار به دست آمد. که این امر نشان از دقت بالای روش گیگا در تخمین عملکرد پتانسیل دارد. مقدار خلأ عملکرد و عملکرد نسبی مشاهده شده برابر با ۳۳ تن در هکتار و ۴۰ درصد، برای روش گیگا معادل ۳۳ تن در هکتار و ۳۸ درصد و در روش درون یابی برابر با ۲۰ تن در هکتار و ۵۲ درصد به دست آمد. با مقایسه دو روش درون یابی و گیگا، می توان نتیجه گرفت هر دو روش، تخمین نسبتاً خوبی از مقدار عملکرد واقعی داشتند، ولی روش گیگا عملکرد پتانسیل را بهتر از روش درون یابی پیش بینی کرد. براساس داده های مورد نیاز اجرای مدل در سطح ملی، قابلیت مقایسه نتایج با تحقیقات صورت گرفته در اقلیم های مشابه در سراسر دنیا، تخمین عملکرد پتانسیل براساس مناطق عمده کاشت محصولات، روش گیگا به عنوان روش برتر می تواند برای تخمین خلأ عملکرد در سطح کشور و برای سایر محصولات نیز مورد استفاده قرار گیرد.

واژه های کلیدی: امنیت غذایی، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، عملکرد پتانسیل

مقدمه

تحلیل خلأ عملکرد^۵ یک روش کمی برای افزایش احتمالی ظرفیت تولید گیاهان زراعی در یک ناحیه مشخص می باشد و یکی از مهم ترین بخش های طراحی راهبردهای تأمین غذا در مقیاس منطقه ای، ملی و جهانی است (Van Wart et al., 2013). در کشورهای در حال توسعه، به دلیل عدم توانایی کنترل عوامل محدود کننده، دستیابی به عملکرد پتانسیل برای یک محصول خاص امکان پذیر نمی باشد. یکی از مشکلات اساسی تولید گیاهان زراعی در کشور ما نیز اختلاف بین عملکرد واقعی کشاورزان و عملکرد قابل حصول (خلأ عملکرد)

- ۱- دانش آموخته دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، ایران.
- ۲- دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
- ۳- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، ایران.
- ۴- استاد، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

(*)- نویسنده مسئول: (Email: ben_torabi@yahoo.com
Doi: 10.22067/jag.v12i4.76734

است. تعیین میزان خلأ عملکرد جهت شناسایی عوامل محدودکننده عملکرد ضروری می‌باشد. از اولین تحقیقات صورت گرفته در ایران در خصوص خلأ عملکرد می‌توان به تحقیق سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2000) در زمینه تجزیه و تحلیل محدودیت‌های تولید گندم (*Triticum aestivum*) در استان گلستان اشاره کرد. در سال‌های اخیر به‌علت نگرانی‌های به‌وجود آمده در مورد مباحث امنیت غذایی، مطالعات در این زمینه در سطح جهان (Van Ittersum et al., 2015; Lobel et al., 2009; Wang et al., 2015; Soltani et al., 2009; Hajjarpoor et al., 2016; Torabi et al., 2011; Soltani et al., 2016) رو به افزایش بوده است. در این مطالعات با استفاده از روش‌های مناسب، میزان خلأ عملکرد و دلایل آن برآورد شده‌اند.

پروتکل گیگا یکی از روش‌های تعیین میزان خلأ عملکرد است که اخیراً استفاده از آن در بین محققان رو به افزایش بوده است (Van Ittersum et al., 2013). این پروتکل یک روش پایین به بالا است که برای برآورد خلأ عملکرد ملی از تقسیم‌بندی‌های اقلیمی استفاده می‌کند (Hochman et al., 2016). تاکنون مطالعات متعددی با استفاده از این پروتکل در کشورهای استرالیا، هند، چین، رومانی، برزیل، آرژانتین، اردن، سوئد و بیشتر کشورهای آفریقایی و اروپایی روی گیاهان گندم (*Triticum aestivum*)، جو (*Hordeum vulgare*)، ذرت (*Zea mays*)، سویا (*Glycine max*)، برنج (*Oryza sativa*)، نیشکر (*Saccharum officinarum*)، سورگوم (*Sorghum bicolor*)، لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) و کلزا (*Brassica napus*) انجام شده است (http://www.yieldgap.org/web/guest/yieldgaps). به‌عنوان مثال، گویت و همکاران (Gobbett et al., 2017) گزارش نمودند که اراضی گندم دیم در استرالیا در شش منطقه اقلیمی کلیدی قرار دارد. آن‌ها ۲۲ ایستگاه مرجع در این اراضی انتخاب کرده و با استفاده از مدل APSIM عملکرد پتانسیل آب محدود (برای سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰) را محاسبه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در سطح ملی مقدار خلأ عملکرد حدود دو تن در هکتار و عملکرد نسبی (عملکرد واقعی تقسیم بر عملکرد پتانسیل ضرب در ۱۰۰) حدود ۴۷ درصد می‌باشد. زو و همکاران (Zu et al., 2018) برای بررسی خلأ عملکرد نیشکر در چین، نیز از روش گیگا^۱ استفاده کرده‌اند.

روش درون‌یابی یکی دیگر از روش‌های برآورد خلأ عملکرد می‌باشد (Kazemi, 2017). در این روش براساس اطلاعات هواشناسی، اطلاعات خاک و نحوه مدیریت مزارع میزان عملکرد پتانسیل توسط مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی برآورد شده و سپس براساس یکی از روش‌های درون‌یابی ($Kriging$, $Co-Kriging$, IDW^2 , LPI^3) در نرم‌افزار ArcGIS می‌توان عملکرد را در تمام نقاط منطقه مورد مطالعه مشخص نمود (Kazemi, 2017). با استفاده از این روش مقادیری و همکاران (Meghdadi et al., 2014) پتانسیل و خلأ عملکرد نخود دیم در استان زنجان را مورد بررسی قرار دادند. در تحقیق آن‌ها عملکرد پتانسیل نخود در شرایط دیم استان زنجان با استفاده از مدل SSM برآورد شد. با توجه به میانگین عملکرد واقعی کشاورزان (میانگین سه سال زراعی ۱۳۸۷-۸۸ تا ۱۳۸۹-۹۰)، خلأ عملکرد مناطق مختلف استان به طور میانگین ۴۳ درصد تخمین زده شد که این میزان خلأ عملکرد برابر ۳۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. در مطالعه‌ای دیگر، احمدی علی‌پور و همکاران (Ahmadi Alipour et al., 2018) به پهنه‌بندی استان گلستان از نظر توان و خلأ تولید گندم با استفاده از مدل شبیه‌سازی SSM-Wheat پرداختند و گزارش نمودند که تولید پتانسیل گندم در شرایط آبی و دیم در استان گلستان برابر با ۱/۳۵ و ۱/۱۱ میلیون تن (جمع ۲/۴۶۹ میلیون تن) می‌باشد. همچنین گزارش نمودند که شهرستان‌های آزادشهر، مینودشت و رامیان به‌ترتیب با ۵۸۳۰، ۵۴۹۰ و ۵۴۷۰ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین خلأ عملکرد در کشت گندم آبی هستند و شهرستان‌های بندرترکمن، مراوه‌تپه و گرگان به‌ترتیب با خلأ عملکرد ۱۴۱۰، ۲۷۶۰ و ۳۵۸۰ کیلوگرم در هکتار دارای رتبه‌های آخر خلأ عملکرد در شرایط آبی می‌باشند.

سیب‌زمینی نقش مهمی در تغذیه و سبد غذایی جهان ایفا می‌کند و بعد از گندم، برنج و ذرت بیشترین سهم را در تولید محصولات غذایی دارد (FAO, 2014). از این رو، بررسی میزان خلأ عملکرد این محصول استراتژیک ضروری به نظر می‌رسد. در مورد برآورد خلأ عملکرد سیب‌زمینی در کشور مطالعاتی در سطح شهرستانی و استانی صورت گرفته است (Bagheri, 2016; Jalali & Jafari, 2018)، ولی در در مناطق اصلی کشت این محصول سطح ملی مطالعه‌ای جهت برآورد خلأ عملکرد صورت نگرفته است. بنابراین، تحقیق حاضر

2- Inverse Distance Weighting
3- Local Polynomial Interpolation

1- (GYGA) Global Yield Gap Atlas

به‌منظور: ۱) معرفی دو روش اطلس جهانی خلأ عملکرد موسوم به گیگا (GYGA) و روش درون‌یابی با نرم‌افزار ArcGIG، و ۲) انتخاب روش برتر جهت برآورد خلأ عملکرد سیب‌زمینی در سطح ملی انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در استان گلستان، واقع در شمال شرقی ایران، انجام شد. در استان گلستان، سالانه به‌طور متوسط ۶۳۴۰ هکتار از اراضی زراعی با ظرفیت تولید ۱۳۸ هزار تن محصول به کشت سیب‌زمینی اختصاص می‌یابد. در این بین شهرستان گرگان با ۵۱۱۲ هکتار بیشترین سطح زیرکشت سیب‌زمینی را دارد.

معرفی مدل مورد استفاده

برای تخمین عملکرد پتانسیل سیب‌زمینی از مدل شبیه‌سازی SSM-iCrop2 استفاده شد (Soltani et al., 2013). این مدل به‌گونه‌ای طراحی شده است که قابلیت استفاده برای تمامی گیاهان زراعی و باغی را دارد، به‌شرطی که برای مناطق مورد مطالعه، پارامتریابی و ارزیابی صورت گرفته باشد. نتایج پارامتریابی و ارزیابی مدل سیب‌زمینی (SSM-iCrop2) به‌دست آمده در تحقیق حاضر براساس داده‌های تحقیقات سایر محققین (جدول ۱) حاکی از دقت قابل قبول مدل در پیش‌بینی عملکرد سیب‌زمینی می‌باشد (شکل ۱). مدل SSM-iCrop2 براساس آمار هواشناسی (دمای حداقل، دمای حداکثر، مقدار تابش و میزان بارندگی) و با استفاده از زیر مدل‌های مربوط به فنولوژی، تغییرات سطح برگ، تولید و توزیع ماده خشک و موازنه آب خاک، می‌تواند مراحل نمو فنولوژیک و عملکرد سیب‌زمینی را محاسبه کند. در این مدل، مراحل فنولوژی براساس مفهوم واحد دمایی و مقدار رطوبت خاک پیش‌بینی می‌شود (Soltani & Sinclair, 2011). مدل، مراحل سبز شدن، شروع مؤثر پیر شدن غده، پایان مؤثر پیر شدن غده، شروع پیر شدن برگ‌ها و رسیدگی را پیش‌بینی می‌کند (Soltani, 1999). برای محاسبه تغییرات سطح برگ از روشی که در مدل EPIC و ALMANAC به‌کار گرفته شده استفاده می‌شود (Kiniry et al, 1992; Williams et al, 1989). در این روش، فرض بر آن است که دما مهم‌ترین عامل محدودکننده گسترش سطح برگ است و گسترش سطح برگ به‌طور غیرمستقیم از طریق مرحله نمو نسبی (واحد دمایی تجمعی در هریک از مراحل رشد

نسبت به واحد دمایی تجمعی در کل فصل رشد) به دما ربط داده می‌شود. کسر دریافت نور در هر روز از شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی نور (K برای PAR) براساس قانون بیر-بوگر-لامبرت در مدل محاسبه می‌شود (Sinclair, 2006). در نهایت، تولید ماده خشک با روش ساده مبتنی بر کارایی استفاده از تشعشع (RUE^۱) پیش‌بینی می‌شود.

جمع‌آوری داده‌ها

برای این مطالعه ابتدا آمار بلندمدت روزانه ایستگاه‌های هواشناسی از طریق سازمان هواشناسی استان گلستان جمع‌آوری شد، این اطلاعات شامل دمای حداقل و حداکثر، میزان بارندگی و ساعت آفتابی به‌صورت روزانه بود. تشعشع دریافتی با استفاده از نرم‌افزار Weatherman و براساس ساعت آفتابی محاسبه گردید. اطلاعات مدیریت متداول برای تولید سیب‌زمینی از کاشت تا برداشت از طریق سازمان جهاد کشاورزی هر ۱۴ شهرستان استان گلستان جمع‌آوری گردید. اطلاعات خاک مورد نیاز برای اجرای مدل که در قالب جدول ۲ بیان شده است از منبع Koo & IFPRI-Harvest Choice (2013) Dimes تهیه شد (مقیاس نقشه مورد استفاده پنج دقیقه می‌باشد) (شکل ۲). نوع خاک هر ایستگاه در هر دو روش گیگا و درون‌یابی از طریق تعیین نوع کد خاک در نرم‌افزار GIS با توجه به‌میزان سطح زیرکشت قرار گرفته در هر نوع کد خاک درون محدوده ایستگاه هواشناسی مشخص شد.

محاسبه خلأ عملکرد به‌روش GYGA

پروتکل گیگا براساس گروه‌های اقلیمی-مشابه خلأ عملکرد را در سطوح پایین (منطقه‌ای) برآورد و به سطوح بالاتر (ملی) تعمیم می‌دهد. گیگا با استفاده از انتخاب مناطق اقلیمی کلیدی (CZs^۲)، تعیین مناطق اقلیمی برگزیده (DCZs^۳) و انتخاب ایستگاه‌های هواشناسی مرجع (RWS^۴) در مناطق اقلیمی برگزیده مقادیر خلأ عملکرد محصولات را برآورد می‌کند. با توجه به بافت خاک، اطلاعات مدیریتی و پارامترهای گیاه زراعی در محدوده بافر هر ایستگاه هواشناسی (محدوده‌ای به‌شعاع ۱۰۰ کیلومتر در هر ایستگاه

1- Radiation use efficiency

2-Climate zones

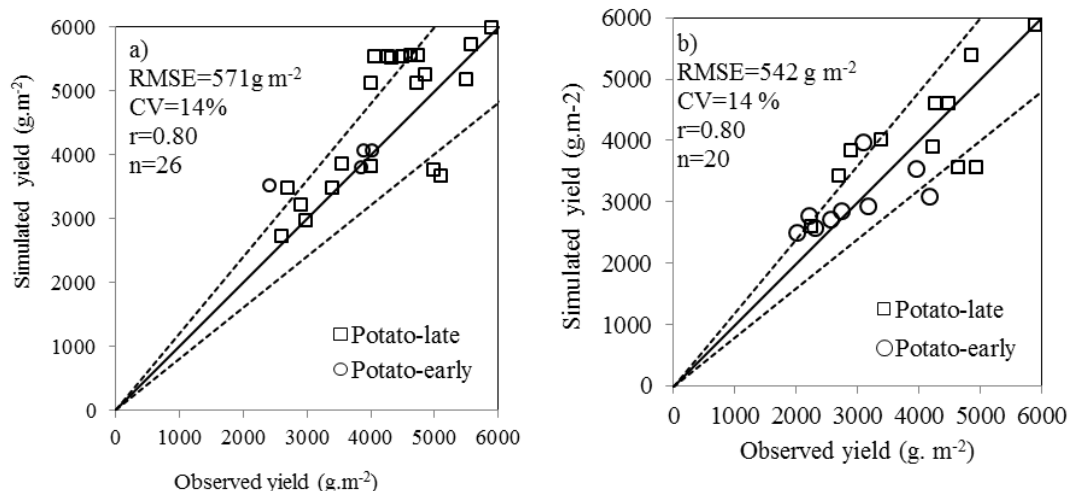
3-Designated climate zones

4- Reference weather station

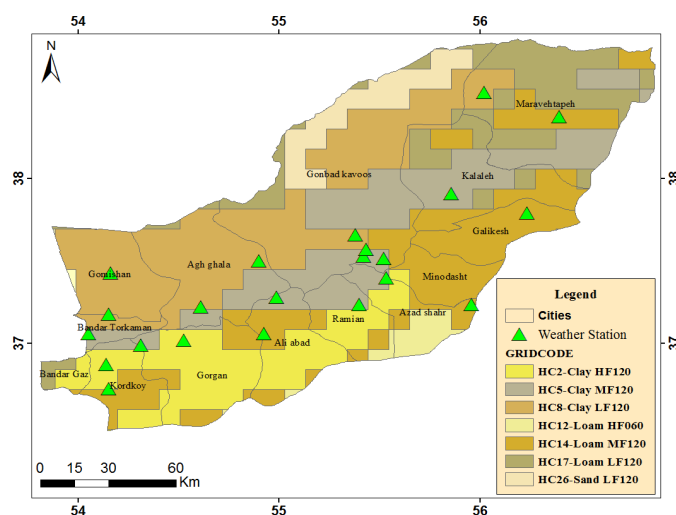
هواشناسی)، عملکرد پتانسیل با کمک مدل شبیه‌سازی SSM- iCrop2 و عملکرد واقعی نیز براساس اطلاعات قابل اعتماد محلی در محدوده هر بافر تعیین می‌شود.

جدول ۱- آزمایشات مورد استفاده برای پارامتریابی و ارزیابی مدل SSM-iCrop2
Table 1- Experiments used for parameterization and evaluation of SSM-iCrop model

استان، محل اجرای تحقیق و سال Province, location and year	تیمارها Treatments	منابع Reference
آزمایشات مورد استفاده برای پارامتریابی مدل Experiments used for parameterization model		
اردبیل، اردبیل، ۱۳۹۴ Ardabil, Ardabil, 2015	تراکم کشت Planting density	جم و همکاران (Jam et al., 2015)
اصفهان، اصفهان، ۱۳۹۰ Isfahan, Isfahan, 2011	آبیاری Irrigation	باغانی و همکاران (Baghani et al., 2012)
اصفهان، اصفهان، ۱۳۸۷ Isfahan, Isfahan, 2008	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	جلالی و صالحی (Jalali & Salehi, 2015)
کرمان و البرز، جیرفت و کرج، ۱۳۸۸- ۱۳۸۹ Kerman and Alborz, Jiroft and Karaj, 2009-2010	کنترل علف‌های هرز Weed control	ممنوعی و همکاران (Mamnoei et al., 2016)
اصفهان، اصفهان، ۱۳۸۹ Isfahan, Isfahan, 2010	ژنوتیپ Genotype	رنجبر و همکاران (Ranjbar et al., 2013)
چهارمحال و بختیاری، شهرکرد، ۱۳۹۱ Chaharmahal and Bakhtiari, Shahr-e-Kord, 2012-2013	آبیاری Irrigation	نادری و همکاران (Naderi et al., 2016)
چهارمحال و بختیاری، شهرکرد، ۱۳۹۲ Chaharmahal and Bakhtiari, Shahr-e-Kord, 2013	نسبت کود نیتروژن Nitrogen fertilizer rate	باقری و همکاران (Bagheri et al., 2016)
خراسان رضوی، مشهد، ۱۳۸۵ Razavi Khorasan, Mashhad, 2006	سیب‌زمینی، ذرت، و کشت مخلوط Potato, corn and intercropping	حسین پناهی و همکاران (Hossein-Panahi et al., 2009)
کرمان، کرمان، ۱۳۸۱ Kerman, Kerman, 2002	آبیاری Irrigation	صباح و غفاری‌نژاد (Sabbah & Ghaffari-Nejad, 2008)
کرمان، کرمان، ۱۳۹۲ Kerman, Kerman, 2013	تاریخ کاشت Sowing date	نیک‌زاد و همکاران (et al., 2015 Nikzad)
همدان، همدان، ۱۳۸۱ Hamadan, Hamadan, 2002	ژنوتیپ Genotype	پرویزی (Parvizi, 2008)
آزمایشات مورد استفاده برای ارزیابی مدل Experiments used for model evaluation		
مرکزی، اراک، ۱۳۸۸ Markazi, Arak, 2009	آبیاری Irrigation	مدنی و همکاران (Madani et al., 2010)
اردبیل، اردبیل، ۱۳۹۰ Ardabil, Ardabil, 2011	مدیریت علف‌های هرز Weed management	امینی و همکاران (Amini et al., 2015)
آذربایجان غربی، ارومیه، ۱۳۸۷ West Azerbaijan, Uremia, 2008	آبیاری Irrigation	مسعودی و همکاران (Masoudi et al., 2010)
آذربایجان شرقی، تبریز، ۱۳۸۵ East Azerbaijan, Tabriz, 2006	آبیاری و عمق کاشت Irrigation, and planting depth	نصراله نژاد اصل و صداقت (Nasrollahzadeh-Asl & Sedaqat, 2015)
چهارمحال و بختیاری، شهرکرد، ۱۳۹۲ Chaharmahal and Bakhtiari, Shahr-e-Kord, 2013	ژنوتیپ و آبیاری Genotype, and irrigation	حقیقی و همکاران (Haghighati et al., 2016)
کرمانشاه، کرمانشاه، ۱۳۸۸ Kermanshah, Kermanshah, 2009	کود Fertilizer	رستمی‌اجیرلو و همکاران (Rostami-Ajirloo et al., 2012)
همدان، همدان، ۱۳۷۸ Hamadan, Hamadan, 1999	نسبت کود نیتروژن Nitrogen fertilizer rate	یزدان‌دوست و همدانی (Yazdandoust & Hamedani, 2003)
همدان، همدان، ۱۳۸۱ Hamadan, Hamadan, 2002	گیاهان پوششی Cover crops	ابوطالبیان و مظاهری (Aboutalebian & Mazaheri, 2011)
همدان، همدان، ۱۳۸۰ Hamadan, Hamadan, 2011	گیاهان پوششی و سیستم کشت Cover crops, and planting system	احمدوند و حاجی‌نژاد (Ahmadvand & Haji-Nia, 2015)



شکل ۱- شبیه سازی عملکرد پتانسیل در مقابل عملکرد مشاهداتی (با رطوبت ۸۰ درصد) براساس نتایج پارامتریابی (a) و ارزیابی (b) مدل
 Fig. 1- Simulated versus observed fresh potato yield (80% MC) for parameterization (a) and evaluation (b) of the model
 حدود اطمینان ۲۰ درصد به صورت نقطه چین و خط ۱:۱ به صورت خط ممتد نشان داده شده است.
 ±20% discrepancy lines are indicated by dashed lines. The solid line is 1:1 line.



شکل ۲- نوع خاک در مناطق مختلف استان گلستان
 Fig. 2- Soil types in whole of region in Golestan province

و تغییرات دمایی استفاده می شود. نام هر پهنه متشکل از یک عدد چهار یا پنج رقمی است. در هر کلاس متغیر GDD با اعداد ۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ مشخص شده است. عدد صدگان (شاخص خشکی) با اعداد ۰، ۱۰۰، ۲۰۰ تا ۹۰۰ و کلاس های متغیر تغییرات دمایی با اعداد ۱، ۲، ۳ مشخص شده اند. در روش پهنه بندی به روش دامنه برون یابی اطلس جهانی خلأ عملکرد از این اعداد برای نام گذاری پهنه های اقلیمی استفاده می شود.

پس از تخمین عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی در محدوده هر ایستگاه هواشناسی، با توجه به سطح زیرکشت سیب زمینی در محدوده بافر هر ایستگاه هواشناسی عملکرد در سطح بالاتر (DCZ) با کمک میانگین وزنی محاسبه می شود و به همین ترتیب با استفاده از عملکرد تخمین زده شده در DCZ، عملکرد در مقیاس استان تعیین می شود. برای نام گذاری (یا کدگذاری) هر پهنه اقلیمی (CZ) از کلاس های تعریف شده برای متغیرهای درجه روز رشد (GDD)، شاخص خشکی

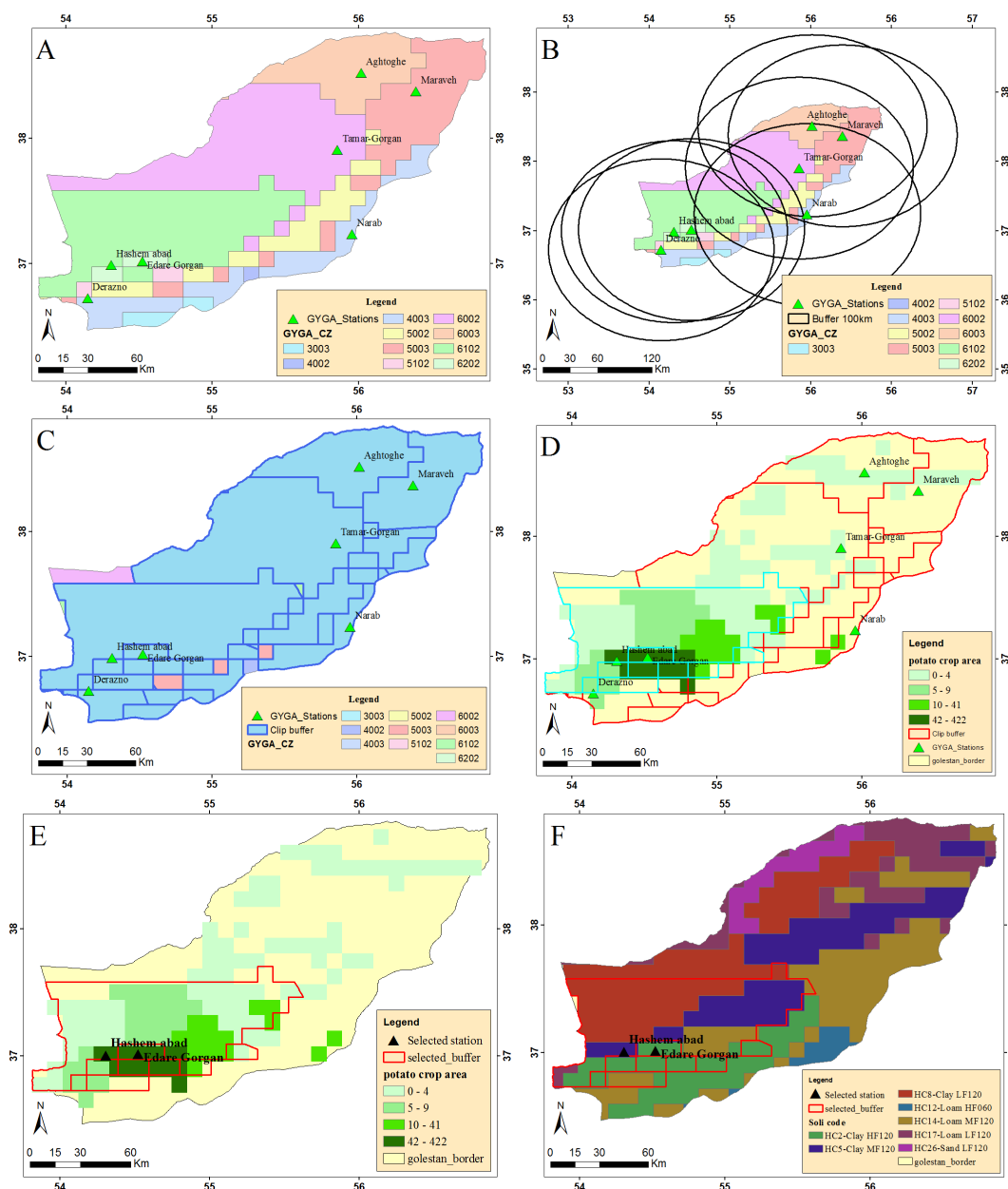
جدول ۲- خاک‌های مهم در مناطق اصلی کشت سیب‌زمینی در استان گلستان براساس IFPRI Harvest Choice (Koo & Dimes, 2013)
 Table 2- Major soils in the main potato production areas in Golestan province based on IFPRI Harvest Choice (Koo & Dimes, 2013)

کد خاک Soil code	کربن آلی خاک Soc (%)	عمق خاک SOLDEP (mm)	آلیبدو خاک SALB	شماره منحنی خاک CN	زهکشی DRAINF (m)	اشباع SAT (m)	ظرفیت زراعی DUL (m)	پژمردگی دائم LL (m)
کد ۲، رسی، حاصلخیزی بالا، عمق ۱۲۰ cm- HC2- Clay HF120	>1.2	1200	0.05	85	0.2	0.458	0.405	0.233
کد ۵، رسی، حاصلخیزی متوسط، عمق ۱۲۰ cm- HC5- Clay MF120	0.7-1.2	1200	0.05	85	0.2	0.458	0.405	0.233
کد ۸، رسی، حاصلخیزی کم، عمق ۱۲۰ cm- HC8- Clay LF120	0-0.7	1200	0.05	85	0.2	0.458	0.405	0.233
کد ۱۲، لومی، حاصلخیزی بالا، عمق ۶۰ cm- HC12- Loam HF060	>1.2	600	0.10	75	0.5	0.41	0.307	0.180
کد ۱۴، لومی، حاصلخیزی متوسط، عمق ۱۲۰ cm- HC14- Loam MF120	0.7-1.2	1200	0.10	75	0.5	0.41	0.307	0.180
کد ۱۷، لومی، حاصلخیزی کم، عمق ۱۲۰ cm- HC17- Loam LF120	0-0.7	1200	0.10	75	0.5	0.41	0.307	0.180
کد ۲۶، شنی، حاصلخیزی کم، عمق ۱۲۰ cm- HC26- Sand LF120	0-0.7	1200	0.15	65	0.75	0.365	0.169	0.073

را به خود اختصاص دادند (شکل ۳ e) و سپس نوع خاک داخل هر ایستگاه (هاشم‌آباد و اداره گرگان) مشخص شد که این امر نیز با توجه به درصد اراضی که داخل هر نوع خاک قرار داشتند، انتخاب شدند. ایستگاه اداره گرگان دارای یک نوع خاک غالب (بالای ۵۰ درصد) بودند که تنها همان خاک انتخاب شد، ولی برای ایستگاه هاشم‌آباد با توجه به پراکنش اراضی در سطح بافر دو نوع خاک پایین ۵۰ درصد و بالای ۱۰ درصد انتخاب شدند تا مدل برای این شرایط اجرا گردد (شکل ۳ f) (Van Wart et al., 2013).

پروتکل گیگا چند مرحله را تشریح می‌کند تا با کمک میانگین وزنی بتوان عملکرد را برای محدوده ایستگاه هواشناسی، منطقه اقلیمی و در نهایت، کل استان محاسبه کند (Van Bussel et al., 2015). مراحل اجرای پروتکل گیگا به‌روش زیر بود ۱- مدل برای هر ایستگاه هواشناسی و برای هر نوع خاک در یک دوره ۱۰ ساله اجرا شد تا عملکرد پتانسیل سالانه برای هر نوع خاک به‌دست آید. ۲- با توجه به مساحت اراضی هر نوع خاک در محدوده هر ایستگاه، با استفاده از میانگین وزنی عملکرد محدوده هر ایستگاه محاسبه شد. ۳- میانگین عملکرد ۱۰ ساله هر ایستگاه محاسبه گردید. ۴- عملکرد محدوده ایستگاه هواشناسی به اقلیم تعمیم داده شد.

برای اطلاعات بیشتر به سایت زیر مراجعه شود (<http://www.yieldgap.org/web/guest/cz-ted>). براساس این پروتکل از بین ۲۳ ایستگاه هواشناسی استان گلستان، ایستگاه‌هایی که دارای بالاترین سطح زیر کشت سیب‌زمینی در محدوده آن‌ها وجود داشت، انتخاب شدند (در هر اقلیم تنها یک ایستگاه) (شکل ۳ a). کد اقلیم‌های ۶۱۰۲ و ۶۲۰۲ به‌عنوان اقلیم‌های انتخابی (DCZ) در استان معرفی شدند که در مجموع، ۴۳۱۱ هکتار از اراضی سیب‌زمینی استان در این دو اقلیم قرار دارد. سپس محدوده هر ایستگاه براساس بافرهایی با شعاع ۱۰۰ کیلومتر مشخص گردید (شکل ۳ b) و سپس ایستگاه‌ها براساس اقلیمی که در آن واقع شده است، برش زده شد، همچنین در صورت وجود هم‌پوشانی با ایستگاه مجاور بخش‌های اضافی بافر برش زده می‌شود (شکل ۳ c) تا درصد اراضی که داخل هر بافر براساس سهم آن از اراضی کل استان واقع شده است، مشخص گردد (شکل ۳ d)، در مرحله بعد با توجه به درصد اراضی که داخل هر بافر از کل استان قرار دارد، انتخاب می‌شود که در این تحقیق ایستگاه هاشم‌آباد (۲۶۱۴ هکتار ۴۹ درصد اراضی سیب‌زمینی استان) و اداره گرگان (۱۶۹۷ هکتار معادل ۳۲ درصد اراضی سیب‌زمینی استان) دارای بالاترین درصد اراضی بین سایر ایستگاه‌ها بودند، کل اراضی سیب‌زمینی که در داخل بافرها قرار گرفته بود ۵۲۹۷ هکتار بود که در مجموع، این دو ایستگاه ۸۱ درصد اراضی کل استان



شکل ۳- مراحل انتخاب ایستگاه براساس اراضی داخل بافر و نوع خاک داخل بافر انتخابی (براساس پروتکل GYGA) مناطق اقلیمی و ایستگاه‌های انتخابی براساس کد اقلیم در استان، (B) بافرها با شعاع ۱۰۰ کیلومتر در اطراف ایستگاه هواشناسی مرجع، (C) بافرهای برش زده شده براساس اقلیم، (D) اراضی سیب‌زمینی داخل بافرها، (E) بافرهای انتخابی که براساس پوشش اراضی سیب‌زمینی از بیشتر به کمتر انتخاب شده‌اند و (F) نوع خاک داخل بافرهای انتخابی

Fig. 3- The stage of selection reference weather station (RWS) buffer zone and soil types in buffers based on potato crop area (According to GYGA protocol). A) GYGA CZs regions and RWS selected based on climate zone, B) Buffer zones with a 100 km radius surrounding a weather station, C) Clipped buffer based on climate zone, D) Potato harvested area into buffer zone, E) Reference weather station (RWS) buffer zones which selected from the buffer zones according to their covered potato harvest areas from big to small, and F) Soil types into selected RWS

در اقلیمی که دو ایستگاه وجود داشت با توجه به مساحت اراضی که هر یک از ایستگاه‌ها پوشش داده بودند، میانگین وزنی گرفته شد و عملکرد برای آن اقلیم محاسبه گردید. ۵- در نهایت، براساس اینکه چه مساحتی از اراضی زراعی در هر اقلیم موجود است، با استفاده از میانگین وزنی، عملکرد استان محاسبه شد.

برآورد خلأ عملکرد به‌روش درون‌یابی

در این مطالعه، اطلاعات هواشناسی ۱۰ ساله (از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ میلادی) ۲۳ ایستگاه از سازمان آب منطقه‌ای و سازمان هواشناسی استان گلستان تهیه و کنترل کیفی گردید. نحوه‌گزینش ایستگاه‌های هواشناسی به‌گونه‌ای بود که این ایستگاه‌ها بتوانند یک پوشش سراسری با توزیع مناسب در محدوده‌ی اراضی آبی ۱۴ شهرستان استان گلستان ایجاد کنند تا بیشترین دقت در فرآیند مدل‌سازی و درون‌یابی فراهم شود. در مرحله بعد، با توجه به آمار هواشناسی ۱۰ ساله ایستگاه‌های منتخب و اطلاعات مدیریت مزارع در سطح هر ایستگاه هواشناسی، عملکرد پتانسیل با مدل SSM-iCrop2 تخمین زده شد. در این حالت فرض شد گیاه زراعی از نظر آب و عناصر غذایی دچار محدودیت نبوده و این عوامل رشد گیاه را محدود نمی‌سازند. پس از محاسبه عملکرد پتانسیل در سطح هر ایستگاه هواشناسی، درون‌یابی برای کل اراضی آبی استان با چهار روش Kriging, Co-Kriging, IDW^۱, LPI^۲ براساس ۸۰ درصد داده‌های عملکرد پتانسیل انجام شد و از ۲۰ درصد داده‌های عملکرد پتانسیل باقی مانده برای ارزیابی استفاده گردید. همچنین، پس از تهیه عملکردهای واقعی هر شهرستان از طریق گزارش وزارت جهاد کشاورزی، از همین شیوه درون‌یابی برای تخمین عملکردهای واقعی کل اراضی آبی استان استفاده شد. از بین روش‌های استفاده شده روشی که کمترین مقدار RMSE را داشت، برای انجام درون‌یابی برای عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی انتخاب شد. برای عملکرد پتانسیل روش Kriging با مقدار RMSE برابر ۱۵/۳۴ و برای عملکرد واقعی روش IDW با مقدار RMSE برابر ۳/۷ روش‌های مناسبی برای درون‌یابی بودند. جهت محاسبه خلأ عملکرد نیز نقشه‌های به‌دست آمده برای عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی در نرم‌افزار ArcGIS با استفاده از تابع Raster Calculate نقشه رستری

عملکرد واقعی از نقشه عملکرد پتانسیل کم شد تا مقادیر خلأ عملکرد محاسبه گردد. همچنین، با استفاده از نقشه‌های مذکور میانگین عملکرد پتانسیل، عملکرد واقعی و خلأ عملکرد برای هر شهرستان با توجه به میانگین‌گیری ایستگاه‌های موجود به‌دست آمد.

جهت پهنه‌بندی و ترسیم نقشه‌ها از نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰٫۲ استفاده شد. خلأ تولید از اختلاف میزان تولید پتانسیل هر شهرستان و میانگین تولید واقعی هر شهرستان به‌دست آمد. برای محاسبه خلأ تولید، ابتدا میانگین سطح زیرکشت هر شهرستان برحسب هکتار در میانگین عملکرد پتانسیل هر شهرستان ضرب شد و تولید پتانسیل برای هر شهرستان برحسب تن به‌دست آمد. سپس از اختلاف تولید پتانسیل هر شهرستان و میانگین تولید واقعی در سال‌های اخیر خلأ تولید محاسبه گردید.

تشعشع دریافتی با استفاده از نرم‌افزار Weatherman و براساس ساعت آفتابی محاسبه گردید، رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel و ترسیم نقشه‌های با نرم‌افزار ArcGIS صورت گرفت.

نتایج و بحث

تغییرات سطح زیرکشت، عملکرد و تولید واقعی

جدول ۳ سطح زیرکشت، عملکرد واقعی، تولید و سهم هر شهرستان از سطح زیرکشت محصول سیب‌زمینی نسبت به کل استان را برای میانگین دوره ۱۰ ساله را (طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳) نشان می‌دهد. مقادیر استانی سطح زیرکشت، عملکرد واقعی و تولید سیب‌زمینی به‌ترتیب برابر با ۶۳۴۰ هکتار، ۲۲ تن در هکتار و ۱۳۸۴۱۳ تن گزارش شده است. همچنین شهرستان‌های گرگان، آزادشهر و علی‌آباد بیشترین سطح زیرکشت محصول سیب‌زمینی استان را به خود اختصاص دادند. سطح زیرکشت، عملکرد واقعی، تولید و سهم شهرستان از کل اراضی سیب‌زمینی استان برای گرگان به‌ترتیب برابر با ۵۱۱۲/۸ هکتار، ۲۱/۵ تن در هکتار، ۱۰۸۴۹۹ تن و ۸۰/۶۴ درصد، برای آزادشهر برابر با ۴۴۶/۴ هکتار، ۲۹/۷ تن در هکتار، ۱۲۸۷۱ تن و ۷/۰۴ درصد و برای علی‌آباد ۳۴۹/۵ هکتار، ۲۳/۸ تن در هکتار، ۸۲۰۴ و ۵/۵۱ درصد گزارش شده است (جدول ۳). این در حالی است که در شهرستان‌های بندرگز، بندرترکمن، آق‌قلا، رامیان، کردکوی، کلالة و گنبد کاووس کل سطح زیرکشت محصول سیب‌زمینی برابر با ۲۶۷ هکتار گزارش شده است که در

1- Inverse distance weighting

2- Local polynomial interpolation

مقایسه با شهرستان‌های گرگان، آزادشهر و علی‌آباد بسیار ناچیز می‌باشد. در شهرستان‌های مراوه‌تپه، مینودشت، گالیکش و گمیشان

جدول ۳- سطح زیرکشت، عملکرد واقعی، تولید و سهم سطح زیرکشت محصول سیب‌زمینی هر شهرستان نسبت به کل اراضی سیب‌زمینی کاری استان (%) (میانگین سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳)

Table 3- Cultivated area, actual yield, production and, Share of city potato cultivated area to province (%) (average 2001-2015 years)

شهرستان City	سطح زیرکشت Cultivated area (ha)	عملکرد واقعی Actual yield (t.ha ⁻¹)	تولید Production (t)	سهم اراضی سیب‌زمینی شهرستان نسبت به استان Share of city potato cultivated area to province (%)
آزادشهر Azad-Shahr	446.4	29.7	12871	7.04
آق‌قلا Aghghala	98.5	22.8	2156	1.55
بندرگز Bandar-Gaz	5.6	19.3	103	0.09
بندر ترکمن Bandar-Torkaman	2.1	26.8	56	0.03
رامیان Ramian	124.1	21.2	2961	1.96
علی‌آباد Ali-Abad	349.5	23.8	8204	5.51
کردکوی Kordkoy	164.4	18.2	2878	2.59
کلاله Kalaleh	5.2	16.6	87	0.08
مراوه‌تپه Maravehtapeh	0	0	0	0.00
مینودشت Minodasht	0	0	0	0.00
گالیکش Galikesh	0	0	0	0.00
گرگان Gorgan	5112.8	21.5	108499	80.64
گمیشان Gomishan	0	0	0	0.00
گنبدکاوس Gonbadkavoos	31.9	20.0	597	0.50
استان گلستان Golestan province	6340	22	138413	100

برآورد عملکرد واقعی، عملکرد پتانسیل و خلأ عملکرد

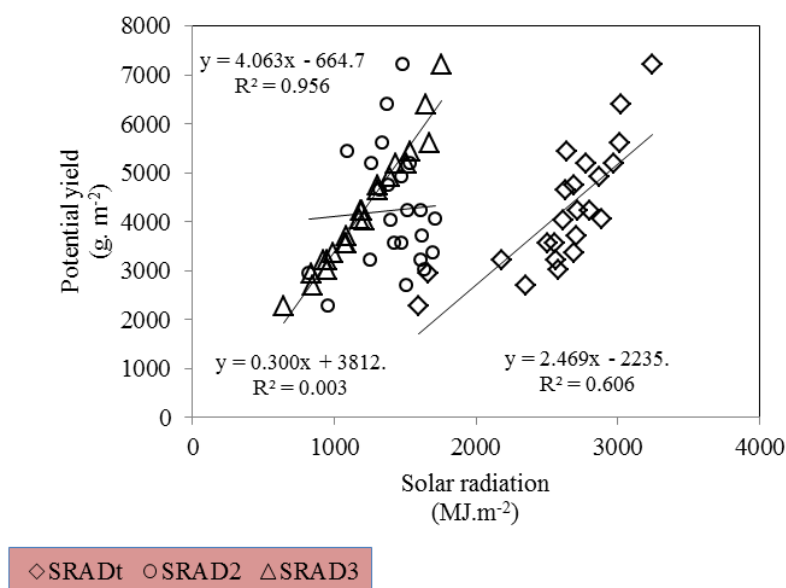
روش درونیابی

نتایج حاصل از اجرای مدل در راستای برآورد عملکرد پتانسیل براساس داده‌های هواشناسی روزانه ۲۳ ایستگاه هواشناسی در جدول ۴ نشان داده شده است. بیشتر ایستگاه‌های هواشناسی در کد اقلیم-های بالای ۵۰۰۳ بودند (کد اقلیم‌های ۵۱۰۲، ۶۰۰۲، ۶۰۰۳، ۶۱۰۲ و

۶۲۰۲) به‌جز ایستگاه درازنو و نراب که در اقلیم ۴۰۰۳ و ایستگاه پارک گلستان که در اقلیم ۵۰۰۳ قرار گرفته است. براساس کد اقلیم-هایی که ایستگاه‌های هواشناسی در آن واقع شده‌اند، تاریخ کاشت عرف منطقه برآورد و به مدل معرفی شد. در مناطق با کد اقلیم ۴۰۰۳ (ایستگاه‌های دازنو و نراب) به‌دلیل داشتن اقلیمی سردتر نسبت به کد اقلیم‌های بالای ۵۰۰۳ (تمامی ایستگاه‌های مورد استفاده در این

نشان داد با افزایش دریافت تشعشع در طول دوره رشد (در ایستگاه-های هواشناسی مختلف) و به‌خصوص زمان پر شدن غده‌ها میزان عملکرد نیز افزایش یافته است، به‌طوری‌که شیب خط رگرسیونی بین عملکرد پتانسیل و $SRAD_1$ و $SRAD_3$ برابر 0.243 و 0.235 گرم بر مگاژول به‌دست آمد و همچنین مقدار R^2 نیز به‌ترتیب برابر با 0.60 و 0.95 به‌دست آمد که بیانگر تأثیرگذاری میزان تشعشع دریافتی در زمان پر شدن غده بر عملکرد غده سیب‌زمینی است، ولی این مقدار برای عملکرد پتانسیل و $SRAD_2$ 0.01 بود که نشان‌دهنده آن است که تأثیر چندانی بر عملکرد غده ندارد، یعنی افزایش عملکرد پتانسیل ارتباط کمتری با دریافت تشعشع در زمان رشد رویشی داشته است. این امر می‌تواند به‌دلیل طولانی بودن طول دوره پر شدن غده باشد که تشعشع دریافتی بالاتری نسبت به سایر مراحل رشد سیب‌زمینی دارد. از روش درون‌یابی جهت برآورد خلأ عملکرد، احمدی‌علی‌پور و همکاران (Ahmadi Alipour et al., 2018) در استان گلستان روی محصول گندم و مقدادی و همکاران (Meghdadi et al., 2014) در استان زنجان روی نخود دیم استفاده نموده و دقت بالای این روش را گزارش نموده‌اند.

تحقیق به‌جز ایستگاه درازنو و نراب و پارک ملی گلستان) سیب‌زمینی را به‌صورت بهاره کشت و در اواسط شهریور و اوایل مهر برداشت می‌کنند. در کد اقلیم‌های گرم (کد اقلیم‌های بالای 50.3) سیب‌زمینی در آذر ماه کشت و در ماه‌های اردیبهشت و خرداد برداشت می‌شود. از بین ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه بالاترین عملکرد پتانسیل مربوط به ایستگاه هواشناسی نراب با میانگین $72/2$ تن در هکتار (به‌دلیل سرما دوست بودن سیب‌زمینی در تاریخ کاشت‌هایی که به‌صورت بهاره کشت می‌شوند، عملکرد بالاتری دارد) و کمترین عملکرد پتانسیل با میانگین $22/8$ تن در هکتار مربوط به ایستگاه هواشناسی بندرترکمن بود. مقدار عملکرد پتانسیل استان نیز 42 تن در هکتار و مقدار خلأ عملکرد 20 تن برآورد گردید (جدول ۷). به توجه به اینکه در زراعت آبی عامل تأثیرگذار در عملکرد پتانسیل میزان تشعشع دریافتی در مراحل مختلف رشد توسط گیاه می‌باشد، بنابراین رابطه بین عملکرد پتانسیل و میزان تشعشع دریافتی از کاشت تا برداشت ($SRAD_1$)، میزان تشعشع دریافتی از کاشت تا زمان شروع پر شدن غده‌ها ($SRAD_2$) و میزان تشعشع دریافتی از شروع پر شدن غده تا زمان برداشت ($SRAD_3$) مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴). نتایج



شکل ۴- رابطه بین عملکرد پتانسیل با تشعشع دریافتی کل دوره ($SRAD_1$)، تشعشع دریافتی از کاشت تا شروع رشد غده ($SRAD_2$) و تشعشع دریافتی از شروع رشد غده تا رسیدگی برداشت ($SRAD_3$)

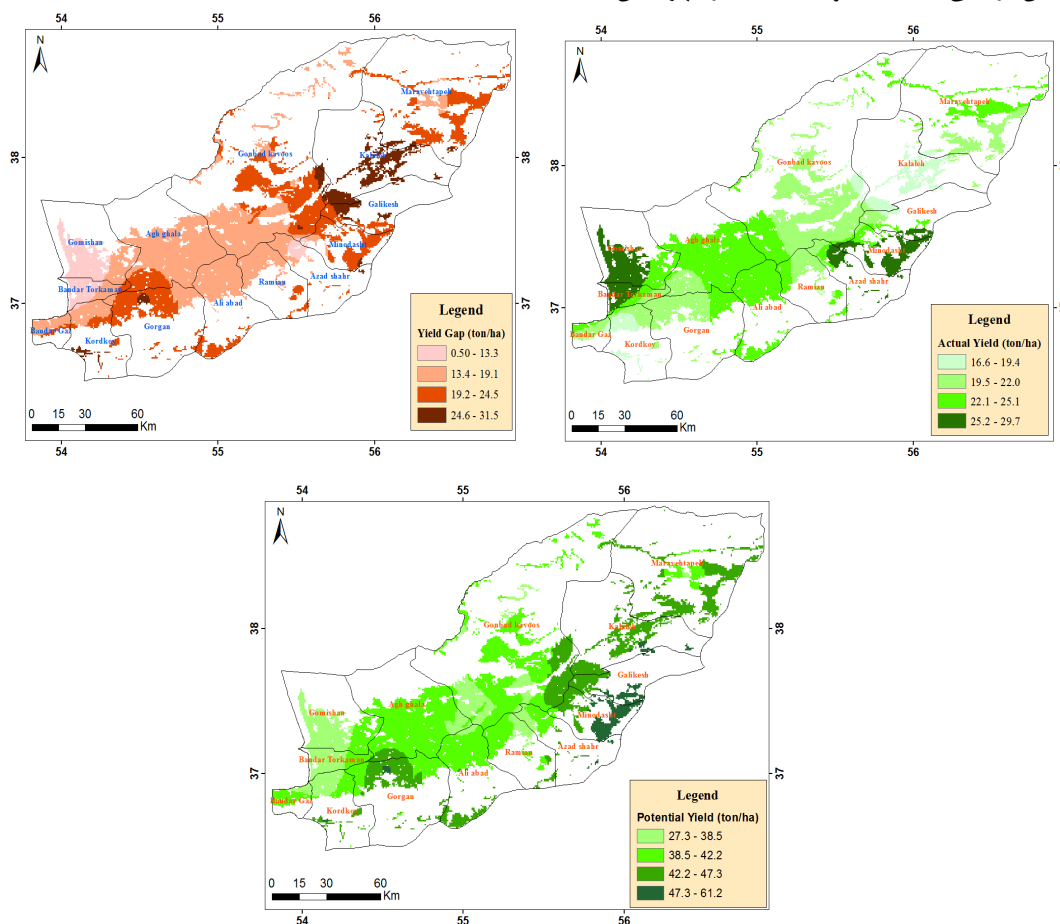
Fig. 4- The relationship between potential yield and total solar radiation ($SRAD_1$) and radiation received from sowing to initial tuber growth ($SRAD_2$) and radiation received from the onset of tuber growth to harvesting ($SRAD_3$)

جدول ۴- اطلاعات مربوط به تاریخ کاشت، روز تا رسیدگی، عملکرد پتانسیل و کد اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی
Table 4- The information of sowing date, day to harvest, and potential yield and GYGA CZs cods of weather stations.

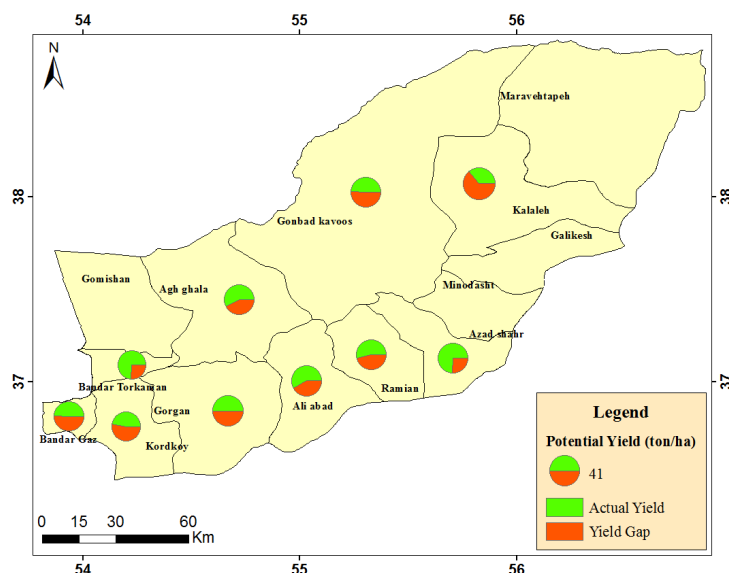
ایستگاه‌ها Stations	روز کشت Sowing day (day from 1Jan)	روز تا برداشت Day to harvest	عملکرد پتانسیل Potential yield (t.ha ⁻¹)	کد اقلیم Climate code	تشعشع دریافتی در کل دوره رشد محصول Cumulative solar radiation from sowing to physiological maturity (MJ.m ⁻²)	تشعشع دریافتی از کاشت تا شروع پر شدن غده Cumulative solar radiation from sowing to beginning tuber filling (MJ.m ⁻²)	تشعشع دریافتی از شروع غده‌دهی تا برداشت Cumulative solar radiation from beginning tuber filling to harvest time (MJ.m ⁻²)
آق توقه Aghtogheh	317	194	40.6	6102	2890	1712	1178
آق قلا Aghghala	312	199	52.0	6003	2970	1535	1435
آراز کوثر Arazkoose	338	173	42.3	6102	2715	1522	1193
بهلک داشی BehlakeDashli	325	186	37.1	6102	2705	1620	1085
بندر ترکمن B-Turkman	338	173	22.8	6102	1596	956	640
دراز نو Drazno	126	164	64.0	4003	3020	1373	1648
اداره گرگان Edare-Gorgan	342	196	56.2	6202	3014	1338	1675
فاضل آباد Fazelabad	337	173	40.3	6102	2612	1402	1210
قپان Ghapan	325	186	49.2	6102	2870	1475	1395
غفار حاجی Ghafar Haji	328	183	33.6	6102	2691	1700	991
گنبد Gonbad	337	173	32.1	6102	2180	1254	926
هاشم آباد Hshemabad	334	206	51.8	6102	2776	1264	1512
کارکنده Karkandeh	328	182	32.1	6102	2569	1616	953
کردکوی Kordkooy	335	176	26.9	6102	2356	1509	847
مراوه تپه Marevehtapeh	323	188	29.5	5003	1663	825	838
مزرعه نمونه Mazraenemoneh	341	170	35.7	6102	2560	1481	1080
مینودشت Minodasht	340	162	35.6	6002	2504	1421	1083
نراب Narab	107	143	72.2	4003	3243	1486	1757
پارک گلستان Park Golestan	101	131	54.4	5003	2638	1098	1540
رامیان Ramian	332	179	30.1	6102	2585	1636	950
سد سبلان Sad Sailan	331	180	42.2	6102	2803	1612	1191
صوفی شیخ Sofishaikh	332	175	46.4	6102	2632	1322	1310
تمر tamer	327	183	47.6	6002	2695	1387	1308

گالیکش، مینودشت و گمیشان که پتانسیل بالایی جهت تولید سیب‌زمینی وجود دارد (شکل ۶)، این محصول کشت نمی‌شود (جدول ۳ و شکل ۶). از دلایل عدم کاشت سیب‌زمینی در این شهرستان‌ها می‌تواند عدم دسترسی به تجهیزات کاشت، داشت و برداشت، عدم آگاهی کشاورزان از پتانسیل تولید سیب‌زمینی در منطقه، و تجربه کم کشاورزان در زمینه کاشت این محصول اشاره نمود. براساس شکل ۶، بیشترین مقدار خلأ عملکرد مربوط به شهرستان کلاله می‌باشد که با وجود پتانسیل عملکرد بالا، مقدار عملکرد واقعی بسیار کمی دارد. همچنین کمترین خلأ عملکرد مربوط به شهرستان‌های آزادشهر و بندرتکمن می‌باشد.

شکل ۵ نقشه توزیع فضایی عملکرد پتانسیل، عملکرد واقعی و خلأ عملکرد واقعی و خلأ عملکرد به‌دست آمده به‌روش درون‌یابی برای اراضی آبی در سطح استان و در شهرستان‌های مختلف را نشان می‌دهد. براساس این نتایج، بالاترین عملکرد پتانسیل در شهرستان‌های گالیکش و مینودشت مشاهده شده است و کمترین میزان نیز مربوط به شهرستان بندرتکمن و گمیشان می‌باشد. دلیل عملکرد پتانسیل بالا در شهرستان‌های مذکور، دریافت تشعشع بیشتر در مراحل مختلف رشدی گیاه سیب‌زمینی می‌باشد. همچنین بالاترین عملکرد واقعی در شهرستان‌های مینودشت، گالیکش، بندرتکمن و گمیشان به‌دست آمد و کمترین میزان نیز مربوط به شهرستان کردکوی و کلاله است (شکل ۵). این در حالی است که با توجه به اینکه در شهرستان‌های



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی عملکرد پتانسیل، عملکرد واقعی و خلأ عملکرد سیب‌زمینی در استان گلستان
Fig. 5- The zoning maps of potential yield, actual yield and yield gap of potato in Golestan province



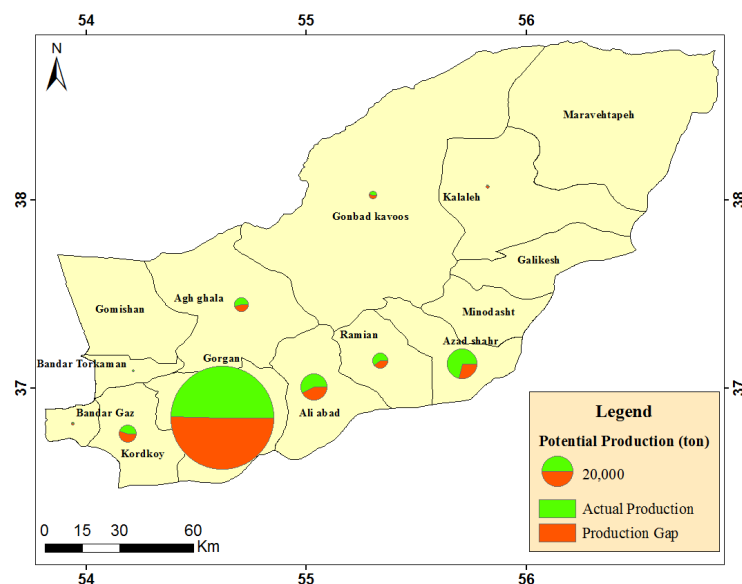
شکل ۶- نقشه عملکرد پتانسیل، عملکرد واقعی و خلأ عملکرد سیب‌زمینی در شهرستان‌های استان گلستان
Fig. 6- The maps of potential yield, actual yield and yield gap of potato in cities of Golestan province

خلأ تولید

نتایج مربوط به تولید پتانسیل، تولید واقعی و خلأ تولید سیب‌زمینی در شکل ۷ نشان داد که شهرستان‌های گرگان، آزادشهر، علی‌آباد، کردکوی، رامیان و آق‌قلا به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر تولید پتانسیل را دارا می‌باشند و در سایر شهرستان‌های استان، کشت سیب‌زمینی صورت نمی‌گیرد. همچنین کمترین مقدار خلأ تولید مربوط به شهرستان آزادشهر بود که این به‌دلیل تولید واقعی بالاتر در این شهرستان نسبت به شهرستان‌های دیگر بود. بیشترین میزان تولید واقعی سیب‌زمینی در شهرستان گرگان ۱۰۸ هزار تن می‌باشد، این در حالی است که پتانسیل تولید معادل ۲۱۸ هزار تن برآورد شده است که در صورت رفع خلأ عملکرد با سطح زیرکشت ثابت (۵۱۱۲ هکتار) می‌توان به ۱۷۵ هزار تن (معادل ۸۰ درصد تولید پتانسیل به‌عنوان تولید قابل حصول) دست یافت. نخستین گام جهت رفع خلأ تولید یک محصول تعیین مقدار خلأ عملکرد و نحوه توزیع آن می‌باشد (Hochman et al., 2016). از بین بردن فاصله بین عملکردی که در حال حاضر در مزارع به‌دست می‌آید و عملکردی که می‌تواند به‌وسیله‌ی استفاده از بهترین ارقام سازگار با محیط و بهترین روش‌های مدیریت آب، خاک و گیاه به‌دست آید، راهکار کلیدی جهت غلبه بر چالش تغذیه‌ای جمعیت در حال رشد جهان است (Gobbett et al., 2016).

روش گیگا (GYGA)

براساس روش گیگا تنها اقلیم‌های ۶۱۰۲ و ۶۲۰۲ در استان گلستان برای برآورد خلأ عملکرد محصول سیب‌زمینی انتخاب شدند. داخل اقلیم ۶۱۰۲ ایستگاه هواشناسی هاشم‌آباد و داخل اقلیم ۶۲۰۲ ایستگاه هواشناسی اداره گرگان قرار دارد. نتایج نشان داد که ایستگاه هاشم‌آباد با ۲۶۱۴ هکتار از اراضی سیب‌زمینی استان به‌عنوان ایستگاه مهم‌تر و ایستگاه اداره گرگان با سطح زیرکشت ۱۶۹۷ هکتار در رتبه دوم انتخاب شد. عملکرد واقعی هر دو ایستگاه انتخابی برابر ۲۰ تن در هکتار به‌دست آمد. همچنین عملکرد پتانسیل براساس اطلاعات هواشناسی، نوع خاک و مدیریت زراعی در این ایستگاه‌ها برآورد شدند. عملکرد پتانسیل و خلأ عملکرد ایستگاه هواشناسی هاشم‌آباد به‌ترتیب برابر با ۵۳ و ۳۳ تن در هکتار و این مقادیر برای ایستگاه اداره گرگان به‌ترتیب برابر با ۵۱ و ۳۱ تن در هکتار به‌دست آمد (جدول ۵). مقدار عملکرد نسبی، عملکرد قابل حصول، خلأ عملکرد قابل بهره‌برداری برای ایستگاه هاشم‌آباد به‌ترتیب برابر ۳۷ درصد، ۴۲ و ۲۲ تن در هکتار به‌دست آمد و این مقادیر برای ایستگاه اداره گرگان به‌ترتیب برابر با ۳۹ درصد، ۴۱ و ۲۱ تن در هکتار بود (جدول ۵).



شکل ۷- نقشه تولید پتانسیل، تولید واقعی و خلأ تولید سیب‌زمینی در شهرستان‌های استان گلستان
Fig. 7- The map of potential production, actual production and production gap of potato in Golestan province's cities

عملکرد قابل حصول (۸۰ درصد از عملکرد پتانسیل) کشور ۳۷۴۵ کیلوگرم در هکتار است. همچنین میانگین سطح زیرکشت و عملکرد واقعی سویا در کشور به ترتیب ۶۱ هزار هکتار و ۲۲۵۷ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است.

انتخاب روش برتر

مقدار عملکرد واقعی استان گلستان (میانگین ۱۰ ساله مورد بررسی) براساس گزارش سازمان جهاد کشاورزی معادل ۲۲ تن در هکتار می‌باشد، این در حالی بود که عملکرد واقعی محاسبه شده براساس روش گیگا برابر با ۲۰ تن در هکتار و در روش درون‌یابی ۲۲ تن در هکتار محاسبه گردید. عملکرد رکود ثبت شده در استان توسط کشاورزان تا ۵۵ تن گزارش شده است که در مقایسه با آن در روش گیگا ۵۲ تن در هکتار و در روش درون‌یابی ۴۲ تن در هکتار به‌دست آمد (جدول ۷). خلأ عملکرد و عملکرد نسبی مشاهده شده (۳۳) تن در هکتار و ۴۰ درصد، روش گیگا (۳۳) تن در هکتار و ۳۸ درصد و روش درون‌یابی (۲۰) تن در هکتار و ۵۲ درصد در جدول ۶ نشان داده شده است.

براساس میانگین وزنی این دو ایستگاه، مقدار عملکرد پتانسیل استان معادل ۵۲ تن در هکتار، عملکرد واقعی استان برابر ۲۰ تن در هکتار و مقدار خلأ عملکرد محاسبه شده ۳۲ تن در هکتار به‌دست آمد (جدول ۵). در این میان عملکرد قابل حصول (۸۰ درصد عملکرد پتانسیل) برابر با ۴۲ تن در هکتار محاسبه شد و مقدار خلأ عملکردی که با توجه به شرایط اقلیمی و خاک استان گلستان قابل بهره‌برداری است، ۲۲ تن در هکتار بود. براساس نتایج ارائه شده در جدول ۶، میزان تولید واقعی استان برابر با ۸۶۲۲۰ تن، تولید پتانسیل برآورد شده برابر با ۲۲۵۰۸۹ تن، مقدار خلأ تولید برابر با ۱۳۸۸۶۹ تن و مقدار تولید نسبی براساس تولید پتانسیل ۳۸ درصد به‌دست آمد، ولی از کل مقدار تولید پتانسیل برآورد شده ۸۰ درصد آن قابل بهره‌برداری است یعنی معادل ۱۸۰۰۷۱ تن، این بدان معناست که می‌توان مقدار تولید استان را به‌میزان ۹۳۸۵۱ تن افزایش داد (جدول ۶). این امر با توجه به معرفی ارقام جدید و پر محصول در سطح کشور قابل دست‌یابی است. نه‌بندانی و همکاران (Nehbandani et al., 2018) در بررسی خلأ عملکرد و مقدار تولید گیاه سویا در کشور با روش اطلس جهانی خلأ عملکرد (GYGA) گزارش نمودند که متوسط عملکرد پتانسیل سویا در کشور ۴۶۸۱ کیلوگرم در هکتار و متوسط

جدول ۵- اراضی داخل بافر و اقلیم، عملکرد واقعی، عملکرد پتانسیل، خلأ عملکرد پتانسیل، عملکرد نسبی برای عملکرد پتانسیل، عملکرد قابل حصول، خلأ عملکرد قابل حصول در ایستگاه‌ها و اقلیم‌های انتخابی استان گلستان

Table 5- Potato cultivated area in buffer and climat zone (CZ), actual and potential yield, potential gap yield, relative yield (RY), attainable yield, exploitable yield gap in its main weater stations and climate zones (CZ) in Golestan province

عملکرد قابل حصول، ۸۰ درصد عملکرد پتانسیل است.
Exploitable yield is 80% of potential yield.

ایستگاه‌های هواشناسی مرجع Reference weather stations	اراضی داخل بافر Area in buffer	اراضی داخل اقلیم Area in CZ	عملکرد واقعی Actual yield (t.ha ⁻¹)	عملکرد پتانسیل Potential yield (t.ha ⁻¹)	خلأ عملکرد Yield gap (t.ha ⁻¹)	عملکرد نسبی Relavte yield (%)	عملکرد قابل حصول* Attainable yield (t.ha ⁻¹)	خلأ عملکرد قابل بهره‌برداری Exploitable yield gap (t.ha ⁻¹)
هاشم‌آباد Hshemabad	2614	2614	20	53	33	37	42	22
اداره گرگان Edare-Gorgan	1697	1697	20	51	31	39	41	21
مجموع/ میانگین Sum/average	4311	4311	20	52	32	38	42	22

*عملکرد قابل حصول، ۸۰ درصد تولید پتانسیل است.

* Exploitable production is 80% of potential production.

جدول ۶- تولید واقعی، تولید پتانسیل، خلأ تولید پتانسیل، تولید نسبی برای تولید پتانسیل، تولید قابل حصول، خلأ تولید قابل حصول در ایستگاه‌ها و اقلیم‌های انتخابی استان گلستان

Table 6- Potato actual and potential production, potential gap production, relative production (RP) for potential production, exploitable production, exploitable production gap and RP for exploitable production in its main climate zones (CZ) in Golestan province

-	تولید واقعی Actual production (t)	تولید پتانسیل Potential production (t)	خلأ تولید production gap (t)	تولید نسبی RP%	تولید قابل حصول Attainable production (t)	خلأ تولید قابل بهره‌برداری Exploitable production gap (t)	تولید نسبی Relative production (%)
مجموع تولید Sum production	86220	225089	138869	38	180071	93851	48

می‌یابد، از دیگر تفاوت‌های روش درون‌یابی با روش گیگا قابلیت مقایسه نتایج روش گیگا با نتایج تحقیقات در اقلیم‌های مشابه در سایر کشورها می‌باشد، در حالی که در روش رون‌یابی چنین امکانی وجود ندارد. در روش درون‌یابی تخمین عملکرد به‌صورت نقطه‌ای در تمام منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده است که این امر در مورد عملکرد واقعی سیب‌زمینی در تحقیق حاضر بیان شده است، ولی در روش گیگا تنها در مناطق اصلی کاشت برآورد می‌شود. همان‌گونه که در بخش مواد و روش‌ها نیز بدان اشاره شد، پروتکل گیگا یک روش پایین به بالا است که برای برآورد خلأ عملکرد ملی از پهنه‌بندی اقلیمی جهت آنالیز گروه‌های اگروکلیمایی مشابه استفاده می‌کند (Hochman et al., 2016). تاکنون مطالعات متعددی با استفاده از این پروتکل انجام شده است. گویت و همکاران (Gobbett et al., 2017) نشان دادند که اراضی گندم در استرالیا در شش منطقه اقلیمی

در روش گیگا تنها با استفاده از دو ایستگاه این مقادیر برآورد شد، ولی در روش درون‌یابی با استفاده از ۲۳ ایستگاه و داده‌های روزانه هواشناسی مقدار عملکرد استان برآورد شد. نحوه محاسبه در روش درون‌یابی براساس میانگین‌گیری از مقادیر ایستگاه‌های نزدیک به هم بوده که در نهایت، برای کل استان میانگین تمام نقاط برآورد شده نماینده مقدار عملکرد واقعی و پتانسیل استان محاسبه شد، ولی در مورد روش گیگا چون اساس این روش تمرکز بر روی نقاط اصلی کشت محصولات می‌باشد، براساس میانگین وزنی عملکرد و سطح زیرکشت منطقه انتخابی صورت گرفته است. هر یک از روش‌های مورد استفاده مزایا و معایب خاص خود را دارا می‌باشند. روش درون‌یابی نیازمند تعداد نقاط بیشتری (داده‌های مورد نیاز بیشتر) نسبت به روش گیگا می‌باشد که این امر در تحقیقات در سطح استانی امکان‌پذیر است، ولی در سطح ملی میزان دقت این روش کاهش

نسبی (عملکرد واقعی تقسیم بر عملکرد پتانسیل ضرب در ۱۰۰) حدود ۴۷ درصد می‌باشد. زو و همکاران (Zu et al., 2018) برای بررسی خلأ عملکرد نیشکر در چین نیز از روش پایین به بالا (GYGA) استفاده کرده‌اند.

کلیدی قرار دارد. آن‌ها ۲۲ ایستگاه مرجع در این اراضی انتخاب کرده و با استفاده از مدل APSIM عملکرد پتانسیل آب محدود (برای سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰) را محاسبه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در سطح ملی مقدار خلأ عملکرد حدود دو تن در هکتار و عملکرد

جدول ۷- مقایسه دو روش گیگا و درون‌یابی براساس عملکرد و تولید واقعی سیب‌زمینی در استان گلستان
Table 7- The comparison of GYGA and Interpolation method Based on the number of stations required, potential yields, actual yield, and yield gap of Potato in Golestan province

روش‌ها Approches	عملکرد واقعی Actual yield (t.ha ⁻¹)	عملکرد پتانسیل Potential yield (t.ha ⁻¹)	خلأ عملکرد Yield gap (t.ha ⁻¹)	عملکرد نسبی RY%	تعداد ایستگاه Stations numbers
پروتکل گیگا GYGA protocol	20	52	32	38	2
روش درون‌یابی Interpolation method	22	42	20	52	23
مشاهداتی Observation	22	55	33	40	-

برای برآورد خلأ عملکرد در سطح ملی طراحی شده است که با کمترین اطلاعات مورد نیاز بتواند در سطح وسیع عملکرد پتانسیل، تولید و خلأ عملکرد را محاسبه نماید، یکی از مزایای گیگا این است که نتایج به‌دست آمده در هر نقطه از جهان قابل مقایسه با سایر نقاط و مناطق کشت آن محصول خاص می‌باشد. براساس مقایسه صورت گرفته در این تحقیق نتیجه‌گیری شد که از روش اطلس جهانی برای برآورد خلأ عملکرد کشور استفاده گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که دو روش درون‌یابی و اطلس جهانی (GYGA) هر دو برآورد نسبتاً دقیقی از مقدار تولید واقعی، پتانسیل تولید و خلأ عملکرد و تولید داشتند با این تفاوت که در روش درون‌یابی با استفاده از آمار و اطلاعات ۲۳ ایستگاه هواشناسی این مقادیر برآورد شدند، ولی در روش اطلس جهانی تنها با دو ایستگاه هاشم‌آباد و اداره گرگان که در مناطق کشت سیب‌زمینی قرار داشتند، این مقادیر به‌دست آمدند. همان‌گونه که پیش‌تر نیز اشاره شد، روش گیگا روشی است که

References

- Aboutalebian, M.A., and Mazaheri, D., 2011. The combined effect of soil cover on weed control and yield of potato yield. Iranian Journal of Field Crop Science 43: 255-264. (In Persian with English Summary)
- Ahmadi Alipour, H., Soltani, A., Kazemi, H., and Nehbandani, A.R., 2018. Zoning Golestan province in terms of the ability and the wheat production gap using a simulation model (SSM). Journal of Agricultural Crops Production 20(1): 129-145. (In Persian with English Summary)
- Ahmadvand, G., and Haji-Nia, S., 2015. Effect of cover plant and different tillage systems on physical properties of soil and yield of potato. Electronic Journal of Crop Production 8: 163-182. (In Persian with English Summary)
- Amini, R.A., Daba-Khonmohamadi-Nasab, A., and Ghorbani-Far, S., 2015. Use of physical, agronomic and chemical methods in the management of potato weed. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 25(4): 105-118. (In Persian with English Summary)
- Baghani, j., Alizadeh, A., and Farid-hosseini, A., 2012. The effect of surface and subsurface drip irrigation on quantity and quality potato. Iranian Journal of Irrigation Draining 3(6): 238-244. (In Persian)
- Bagheri, H.R., 2016. Agro-ecological zonation and vacuum analysis of potato yield using the SUBSTOR-Potato simulation model and GIS in Chaharmahal va Bakhtiari province, Ph.D. Dissertation, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Ramin Khuzestan. Iran. (In Persian)

- Bagheri, H.R., Gharineh, M.H., Bakhshandeh, A.M., Taei, J., Mehnatkesh, A.M., and Andarzayan, B., 2016. Effect of water stress and different levels of nitrogen fertilizer on yield and yield components and potato (*Solanum tuberosum* L.) water use efficiency. *Journal of Environmental Stresses in Agricultural Sciences* 9(1): 1-14. (In Persian)
- Batjes, N.H., 2000. Global Soil Profile Data (ISRIC-WISE). ORNL DAAC.
- Bommarco, R., Kleijn, D., and Potts, S.G., 2013. Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology and Evolution* 28: 230-238.
- Cassman, K.G., Grassini, P., and van Wart, J., 2010. Crop Yield Potential, Yield Trends, and Global Food Security in a Changing Climate. *Handbook of Climate Change and Agroecosystems*. Imperial College Press, London. p. 37-51.
- Food and Agriculture Organization (FAO)., 2014. The FAOSTAT Database. Available at <http://faostat.fao.org/default.aspx> (verified 5 September 2014).
- Gobbett, D.L., Hochman, Z., Horan, H., Garcia, J.N., Grassini, P., and Cassman, K.G., 2017. Yield gap analysis of rainfed wheat demonstrates local to global relevance. *The Journal of Agricultural Science* 155: 282-299.
- Haghighati, B., BromandNasab, S., and Naseri, A., 2016. Effect of deficit irrigation and partial root- zone drying on yield and water use efficiency of two potato cultivars. *Journal of Water Soil* 30(3): 717-729. (In Persian with English Summary)
- Hajjarpoor, A., Soltani, A., and Torabi, B., 2016. Using boundary line analysis in yield gap studies: Case study of wheat in Gorgan. *Electronic Electronic Journal of Crop Production* 8: 183-201. (In Persian with English abstract)
- Hochman, Z., Gobbett, D., Horan, H., and Garcia, J.N., 2016. Data rich yield gap analysis of wheat in Australia. *Field Crops Research* 197: 97-106.
- Hossein-Panahi, F., Koocheki, A., Nassiri, M., and Ghorbani, R., 2009. Evaluation of yield and yield component in potato/corn intercropping. *Iranian Journal of Field Crop Research* 7(1): 23-30. (In Persian with English Summary)
- Jalali, A.H., and Salehi, F., 2015. The effect of nitrogen application and its split on yield, dry matter percentage and potato harvest index of Marfona cultivar. *Journal of Crop Production and Processing* 15: 83-91. (In Persian with English Summary)
- Jalali, A.H., and Jafari, P., 2018. Calculating yield gap and increasing water productivity in potato. In: 7th National Conference on New Idea in Agriculture (Healthy Production). 6 March. Islamic Azad University of Khorasgan Branch. Esfahan. Iran. (In Persian)
- Jam, E., Ebadi, A., Amini, I., and Dehdar, B., 2015. Effect of planting density and seed-mini tuber size on some quantitative and qualitative traits of potato. *Agronomy Journal* 81: 20-29. (In Persian with English Summary)
- Kazemi, H., 2017. Application of Geographic Information System (GIS) in Crop Sciences. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (In Persian with English Summary)
- Kiniry, J.R., Williams, J.R., Gassman, P.W., and Debaeke, P., 1992. A general, process-oriented model for two competing plant species. *Transactions of the ASAE* 35: 801-810.
- Lobell, D.B., Cassman, K.G., and Field, C.B., 2009. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. *Annual Review of Environment and Resources* 34: 179-204.
- Madani, H., Moghimi, A., and Sajedi, N.A., 2010. Effect of different levels of zeolite and irrigation interval on yield and some potato traits. *New Finding in Agriculture* 3: 281-290. (In Persian)
- Mamnoei, E., Karaminezhad, M.R., Rashed Mohasel, M.H., Shimi, P., and Aein, A., 2016. Evaluation of some herbicides on potato weed control in Jiroft and Karaj. *Journal of Plant Protection* 30(3): 368-378. (In Persian with English Summary)
- Masoudi, F., Zardashti, M.R., Abdollahi M., oulakani, B., Rasoli Sadghiani, M.H., and Nazarli. H., 2010. Effect of irrigation intervals on yield and plant characteristics of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science* 12(3): 265-278. (In Persian with English Summary)
- Meghdadi, N., Soltani, A., Kamkar B., and Hajarpoor, A., 2014. Agroecological zoning of Zanjan province for estimating yield potential and yield gap in dryland-base chickpea production systems. *Journal Plant Production Research* 21: 27-49. (In Persian with English Summary)
- Naderi, M., Shayannejad, M., Haidari, S., and Haghighati, B., 2016. Effect of different levels of irrigation water on quantitative and qualitative characteristics of potato and determination of its optimum consumptive use of water in Shahr-e-Kord. *Journal of Water and Soil* 30(5): 1370-1381. (In Persian Persian with English Summary)
- Nasrollahzadeh-Asl, A., and Sedaqat, G., 2015. Effects of planting depth and irrigation disruption on yield and yield components in potato (*Solanum tuberosum* L). *Journal of Crop Science and Research in Arid Regions* 2(1): 31-42.

- (In Persian)
- Nehbandani, A.R., 2018. Yield gap analysis of soybean in Iran, Ph.D. Dissertation, Faculty of Agriculture, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. (In Persian with English Summary)
- Nehbandani, A.R., Soltani, A., Zeinali, E., Hoseini, F., Shahhoseini, A., and Mehmandoei, M., 2017. Soybean (*Glycine max* L. Merr.) yield gap analysis using boundary line method in Gorgan and Aliabad Katul. *Journal of Agroecology* 9: 760-776. (In Persian with English Summary)
- Nikzad, M., Taei, J., Azamisardoei, Z.A., and Amiri, E., 2015. Agro-ecological zonation of potato using GIS and WOFOST simulation model in Jiroft city. MSc. Thesis, Faculty of Agriculture, Jiroft University, Kerman, Iran. (In Persian with English Summary)
- Parvizi, K., 2008. Evaluation of quantitative and qualitative traits of late and early ripening advanced potato cultivars. *Agronomy Journal* 79: 80-90. (In Persian with English Summary)
- Ranjbar, M., Nasresfahani, M., and Mirzakhani, M., 2013. The study of growth indices of commercial and conventional potato cultivars in Esfahan region. *Iranian Journal of Dynamic in Agriculture* 1(4): 295-304. (In Persian)
- Rostami-Ajrloo, A., Mohamadi, G., and Shaban, M., 2012. Effect of nitrogen biofertilizers with urea fertilizer on some quantitative and qualitative traits of potato var. Marphona. *Electronic Journal of Crop Production* 5(3): 131-144. (In Persian with English Summary)
- Sabbah, A., and Ghaffari-Nejad, S.A., 2008. Determination of the best water level as trickle, irrigation and method of tape replacement on potato yield in Jiroft area. *Agronomy Journal* 79: 194-199. (In Persian with English Summary)
- Soltani, A., Khooie, F.R., Ghassemi-Golezani, K., Rahimzadeh-Khooie, F., and Moghaddam, M., 1999. A simple model for chickpea growth and yield. *Field Crops Research* 6: 213-224.
- Soltani, A., Galeshi, S., and Zeinali, E., 2000. Analysis of limitations contained in wheat production in Golestan province (Research Report). Management and Planning Organization of Golestan province, Golestan, Iran. (In Persian).
- Sinclair, T.R., 2006. A reminder of the limitations in using Beer's law to estimate daily radiation interception by vegetation. *Crop science* 46: 2343-2347.
- Soltani, A., Torabi, B., Galeshi, S., and Zeinali, E., 2009. Analyzing wheat yield constraints in Gorgan with Comparative Performance Analysis (CPA) method. (Research Report). Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. 65 p. (In Persian with English abstract)
- Soltani, A., and Sinclair, T.R., 2011. A simple model for chickpea development, growth and yield. *Field Crops Research* 124: 252-260.
- Soltani, A., Maddah, V., and Sinclair, T.R., 2013. SSM-Wheat: A simulation model for wheat development, growth and yield. *International Journal of Plant Production* 7: 711-740.
- Soltani, A., Hajjarpour, A. and Vadez, V., 2016. Analysis of chickpea yield gap and water-limited potential yield in Iran. *Field Crops Research* 185: 21-30.
- Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., and Zeinali, E., 2011. Assessment of yield gap due to nitrogen management in wheat. *Australian Journal of Crop Science* 5: 879.
- Van Bussel, L.G., Grassini, P., Van Wart, J., Wolf, J., Claessens, L., Yang, H., and van Ittersum, M.K., 2015. From field to atlas: upscaling of location-specific yield gap estimates. *Field Crops Research* 177: 98-108.
- Van Ittersum, M.K., Cassman, K.G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., and Hochman, Z., 2013. Yield gap analysis with local to global relevance-A review. *Field Crops Research* 143: 4-17.
- Van Wart, J., Van Bussel, L.G., Wolf, J., Licker, R., Grassini, P., Nelson, A., and van Ittersum, M.K., 2013. Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. *Field Crops Research* 143: 44-55.
- Van Ittersum, M.K., and Cassman, K.G., 2013. Yield gap analysis-Rationale, methods and applications-Introduction to the Special Issue. *Field Crops Research* 3: 143:1-3.
- Wang, N., Jassogne, L., Van Asten, P.J., Mukasa, D., Wanyama, I., Kagezi, G., and Giller, K.E., 2015. Evaluating coffee yield gaps and important biotic, abiotic, and management factors limiting coffee production in Uganda. *European Journal of Agronomy* 63: 1-11.
- Williamson, R.B. 1993. Urban Runoff Data Book: A Manual for the Preliminary Evaluation of Urban Stormwater Impacts on Water Quality. Water Quality Centre, Ecosystems Division, National Institute of Water and Atmospheric Research.
- Yazdandoust-amedani, M., 2003. A study of the effect of nitrogen rates on yield, yield components and nitrate

accumulation in potato varieties. Iranian Journal of Field Crop Science 34: 977-985. (In Persian with English Summary)

Zu, Q., Mi, C., Li Liu, D., He, L., Kuang, Z., Fang, Q., and Li, J., 2018. Spatio-temporal distribution of sugarcane potential yields and yield gaps in Southern China. European Journal of Agronomy 92: 72-83.



Determination of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Yield Gap in Golestan Province

A. Dadrasi¹ B. Torabi^{2*}, A. Rahimi³, A. Soltani⁴ and E. Zeinali²

Submitted: 21-11-2018

Accepted: 16-04-2019

Dadrasi, A., Torabi, B., Rahimi, A., Soltani, A., and Zeinali, E., 2021. Determination of Potato (*Solanum tuberosum* L.) yield gap in Golestan Province. Journal of Agroecology 12(4):613-633.

Introduction

Potato (*Solanum tuberosum* L.) accounts for the largest share in production of food products after wheat, rice and corn, which plays an important role in the nutrition and food basket of the world. Currently, the issue of food security and supplying is very important in different parts of the world and thus prediction of its demand that is increasing. Also, growing population will intensify this issue too. A key strategy to overcome the nutritional challenge of the growing population of the world is eliminating the gap between the current achievement in farms and the yield which can be achieved by using the best cultivars compatible with the environment and the best water, soil and plant management methods.

Materials and Methods

In this study, potential yield of potato was estimated using the SSM-iCrop2. then the production and yield gap of potato were investigated with two methods of Global Yield Gap Atlas (GYGA) and Arc GIS software by interpolation method for Golestan province. For this aim, the information of potato cultivation management in the province level and the daily data of 23 synoptic weather station as well as their soil data were used. Meanwhile, potential yield gap analysis protocol (GYGA protocol) was used to identify the main weather stations named reference weather stations (RWSs) and climates where potato is planted in Golestan province. Potential yield of potato was estimated within the area covered by each RWS, and then scaled up to the province level. In order to implement the interpolation method in ArcGIS software, initially, potential yield of 23 stations in the Golestan province was estimated. Afterwards, the potential and actual yield in the whole province was estimated using Kriging and IDW methods, respectively.

Results and Discussions

According to the Agricultural Jihad Report, the actual yield of Golestan province (a ten-year average) was reported as 22 t.ha⁻¹, while the actual yield calculated based on the interpolation method was estimated equal to 22 t.ha⁻¹. However, the actual yield calculated using the global yield gap atlas (GYGA) method was estimated as 20 t.ha⁻¹. High yield of potato in the province was reported by farmers up to 55 tons, which was considered as potential in the province to be compared with GYGA and interpolation methods, so that in the GYGA method, 52 t.ha⁻¹ and in the interpolation method, finding was 42 t.ha⁻¹. yield gap and relative yield in the GYGA method (33 t.ha⁻¹ and 38 percent), and interpolation (20 t.ha⁻¹ and 52 percent) were obtained. Also, in GYGA method, the

1- Ph.D. Graduated, Department of Genetic and Plant Production, Faculty of Agricultural Sciences, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran.

2- Associate Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran.

3- Associate Professor Department of Genetic and Plant Production, Faculty of Agricultural Sciences, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran.

4- Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran.

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

Doi:10.22067/jag.v12i4.76734

values were estimated using only two stations, but in the interpolation method the province's yield was estimated using 23 stations and daily meteorological data. The GYGA protocol is a bottom-up approach used by Hochman et al. (2016) to assess the variation of national yield from climatic zoning to analyze similar agro-cluster groups. So far, several studies have been done using this protocol. Gobbett et al. (2017) showed that wheat lands in Australia are located in six key climatic regions. They selected 22 reference stations in this area and calculated the limited water potential yield using the APSIM model (for the years of 1996 to 2010).

Conclusion

The results showed that both Global yield gap Atlas (GYGA) and interpolation method had accurate estimation of actual and potential production and yield, but those values obtained using statistics and 23 weather stations in the interpolation method, and using just 2 weather station (Hashemabad and Gorgan stations) in the Global Atlas method. As previously mentioned, the GYGA method is designed to estimate the yield gap at the national level, which can calculate the potential yield, production, and yield gap in a wide range even with the least amount of information. One of the advantages of GYGA protocol is that the results obtained at any point in the world are comparable to other areas and cultivations of that particular product. Based on the comparison made in this study, it was concluded that the Global yield gap Atlas method should be used to estimate the yield of the country.

Keywords: Food Security, Geographic Information System (GIS), Potential yield



مقاله علمی - پژوهشی

اثر تراکم بوته و نیتروژن بر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد، اجزای عملکرد و عملکرد گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)

عبداله ملافیلابی^{۱*} و حسین مودی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۰۶

ملافیلابی، ع.، و مودی، ح.، ۱۳۹۹. اثر تراکم بوته و نیتروژن بر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد، اجزای عملکرد و عملکرد گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۴): ۶۳۵-۶۵۰.

چکیده

این آزمایش با هدف بررسی اثر تراکم بوته و اثر میزان مصرف نیتروژن بر شاخص‌های رشدی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه و بیولوژیک گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)، در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور و با چهار تکرار اجرا شد. تیمارها شامل چهار سطح تراکم بوته (۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ بوته در مترمربع) و چهار سطح نیتروژن (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع کود اوره) بودند. صفات مورد مطالعه شامل شاخص سطح برگ (LAI)، میزان تجمع ماده خشک (DM)، سرعت رشد محصول (CGR)، سرعت رشد نسبی (RGR)، ارتفاع بوته، اجزای عملکرد (شامل تعداد شاخه گل‌دهنده در گیاه، تعداد فولیکول در گیاه، تعداد دانه در فولیکول و وزن هزار دانه)، عملکرد دانه، عملکرد کاه و کلش و عملکرد بیولوژیک بودند. نتایج نشان داد که شاخص سطح برگ و میزان تجمع ماده خشک تا مرحله گل‌دهی افزایش یافته و بعد از آن به علت پژمردگی برگ‌های پایینی و ریزش برگ‌ها کاهش یافت. همچنین در آغاز فصل رشد سرعت رشد گیاه پایین بوده و پس از آن شدت یافت و در مرحله گل‌دهی به حداکثر میزان خود رسید. با افزایش تراکم تعداد شاخه جانبی به طور خطی کاهش یافت. بیشترین عملکرد دانه از تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۸۹۵/۷ کیلوگرم در هکتار) و کمترین عملکرد دانه از عدم کاربرد نیتروژن با (۵۸۹/۹ کیلوگرم دانه در هکتار) به دست آمد. عملکرد بیولوژیک دارای همبستگی بالایی با عملکرد کاه و کلش ($r^2=0.99$) و عملکرد دانه ($r^2=0.97$) بود. به طور کلی، نیتروژن نقش اساسی در ساختمان کلروفیل و سنتز پروتئین‌ها دارد و افزایش آن تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، موجب بهبود رشد و عملکرد گردید. همچنین افزایش شاخه‌دهی گیاه سیاهدانه در تراکم‌های پایین، منجر به جبران کمبود تعداد گیاه در تراکم‌های پایین شد و عملکرد را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: تعداد فولیکول در گیاه، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه، عملکرد کاه و کلش

مقدمه

مصرف آن‌ها نیازمند توسعه کشت، مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح می‌باشد (Mosavi et al., 2012; Morteza et al., 2010; Babayan et al., 1978). گیاهان دارویی از جمله منابع ارزشمند در گستره وسیع منابع طبیعی ایران هستند که شناخت و کشت و تولید علمی آن‌ها می‌تواند نقش مهمی در سلامت جامعه، اشتغال‌زایی و جلوگیری از کاهش تنوع زیستی به واسطه برداشت غیراصولی این گونه‌ها از رویشگاه‌های طبیعی داشته باشند (Mosavi et al., 2012). از نگاهی دیگر و از نقطه نظر اقتصادی، توجه به توسعه تولیداتی

با توجه به اثرات سوء ناشی از مصرف داروهای شیمیایی در سال‌های اخیر توجه زیادی به کشت گیاهان دارویی شده است که

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

۲- کارشناس ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

(*) - نویسنده مسئول: (Email: a.filabi@rifst.ac.ir
Doi: 10.22067/jag.v12i4.75617

همچون گیاهان دارویی ضمن بهبود وضعیت داخلی، سبب افزایش صادرات غیرنفتی و در نتیجه، کاهش اتکا به درآمدهای نفتی می‌شود (Morteza et al., 2010). همانند دیگر گیاهان، شاخص‌های رشدی گیاهان دارویی نیز تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و محیطی است که در این میان، اگرچه مواد مؤثره و ترکیب ذخیره این گیاهان بیشتر به‌صورت ژنتیکی کنترل می‌شود، اما همانند عملکرد کمی، تحت تأثیر شرایط محیطی، عناصر غذایی و سایر فاکتورهای زراعی قرار می‌گیرد (Hamisi et al., 2012).

در بین گیاهان دارویی، سیاهدانه با نام علمی *Nigella sativa* L. که در عربی به آن شونیز و کمون اسود اطلاق می‌گردد (Fillippo et al., 2002)، گیاهی با ارزش، دو لپه، علفی، یک‌ساله و متعلق به خانواده آلاله^۱ است (Fillippo et al., 2002). برای دانه‌های این گیاه خصوصياتی مانند شیرآور، ضدنفخ، مسهل و ضدانگل قائل هستند (Fillippo et al., 2002). در سال‌های اخیر دانه‌های سیاهدانه مورد تحقیقات وسیع فارماکولوژیک قرار گرفته است. سیاهدانه دارای ترکیبات مؤثری به‌ویژه کوئین^۲ بوده و در درمان برخی بیماری‌ها مانند برونشیت، روماتیسم، فشار خون، دیابت، آنفلوانزا و حتی ایدز (Mehta et al., 2009; Hussain et al., 2009; Erkan et al., 2008) و تغذیه انسان (Ramadan & Morsel, 2003) نقش دارد. این مطالعات دامنه وسیعی از اثرات ضدباکتری، ضدتومور، ضدالتهاب، مسکن، کاهنده قند خون و شل‌کننده عضلات صاف را نشان می‌دهد (Fillippo et al., 2002). تاکنون در کشورهای تولیدکننده این گیاه تحقیقات اندکی در زمینه به‌زراعی آن انجام شده است (Fillippo et al., 2002).

در کشور ما تحقیقات چندانی روی این گیاه صورت نگرفته و این گیاه با روش‌های سنتی کشت‌وکار می‌شود. از جمله موارد مهم تأثیرگذار بر عملکرد کمی و کیفی گیاه، تأمین عناصر غذایی است که از جمله می‌توان به نیتروژن اشاره کرد (Hokmalipour & Seyedsharifi, 2014). نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی در تولید گیاهان زراعی است که مقدار آن در گیاهان بعد از کربن و هیدروژن بیش از سایر عناصر غذایی است (Babayan et al., 1978). غلظت بهینه نیتروژن بین ۵-۲ درصد وزن خشک گیاه بوده که بسته به نوع گیاه و مرحله رشد متفاوت است (Sharifi

Ashoorabadi et al., 2004). نیتروژن در ساختمان سلول گیاهی به‌صورت پروتئین، اسیدهای نوکلئیک، اسیدهای آمینه، آنزیم‌ها و کلروفیل شرکت دارد، بنابراین نقش عمده‌ای در فتوسنتز عهده‌دار است (Babayan et al., 1978). رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2016) با بررسی اثر منابع آلی و غیرآلی نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه گزارش نمودند که اثر تیمارهای کود گاوی و نیز کود اوره در افزایش عملکرد دانه و بیولوژیک سیاهدانه معنی‌دار بود. با این‌وجود، کود گاوی در مقایسه با کود اوره به‌طور معنی‌دار تأثیر بیشتری داشت. بر این اساس، این محققان نتیجه گرفتند با توجه به این‌که در راستای توسعه کشاورزی پایدار، استفاده از نهاده‌های طبیعی و زیستی به‌عنوان یک اصل شناخته می‌شود، در مناطق دارای خاک‌های آهکی، کاربرد کودهای آلی به‌همراه استفاده از کود بیولوژیک بیوسولفور می‌تواند در کاهش مشکلات ناشی از استفاده زیاد از کودهای شیمیایی مفید باشد.

برای دستیابی به عملکرد اقتصادی بالا علاوه‌بر توجه به عناصر غذایی، استفاده بهینه از عوامل محیطی نظیر نور، آب و مواد غذایی از اهمیت بالایی برخوردار است. به همین دلیل میزان تراکم یا تعداد بوته در واحد سطح باید در حد مطلوب باشد. در زراعت تک‌کشتی تراکم بهینه یکی از عوامل موفقیت در تولید می‌باشد (Babayan et al., 1987). در گیاهان یک‌ساله دلیل اصلی کاهش عملکرد، رشد رویشی ضعیف و در نتیجه، سطح برگ کم در ابتدای فصل رشد می‌باشد و در این حالت، بیشتر تشعشع خورشیدی توسط زمین جذب شده و غیرقابل استفاده می‌ماند، بنابراین در چنین شرایطی افزایش تراکم گیاهان ممکن است به جذب بیشتر تشعشع خورشیدی به‌خصوص در مراحل اولیه رشد کمک نماید (Atta, 2003). با توجه به نقش مهم سیاهدانه در درمان بیماری‌های و صنایع غذایی و دارویی انجام تحقیقات به‌زراعی در این گیاه از ضروریات است. علاوه‌بر آن تجزیه و تحلیل کمی آنالیزهای رشدی گیاه، روشی مناسب برای توجیه و تفسیر واکنش‌های گیاه نسبت به شرایط محیطی مختلف می‌باشد که گیاه در طول حیات خود با آن‌ها مواجه است. لذا، بررسی شاخص‌های رشدی راهکاری مناسب برای شناخت بهتر از چگونگی انتقال مواد ساخته شده فتوسنتزی به اندام‌های مختلف و انباشت آن‌ها از طریق اندازه‌گیری ماده خشک تولید شده در طول فصل رشد و نمو می‌باشد (Seyed Sharifi & Nemati, 2014).

شناخت دقیق شاخص‌های مؤثر بر رشد و عملکرد و استفاده بهینه

1- Ranunculaceae
2- Quinone

سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله روی ردیف برای تراکم‌های ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ بوته در مترمربع به ترتیب ۴، ۲، ۱ و ۰/۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بین دو کرت ۸۰ سانتی‌متر منظور گردید. بذور پس از ضدعفونی با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام غلظت دو در هزار در عمق ۲-۱ سانتی‌متر کشت شد و پس از سه هفته عملیات واکاری و تنک برای رسیدن به تراکم مطلوب صورت گرفت. آبیاری هر ۱۰ روز یک‌بار و وجین علف‌های هرز دو مرتبه به‌صورت دستی انجام گرفت.

جهت انجام نمونه‌برداری، کرت‌ها در جهت طولی به دو قسمت مساوی تقسیم شدند، یک بخش جهت نمونه‌برداری تحلیل رشد و بخش دیگر برای اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد مورد استفاده قرار گرفت. شاخص‌های فیزیولوژیکی مورد مطالعه شامل شاخص سطح برگ (LAI)^۱، میزان تجمع ماده خشک (DM)^۲، سرعت رشد محصول (CGR)^۳ و سرعت رشد نسبی (RGR)^۴ بودند.

سطح برگ توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (مدل Leaf Area Meter AM 200) تعیین گردید و شاخص سطح برگ^۵ با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد.

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

در این معادله، LA: نشان‌دهنده سطح برگ و GA: نشان‌دهنده سطح زمین است.

به‌منظور محاسبه سرعت رشد محصول^۶ در طول فصل رشد، معادله ۲ مورد استفاده قرار گرفت (Gardner et al., 1985).

$$CGR = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \quad \text{معادله (۲)}$$

به‌منظور محاسبه سرعت رشد نسبی^۷ در طول فصل رشد، معادله ۳ مورد استفاده قرار گرفت (Gardner et al., 1985).

$$RGR = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1} \quad \text{معادله (۳)}$$

در این معادله، t₁: زمان نمونه‌گیری اول (روز)، t₂: زمان نمونه -

از آن‌ها در زراعت سبب افزایش عملکرد گیاهان می‌شود، شناخت و بررسی شاخص‌های فیزیولوژیک رشد در تحلیل عوامل مؤثر بر عملکرد و اجزای عملکرد گونه‌های مختلف گیاهی از اهمیت نسبتاً بالایی برخوردار است و ثبات آن تعیین‌کننده مقدار ماده خشک تولیدی است که به نوبه خود معیاری از اجزای عملکرد می‌باشد. هدف از محاسبه اجزای رشد، تشریح چگونگی واکنش گیاه نسبت به شرایط محیطی است (Blackman, 1919). تجزیه شاخص‌های رشد راهکار بارزشی در تحلیل کمی رشد و نمو گیاه و تولید محصولات به‌شمار می‌آید که برای اولین بار توسط بلاکمن (Blackman, 1919) پیشنهاد شد. عواملی که برای تعیین چگونگی رشد اجزای عملکرد استفاده می‌شود، شاخص‌های رشد نامیده شده و از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند (Blackman, 1919; Manaffee & Kloepper, 1994). برای تحلیل رشد، اندازه‌گیری دو شاخص سطح برگ و وزن خشک الزامی است و سایر شاخص‌های رشد از طریق محاسبه تعیین خواهد شد (Blackman, 1919).

با عنایت به مطالب فوق هدف از این تحقیق ارزیابی اثر تراکم بوته و اثر میزان مصرف نیتروژن بر شاخص‌های رشدی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه و بیولوژیک گیاه دارویی سیاهدانه در شرایط آب‌وهوایی مشهد بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی به‌صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور در چهار سطح و با چهار تکرار طراحی و اجرا شد. تیمارها شامل چهار سطح تراکم بوته (۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ بوته در مترمربع) و چهار سطح نیتروژن (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع کود اوره) بود.

شخم پائیزه هم‌زمان با عملیات تکمیلی تهیه زمین انجام گرفت و کرت‌هایی به ابعاد ۲/۴ متر در شش متر تهیه شد. جهت بهبود حاصلخیزی خاک ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل در زمین پخش گردید. نیمی از مقادیر کود در هنگام کاشت و بقیه پس از کاشت در مرحله ۴-۶ برگی مورد استفاده قرار گرفت.

هر کرت شامل شش ردیف کاشت و فاصله بین ردیف ۴۰

1- Leaf area index

2- Dry matter accumulation

3- Crop growth rate

4- Relative growth rate

5- Leaf area index (LAI)

6- Crop growth rate (CGR)

7- Relative growth rate (RGR)

افزایش تراکم کاشت افزایش می‌یابد (Fillippo et al., 2002). شاخص سطح برگ ابتدا افزایش یافته و این روند کمی قبل از مرحله گل‌دهی به بالاترین مقدار رسیده و بعد از آن به‌علت پژمردگی برگ‌های پایینی و ریزش برگ‌ها کاهش یافت (شکل ۱). علاوه‌براین، افزایش نیتروژن منجر به افزایش شاخص سطح برگ شد، به‌طوری‌که کمترین شاخص سطح برگ در شرایط عدم کاربرد نیتروژن (۰/۴۸) و بیشترین مقدار شاخص سطح برگ (۱/۲۶) در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مشاهده شد (شکل ۱).

با توجه به اینکه میزان جذب نور توسط برگ‌ها و تبدیل آن‌ها به مواد فتوسنتزی عامل مهمی در رشد و تولید گیاه است، افزایش تعداد و سطح برگ باعث افزایش جذب نور شده که در نهایت، به‌شرط محدودکننده نبودن سایر فاکتورهای محیطی و بروز هر نوع تنش زنده و غیرزنده، می‌تواند منجر به افزایش تولید ماده خشک و در نتیجه، عملکرد گردد. سایر بررسی‌ها نیز نشان داده است دلیل عمده کاهش شاخص سطح برگ در مراحل پایانی رشد، ریزش بعضی از برگ‌های پایینی می‌باشد (Saberali et al., 2007). عموماً روند رشد سطح برگ گیاهان در طی فصل رشد به‌صورت غیرخطی (لجستیکی) می‌باشد؛ به‌طوری‌که در نیمه دوم فصل رشد به حداکثر مقدار خود می‌رسد و سپس با از بین رفتن برگ‌های پیر کاهش می‌یابد و این زمانی است که تولید برگ‌های جدید کفاف سطح برگ از دست رفته را نمی‌کند (Jahan et al., 2012). در این راستا، محققان دیگر نیز بیان نمودند که با افزایش مصرف نیتروژن سطح برگی بیشتری به‌وجود آمده که خود با جذب تشعشع بیشتر نور خورشید، موجب افزایش میزان فرآیند فتوسنتز در گیاه شده و در نهایت، ماده خشک بیشتری تولید خواهد شد (Gun et al., 2011; Mosavi et al., 2005). لباسچی و شریفی (Lebaschi & Sharifi, 2004) نیز گزارش کردند که پتانسیل فتوسنتزی و توان رشدی، همبستگی بالایی با سطح برگ داشته و میزان ماده خشک کل نتیجه کارایی جامعه گیاهی از نظر استفاده از تشعشع در طول فصل رشد است که در این ارتباط جامعه گیاهی نیاز به سطح برگ کافی دارد که با پوشش یکنواخت و کامل جذب حداکثری نوری را فراهم آورد. یافته‌های دیگر محققان بر همبستگی بالای شاخص سطح برگ و عملکرد گیاهان تأکید دارد (Mostafavi, 2014; Ghobadi et al., 2011).

گیری دوم (روز)، W_1 : وزن خشک گیاه در هنگام نمونه‌برداری اول (گرم در مترمربع)، W_2 : وزن خشک گیاه در هنگام نمونه‌برداری دوم (گرم در مترمربع) می‌باشد.

فاصله زمانی برای هر مرحله فنولوژیک بر اساس تعداد روز و درجه روز رشد^۱ محاسبه و ثبت گردید. درجه-روز رشد با استفاده از معادله ۴ تعیین گردید (McMaster & Wilhelm, 1998).

$$GDD = \sum_1^n [(T_{max} + T_{min})/2] - T_b \quad \text{معادله (۴)}$$

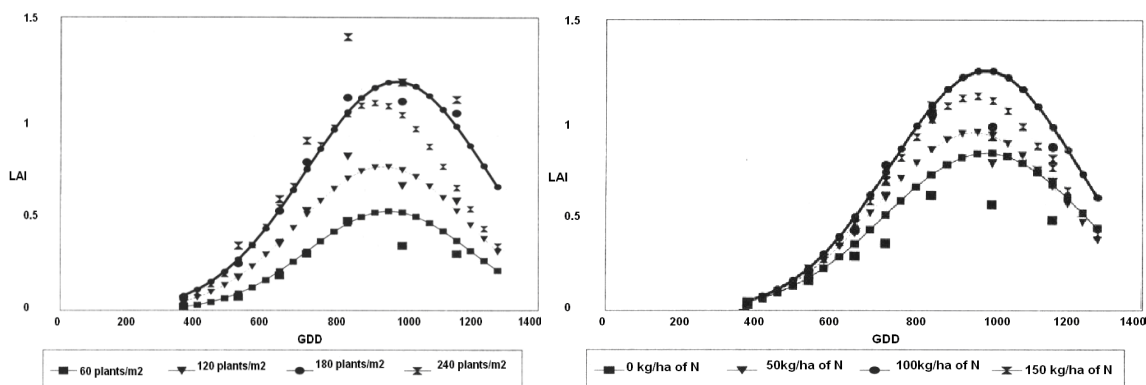
در معادله فوق، T_{min} و T_{max} : به‌ترتیب حداکثر و حداقل دمای روزانه و T_b : دمای پایه می‌باشد. آمار هواشناسی از ایستگاه هواشناسی طرق تهیه شد.

جهت مقایسه عملکرد، در هنگام رسیدگی محصول و برگ‌ها و زرد شدن فولیکول‌ها (اواخر تیر ماه) در نیمی از کرت که برای مقایسه عملکرد اختصاص یافته بود، ردیف‌های کناری و نیم متر از انتها به‌عنوان اثر حاشیه‌ای حذف و از بقیه کرت، یک مترمربع برداشت شد. مقادیر دانه و کاه و کلش توزین و عملکرد دانه محاسبه شد. اجزای عملکرد مورد بررسی شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه گل‌دهنده در گیاه، تعداد فولیکول در گیاه، تعداد دانه در فولیکول و وزن هزار دانه بودند که قبل از برداشت تعداد ۱۰ بوته (برابر ۰/۱۷، ۰/۰۸، ۰/۰۶ و ۰/۰۴ مترمربع به‌ترتیب برای تراکم‌های ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ بوته) از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و صفات مورد نظر اندازه‌گیری شد.

برای تجزیه آماری و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای SAS و Excel استفاده شد و مقایسه میانگین به‌وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. همبستگی معادلات و توابع شاخص‌های رشد با استفاده از نرم‌افزارهای آماری محاسبه و ترسیم شدند. نتایج همبستگی بین صفات با استفاده از آزمون پیرسون انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ (LAI) یکی از معیارهای اساسی و مهم در تعیین قدرت فتوسنتزی گیاه محسوب می‌گردد که بیان‌کننده سطح برگ به سطح زمین اشغال شده توسط گیاه است (Gardner et al., 1985). تراکم از جمله عوامل تأثیرگذار بر شاخص سطح برگ است. هر چه فاصله بین بوته‌ها کمتر باشد، سبب افزایش تعداد شاخه فرعی و در نهایت، تعداد برگ سبز در واحد سطح می‌گردد. اگرچه ممکن است، با افزایش تراکم تعداد شاخه فرعی کاهش یابد، ولی به‌علت این که در کل تعداد شاخه فرعی در واحد سطح افزایش می‌یابد، LAI با

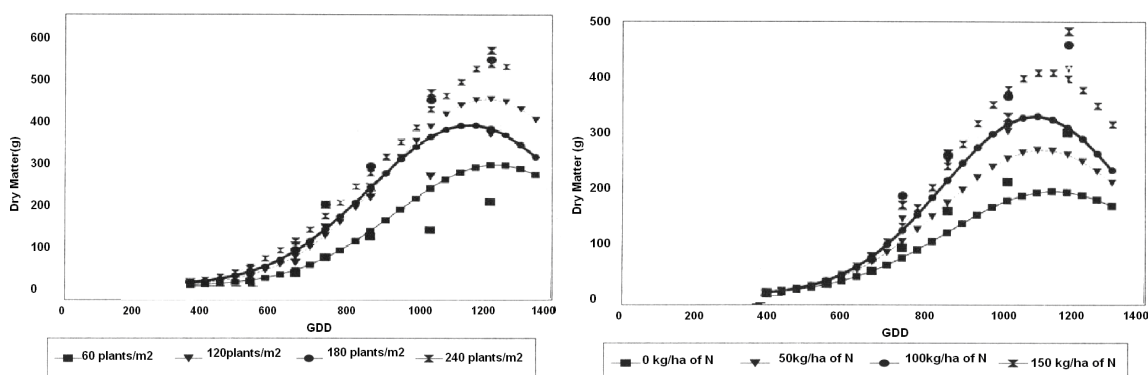


شکل ۱- اثر سطوح نیتروژن (راست) و تراکم بوته (چپ) بر تغییرات شاخص سطح برگ گیاه دارویی سیاهدانه در درجه- روز رشد بعد از کاشت
Fig. 1- Effects of nitrogen rates (right) and plant density (left) on leaf area index of black seed as a medicinal plant during growth degree days after planting time

خود می‌تواند بهبود عملکرد را موجب گردد. در اوایل دوره رشد، میزان و سرعت تجمع ماده خشک کم بود و با گذشت زمان و همراه با افزایش شاخص سطح برگ میزان فتوسنتز جامعه گیاهی افزایش یافته و شیب منحنی تجمع ماده خشک شدت بیشتری گرفت و پس از آن به دلایلی همچون پیری و زردی برگ‌ها، سایه‌اندازی برگ‌های بالایی بر پایینی و ریزش برگ‌های پایینی، انتقال دوباره کربوهیدرات‌های ذخیره شده، افزایش بافت‌های ساختمانی غیرفتوسنتزی و افزایش تنفس گیاه شیب تجمع ماده خشک کم شده و سپس ثابت شد. همچنین به نظر می‌رسد کاهش چشمگیر سرعت و ثابت شدن روند تجمع ماده خشک کمی پس از گل‌دهی گیاه و هم‌زمان با پر شدن دانه رخ داده است.

سیاهدانه به سبب داشتن برگ‌های رشته‌ای از شاخص سطح برگ پائین برخوردار است. حداکثر شاخص سطح برگ در تراکم ۱۸۰ بوته در مترمربع حدود ۱/۲ مشاهده شد. محققین گزارش نموده‌اند که شاخص سطح برگ در تراکم‌های بالاتر زودتر از تراکم‌های پائین‌تر به حداکثر می‌رسد، اما دوام سطح برگ در تراکم‌های پائین‌تر بیشتر است (Fillippo et al., 2002).

چنان‌که انتظار می‌رفت، بیشترین تجمع ماده خشک در طی فصل رشد در تیمارهایی مشاهده شد که دارای شاخص سطح برگ بالاتر و در نتیجه، ظرفیت بالاتری برای تولید و تجمع ماده خشک بودند. افزایش شاخص سطح برگ می‌تواند موجب افزایش توان فتوسنتزی گیاه و در نتیجه، افزایش تولید ماده خشک شود که این امر به نوبه



شکل ۲- اثر سطوح نیتروژن (راست) و تراکم بوته (چپ) بر تغییرات میزان تجمع ماده خشک گیاه دارویی سیاهدانه در درجه- روز رشد بعد از کاشت

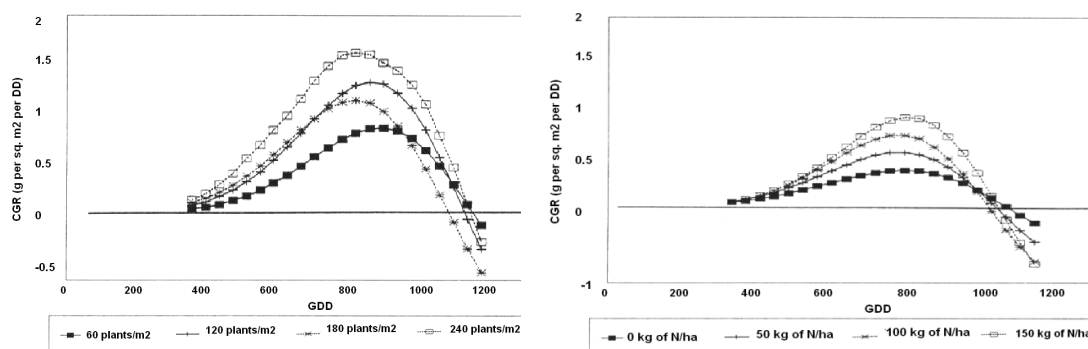
Fig. 2- Effects of nitrogen rates (right) and plant density (left) on dry matter accumulation of black seed as a medicinal plant during growth degree days after planting time

محیط‌های با تنش نیتروژن دور از انتظار نیست. افزایش ماده خشک تولیدی با مصرف نیتروژن می‌تواند به دلیل تأثیر نیتروژن بر گسترش سطح برگ و تداوم بیشتر آن و در نتیجه، افزایش میزان کربن‌گیری و فتوسنتز باشد، به عبارتی نیتروژن با تسریع رشد سلول‌های مریستم انتهایی گیاه زمینه لازم را برای رشد گیاه فراهم می‌کند (Sobhani et al., 2014). اعمال تراکم‌های پایین از طریق افزایش فاصله بین بوته‌ها و دریافت نور بیشتر، موجب بهبود فعالیت فتوسنتزی در مقایسه با تراکم‌های بالا شد (Baloch et al., 2002).

در آغاز فصل رشد به دلایلی همچون کافی نبودن پوشش گیاهی، پایین بودن درصد جذب تابش، کوتاه بودن روزها و دمای پایین هوا، سرعت رشد گیاه پایین بوده و پس از مدتی به دلیل توسعه سطح برگ و افزایش رشد ریشه و در نتیجه، امکان فتوسنتز بالاتر، سرعت رشد گیاه شدت یافت و در اواسط دوره رشد به حداکثر میزان خود رسید. پس از این مرحله، سرعت رشد گیاه دچار کاهش شدیدی شد و این روند تا پایان دوره رشد گیاه به صورت نزولی ادامه یافت. حداکثر مقادیر CGR مصادف با شروع مرحله میوه‌دهی (حدود ۸۰۰ درجه روز رشد) بوده و با حداکثر LAI منطبق است. بیشترین CGR در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مشاهده شد (شکل ۳).

کاهش رقابت درون گونه‌ای و بین بوته‌ای در فاصله کاشت بیشتر و تراکم‌های کمتر منجر به افزایش جذب نور و مواد غذایی و بهبود فتوسنتز شده و به دنبال آن تجمع نسبی ماده خشک افزایش یافته است (شکل ۲).

میزان تجمع ماده خشک یکی از شاخص‌های مهم ارزیابی وضعیت رشد گیاه می‌باشد که نشان‌دهنده تجمع ماده خشک در کل گیاه است. وزن خشک کل پیکره گیاه به عنوان یکی از نشانگرهای مهم وضعیت رشدی گیاه، مدنظر می‌باشد. به طوری که افزایش وزن خشک بوته نشان‌دهنده موفقیت بیشتر گیاه در فتوسنتز به واسطه فراهم بودن شرایط رشدی مناسب‌تر می‌باشد. در واقع، مجموع بافت‌های فتوسنتزکننده و تنفس‌کننده را نشان می‌دهد. این شاخص، انعکاسی از فتوسنتز خالص گیاه است (Mostafavi, 2014) و ماده فتوسنتزی تولیدی می‌تواند به کاربرد رشد گیاه رسیده و یا در اندام‌های ذخیره‌ای تجمع یابد و تعیین‌کننده عملکرد گیاهان زراعی باشد. با افزایش تراکم وزن هر بوته کاهش می‌یابد، اما افزایش تراکم منجر به افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی در واحد سطح می‌شود (Fillippo et al., 2002). با افزایش مقدار نیتروژن روند تجمع ماده خشک افزایش پیدا کرد. از آن جا که نیتروژن از عناصر اصلی ساختمان کلروفیل است؛ بنابراین، کاهش تجمع ماده خشک تحت



شکل ۳- اثر سطوح نیتروژن (راست) و تراکم بوته (چپ) بر تغییرات سرعت رشد محصول گیاه دارویی سیاهدانه در درجه- روز رشد بعد از کاشت
Fig. 3- Effects of nitrogen rates (right) and plant density (left) on crop growth rate of black seed as a medicinal plant during growth degree days after planting time

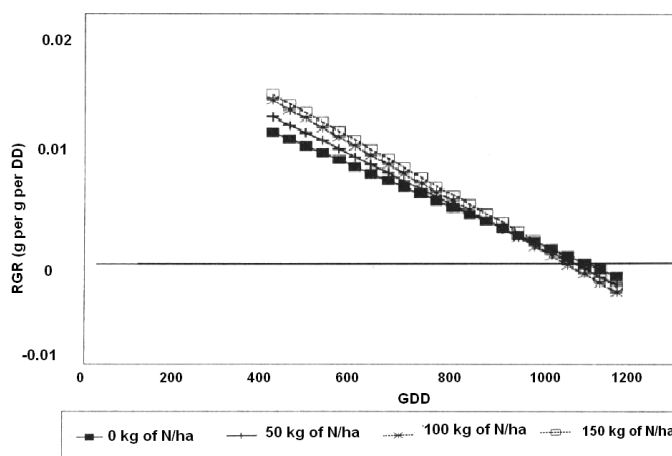
شاخص سطح برگ در سرعت آسیمیلاسیون خالص می‌باشد، لذا گیاهانی که شاخص سطح برگ بالاتری دارند، سرعت رشد محصول آن‌ها نیز بالاتر می‌باشد، زیرا هرچه شاخص سطح برگ بالاتر باشد،

سرعت رشد محصول، افزایش وزن یک اجتماع گیاهی در واحد سطح در واحد زمان می‌باشد و به طور وسیعی در تجزیه و تحلیل رشد گیاهان به کار گرفته شده است. از آن جا که CGR حاصل ضرب

تابش، تولید ماده خشک کمتر شده و میزان سرعت رشد گیاه هم کم می‌باشد، اما با رشد سریع گیاه و افزایش سطح برگ، جذب تابش و سرعت رشد گیاه افزایش می‌یابد (Habibzadeh et al., 2006). راعی و همکاران (Raee et al., 2008) نتیجه گرفتند که کاهش سرعت رشد محصول در تراکم‌های بالاتر به دلیل تشدید رقابت درون گونه‌ای بیشتر بود.

سرعت رشد نسبی، نشان‌دهنده تولید ماده خشک هر گیاه نسبت به وزن اولیه گیاه می‌باشد که در مراحل اولیه رشد که برگ‌های گیاه اغلب در معرض نور خورشید قرار دارد، سرعت تجمع ماده خشک بالاتر بوده، ولی هم‌زمان با رشد گیاه و افزایش سایه‌اندازی به‌جای اینکه تمامی برگ‌ها تولیدکننده مواد فتوسنتزی باشند، بخشی از آن‌ها بیشتر نقش مصرف‌کننده داشته و باعث کاهش سرعت رشد نسبی می‌گردد. سرعت رشد نسبی با گذشت زمان کاهش یافت (شکل ۴) که علت این امر ناشی از کاهش NAR در طول فصل رشد می‌باشد. دلیل دیگر این است که قسمت‌هایی که به گیاه افزوده می‌شوند، بافت‌های ساختمانی بوده و بافت‌های فعال متابولیکی نیستند و چنین بافت‌هایی سهمی در رشد ندارند. کاربرد نیتروژن سبب سرعت رشد اندام‌های رویشی و در نتیجه، افزایش وزن خشک آن‌ها می‌شود.

میزان تولید مواد فتوسنتزی نیز بالاتر می‌باشد. سرعت رشد گیاه یکی از شاخص‌هایی است که با عملکرد گیاهان همبستگی بالایی دارد (Mohammadian et al., 2013) و از مهم‌ترین شاخص‌های تجزیه و تحلیل رشد در جامعه‌های گیاهی می‌باشد که به‌صورت افزایش وزن خشک یک اجتماع گیاهی در واحد سطح زمین در واحد زمان تعریف می‌شود و به‌طور معمول، بر حسب گرم (وزن خشک کل گیاه) در مترمربع (سطح زمین) در روز بیان می‌شود. از این شاخص به‌طور گسترده‌ای در تجزیه و تحلیل رشد گیاهان استفاده می‌شود. به نظر می‌رسد بالاتر بودن میزان تنفس نسبت به فتوسنتز جاری به‌ویژه در مراحل انتهایی رشد (Van Irsel, 2000; Van Irsel & Seymour, 2000) موجب کاهش شدیدتر سرعت رشد گیاه شده است. نتایج نشان داده است که سرعت رشد گیاه رابطه مستقیمی با سطح فتوسنتزکننده داشته و به‌ویژه در تراکم‌های مطلوب توزیع بوته‌ها و سطح برگ در واحد سطح یکنواخت‌تر شده و برگ‌ها موقعیت مناسب‌تری برای جذب تابش و فتوسنتز پیدا می‌کنند و در نتیجه، سرعت رشد گیاه افزایش می‌یابد (Oozooni Doji et al., 2008). بین سرعت رشد گیاه و میزان تابش جذب شده توسط برگ‌های گیاه رابطه مستقیم وجود دارد، به‌طوری‌که در آغاز و پایان فصل رشد به‌دلیل کامل نبودن پوشش گیاهی و کم بودن سطح دریافت‌کننده



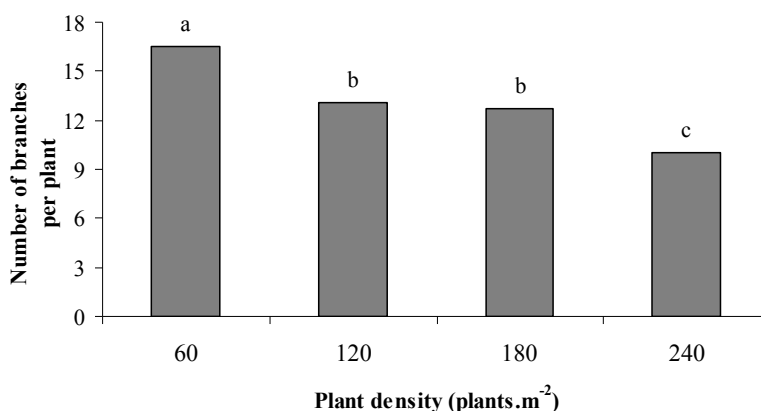
شکل ۴- اثر سطوح نیتروژن (راست) و تراکم بوته (چپ) بر تغییرات سرعت رشد محصول گیاه دارویی سیاهدانه در درجه-روز رشد بعد از کاشت
Fig. 4- Effects of nitrogen rates (right) and plant density (left) on crop growth rate of black seed as a medicinal plant during growth degree days after planting time

به‌دلیل قرار گرفتن برگ‌های اولیه در سایه و افزایش سن آن‌ها فعالیت فتوسنتزی کاهش یافته و سرعت رشد نسبی نیز کاهش می‌یابد. هر چند که وزن خشک گیاه با گذشت زمان افزایش پیدا می‌کند،

یکی از دلایل روند کاهشی سرعت رشد نسبی آن است که بخش‌های افزوده شده به گیاه اغلب بافت‌های ساختمانی هستند که از لحاظ متابولیکی فعال نبوده و نقشی در فتوسنتز ندارند. همچنین

نداشت. سیاهدانه از جمله گیاهانی است که تراکم‌های پایین خود را با افزایش تعداد شاخه‌های گل‌دهنده جبران می‌کند و در نتیجه، این احتمال وجود دارد که در شرایط تراکم پایین خود را با افزایش تعداد شاخه‌های گل‌دهنده جبران کند، لذا در شرایط تراکم پایین نیز به دلیل افزایش تعداد شاخه‌های گل‌دهنده شرایط کمبود نور همانند تراکم بالا عمل نموده و در نتیجه، تفاوتی در ارتفاع گیاه با تغییر تراکم دیده نمی‌شود (Amirmoradi & Rezvani Moghaddam, 2011). افزایش مصرف کود نیتروژن سبب تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه شده و در نتیجه، موجب تقسیم شدن و بلند شدن سلول‌های گیاهی می‌گردد که ماحصل آن افزایش ارتفاع بوته است. با افزایش تراکم بوته، ارتفاع گیاه افزایش یافت که این نتایج توسط برخی محققان گزارش شده است (Rassam et al., 2007; Singh et al., 2005; Hosseinpour et al., 2011). دلیل اصلی افزایش ارتفاع بوته در کشت‌های متراکم رقابت برای دسترسی به نور می‌باشد (Pirzad, 2007).

اثر متقابل تراکم و نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه گل‌دهنده در گیاه نداشت، اما این صفت تحت اثر ساده تراکم قرار گرفت؛ به‌طوری‌که با افزایش تراکم تعداد شاخه گل‌دهنده به‌طور خطی کاهش یافت (شکل ۵).



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر تراکم بوته بر تعداد شاخه جانبی در بوته گیاه دارویی سیاهدانه

Fig. 5- Mean comparisons for the effect of plant density on number of branches per plant of black seed as a medicinal plant

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 ($p \leq 0.05$).

گل‌دهنده و تعداد کپسول در گیاه سیاهدانه کاهش پیدا کرد. در پژوهش دیگری توسط حسین‌پور و همکاران (Hosseinpour et al.,

ولی از سرعت رشد نسبی به دلیل افزایش نسبت بافت‌های ساختمانی به بافت‌های در حال رشد کاسته می‌شود. نتایج برخی از دیگر مطالعات نیز مؤید کاهش سرعت رشد نسبی بر اثر گذشت زمان به دلیل سایه‌اندازی گیاه می‌باشد (Tarigholeslami et al., 2012; Eydzadeh et al., 2010). افزایش سن برگ، سایه‌اندازی برگ‌های بالایی روی برگ‌های پایینی و همچنین تخصیص مواد فتوسنتزی از برگ‌ها به ریشه با افزایش اندازه گیاه از جمله مهم‌ترین دلایل کاهش سرعت رشد نسبی در طول زمان است (Zafarian et al., 2007). در پایان فصل رشد، همچون شاخص سطح برگ و سرعت افزایش تجمع ماده خشک و سرعت رشد گیاه، سرعت رشد نسبی نیز به صفر می‌رسد که این موضوع ناشی از مسن شدن برگ‌ها و کاهش ظرفیت تولید مواد فتوسنتزی، تخریب تدریجی کلروفیل و کاهش غلظت آن در سطح برگ و همچنین افزایش تنفس در مقایسه با فتوسنتز در اثر نزدیک شدن به مرحله فیزیولوژیک رسیدگی می‌باشد (Oozoni Doji et al., 2008). به‌طور کلی، به نظر می‌رسد شاخص سطح برگ و سرعت رشد نسبی، به شرط ثابت بودن دیگر شرایط برای تیمارهای مختلف می‌تواند منجر به دست‌یابی به تجمع بیشتر ماده خشک شود (Mostafavi, 2014).

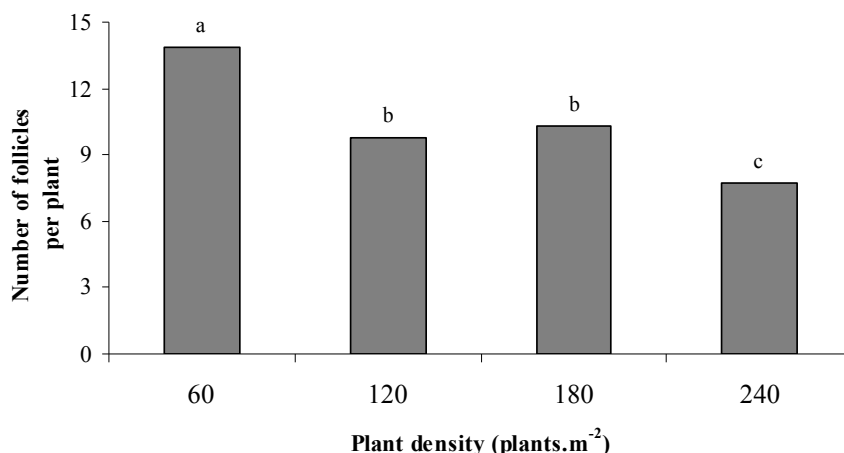
اثر متقابل تیمارهای مورد آزمایش تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه

در این راستا قوش و همکاران (Ghosh et al., 1981) در پژوهشی نتیجه گرفتند که در اثر افزایش تراکم تعداد شاخه‌های

تعداد فولیکول در گیاه مشاهده شد ($r^2 = -0.81$). به عبارتی، افزایش تراکم از ۶۰ به ۲۴۰ بوته در مترمربع منجر به کاهش تعداد فولیکول در گیاه شد (شکل ۶). تأثیر تراکم بر تعداد کپسول مشابه تأثیر تراکم بر تعداد شاخه‌های گل‌دهنده است و همبستگی بین تعداد شاخه گل‌دهنده و تعداد کپسول در بوته بالا است (Amirmoradi & Rezvani Moghaddam, 2011). چنین نتیجه‌ای قبلاً توسط برخی محققان (Das et al., 1991; Ghosh et al., 1981; Toncer & Kizil, 2004) نیز گزارش شده است.

روی گیاه آنیسون (*Pimpinella anisum* L.) مشخص گردید که افزایش تراکم بوته از ۱۲/۵ به ۲۵ بوته در مترمربع، افزایش عملکرد دانه و عملکرد اسانس را به دنبال داشت. همچنین افزایش مصرف نیتروژن بهبود اجزای عملکرد دانه شامل تعداد چترک در بوته، عملکرد دانه و عملکرد اسانس را موجب گردید. البته افزایش بیش از حد تراکم کاهش اجزای عملکرد را موجب گردید.

اثر متقابل تیمارهای مورد مطالعه تأثیر معنی‌داری بر تعداد فولیکول در گیاه نداشت، اما اثرات ساده هر یک از تیمارها تأثیر معنی‌داری بر این صفت داشت، به‌طوری‌که رابطه منفی بین تراکم و



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر تراکم بوته بر تعداد فولیکول در بوته گیاه دارویی سیاهدانه

Fig. 6- Mean comparisons for the effect of plant density on number of follicles per plant of black seed as a medicinal plant

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 ($p \leq 0.05$).

کاهش معنی‌داری خواهند یافت.

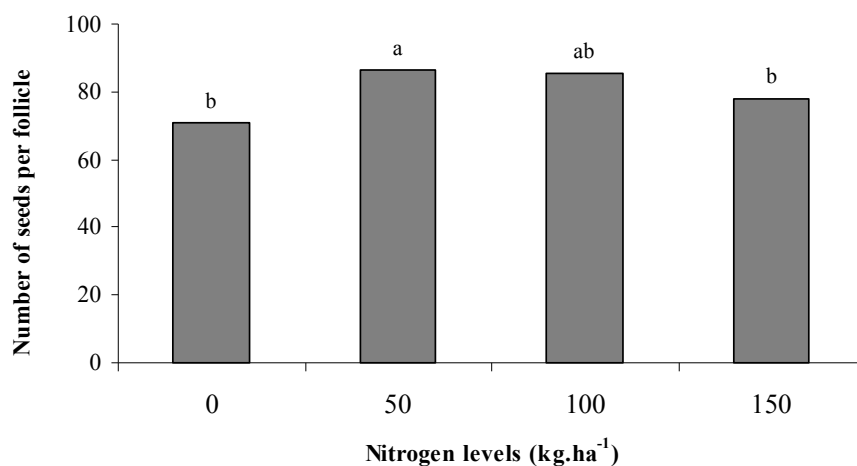
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که وزن هزار دانه تحت تأثیر هیچ یک از تیمارهای مورد آزمایش قرار نگرفت. اثر متقابل تیمارهای مورد بررسی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه نداشت و این صفت تنها تحت تأثیر سطوح مختلف مصرف نیتروژن قرار گرفت. به‌طوری‌که بین مقدار نیتروژن و عملکرد دانه رابطه مثبتی مشاهده شد ($r^2 = 0.80$). بیشترین عملکرد دانه از تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۸۹۵/۷ کیلوگرم در هکتار) و کمترین عملکرد از عدم کاربرد نیتروژن با (۵۸۹/۹ کیلوگرم دانه در هکتار) به‌دست آمد. افزایش مصرف نیتروژن بهبود عملکرد کاه و عملکرد بیولوژیکی سیاهدانه را موجب گردید و با توجه به نتایج مشخص است که مصرف بالای این

اثر سطوح مختلف مصرف نیتروژن نیز بر تعداد دانه در فولیکول تأثیر معنی‌داری داشت؛ به‌طوری‌که با افزایش مصرف نیتروژن به‌طور نسبی این صفت افزایش یافت (شکل ۷) که این نتایج با نتایج برخی از محققان (Das et al., 1991; Khan & Chatterjee, 1982) مطابقت داشت. اثر متقابل تراکم بوته در نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در فولیکول نداشت؛ در حالی‌که سطوح مختلف مصرف نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در فولیکول داشت.

با توجه به اینکه گیاه سیاهدانه، رشد نامحدود است و گل‌آذین‌های این گیاه در تمامی انشعابات ظاهر می‌شوند (Fillippo et al., 2002)، در نتیجه با کاهش نور و سایر منابع مورد نیاز به تبع آن کاهش سهم گیاه در استفاده از این منابع و شاخص‌های مختلف

گیاه سیاهدانه در تراکم‌های پایین، منجر به جبران کمبود تعداد گیاه کشت شده در تراکم‌های پایین می‌شود. اثر متقابل سطوح مختلف تیمارهای مورد آزمایش تأثیر معنی‌داری بر عملکرد کاه و کلش نداشت و این صفت صرفاً تحت تأثیر سطوح مختلف نیتروژن مصرفی قرار گرفت.

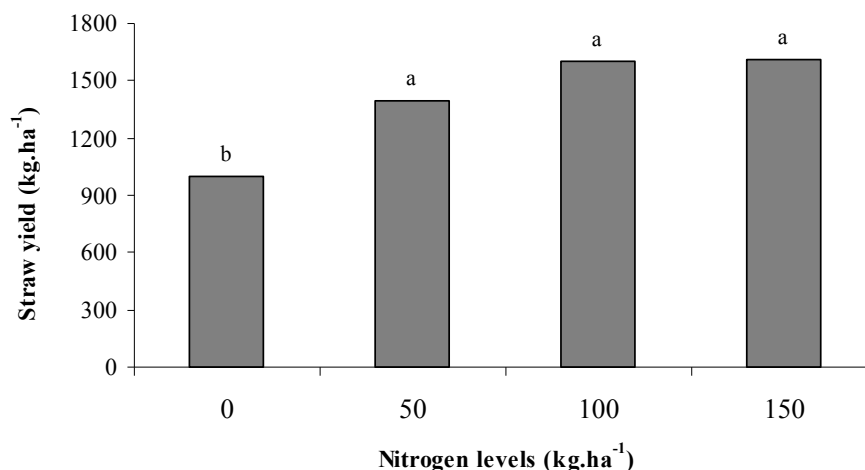
عنصر نمی‌تواند تأثیر بسزایی بر عملکرد این گیاه داشته باشد (شکل - های ۸ و ۹). خان و چاترجی (Khan & Chatterjee, 1982) با کاربرد ۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بیشترین عملکرد دانه و داس و همکاران (Das et al., 1991) با کاربرد ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بالاترین عملکرد را مشاهده نمودند. تراکم تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه نشان نداد، چنین به نظر می‌رسد که افزایش شاخه‌دهی



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر سطوح نیتروژن بر تعداد دانه در فولیکول گیاه دارویی سیاهدانه

Fig. 7- Mean comparisons for the effect of nitrogen levels on number of seeds per follicle of black seed as a medicinal plant

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 ($p \leq 0.05$).



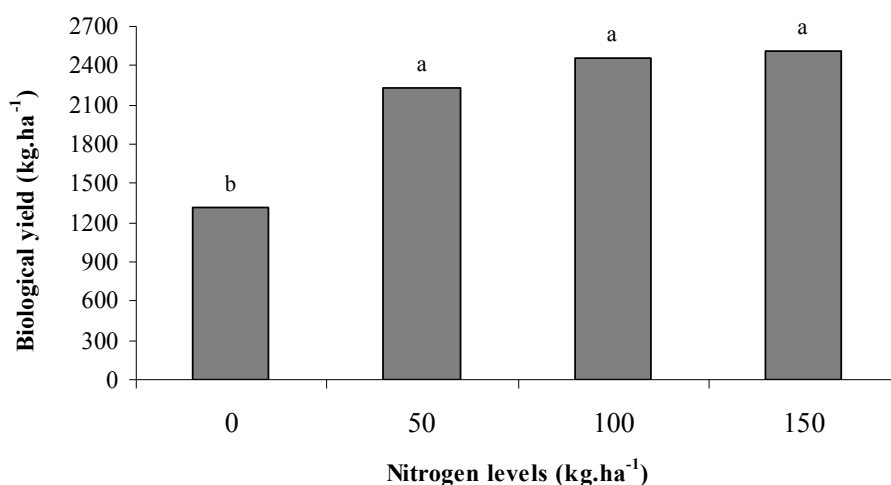
شکل ۸- مقایسه میانگین اثر سطوح نیتروژن بر عملکرد کاه گیاه دارویی سیاهدانه

Fig. 8- Mean comparisons for the effect of nitrogen levels on straw yield of black seed as a medicinal plant

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 ($p \leq 0.05$).

گیاه داشت. عملکرد بیولوژیک دارای همبستگی بالایی با عملکرد کاه و کلش ($r^2=0.99$) و عملکرد دانه ($r^2=0.97$) بود.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تیمارهای تراکم و نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک گیاه نداشت. اثر ساده میزان نیتروژن مصرفی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک



شکل ۹- مقایسه میانگین اثر سطوح نیتروژن بر عملکرد بیولوژیکی گیاه دارویی سیاهدانه

Fig. 9- Mean comparisons for the effect of nitrogen levels on biological yield of black seed as a medicinal plant

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 ($p \leq 0.05$).

بوته در مترمربع باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، درصد و عملکرد اسانس گیاه دارویی زنیان شد. اکبری‌نیا و همکاران (Akbarinia et al., 2006) با بررسی اثر کود نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد بذر، اسانس و روغن گیاه گشنیز گزارش نمودند که از لحاظ عملکرد بذر و عملکرد اسانس کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار و از لحاظ درصد اسانس تیمار ۹۰ کیلوگرم نیتروژن با تراکم ۳۰ بوته در مترمربع بالاترین مقدار را به خود اختصاص دادند. پاپ و همکاران (Pop et al., 2007) نیز نشان دادند که در گیاه همیشه‌بهار مصرف نیتروژن موجب افزایش عملکرد گل خشک گردید.

نتیجه‌گیری

لزوم برنامه‌ریزی دقیق برای استفاده بهینه از منابع در تولید پایدار گیاهان دارویی همچون سیاهدانه امری ضروری است. به‌طور کلی، نیتروژن نقش اساسی در رشد رویشی دارد و افزایش آن تا حد مطلوب، موجب افزایش میزان پروتئین و بهبود رشد و عملکرد گردید.

به‌طور کلی، نیتروژن نقش اساسی در ساختمان کلروفیل دارد و از طرفی، مهم‌ترین عنصر در سنتز پروتئین‌ها محسوب می‌شود و افزایش آن در شرایط مطلوب تا حد مشخصی، موجب افزایش میزان پروتئین می‌گردد. با افزایش پروتئین، گیاه به توسعه سطح برگ، تعداد گل، تعداد شاخه جانبی، ارتفاع و قطر تاج پوشش گیاهی می‌پردازد که افزایش این صفات افزایش تولید مواد فتوسنتزی و در نهایت، افزایش عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه را به دنبال دارد (Rahmani et al., 2010). وحیدی‌پور و همکاران (Vahidipour et al., 2013) نیز نشان دادند که مصرف کود نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد زنیان شد. دادوند سراب و همکاران (Dadvand et al., 2008) گزارش نمودند که افزایش تراکم بوته و نیتروژن اثر معنی‌داری بر عملکرد ماده خشک و عملکرد اسانس گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) داشت. قیلاوی‌زاده و همکاران (Ghilavizadeh et al., 2012) گزارش کردند که افزایش مصرف کودهای تأمین‌کننده نیتروژن و تراکم بوته از ۱۲/۵ به ۲۵

گیاه سیاهدانه در تراکم‌های پایین، منجر به جبران کمبود تعداد گیاه در تراکم‌های پایین شده و عملکرد را بهبود داده است. از طرف دیگر، افزایش بیش از حد تراکم به دلیل تشدید رقابت بین بوته‌ای اثر منفی بر شاخص‌های عملکرد سیاهدانه دارد.

بر اساس نتایج افزایش مصرف کود در مقادیر بالاتر برای دستیابی به حداکثر عملکرد کمی سیاهدانه و دیگر شاخص‌های رشدی مانند عملکرد بیولوژیکی کل و بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد می‌تواند مناسب باشد. در حالی که در بسیاری از این صفات تراکم تأثیر معنی‌داری نشان نداد، چنین به نظر می‌رسد که افزایش شاخه‌دهی

References

- Akbarinia, A., Daneshian, J., and Mohammadbeigi, F., 2006. Effect of nitrogen fertilizer and plant density on seed yield, essential oil and oil content of *Coriandrum sativum* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 22(4): 410-419. (In Persian with English Summary)
- Amirmoradi, S., and Rezvani Moghaddam, P., 2011. Effect of plant density and time of nitrogen application on morphological, phenological characteristics, yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). Journal of Horticulture Science 25(3): 251-260. (In Persian with English Summary)
- Atta, M.B., 2003. Some characteristics of (*Nigella sativa* L.) seed cultivated in Egypt and its lipid profile. Food Chemistry Journal 83(1): 63-68.
- Babayan, V.K., Kootungal, D., and Halaby, G.A., 1978. Proximate analysis, fatty acid and, amino acid composition of (*Nigella sativa* L.) seed. Journal of Food Science 43: 1315-1319.
- Baloch, A.W., Soomro, A.M., Javed, M.A., Ahmad, M., Bughio, H.R., and Bughio, M.S., 2002. Optimum plant density for high yield in rice (*Oryza sativa* L.). Asian Journal of Plant Science 1(2): 114-116.
- Blackman, V.H., 1919. The compound interest law and plant growth. Annals of Botany 33: 353-360.
- Dadvand Sarab, M.R., Naghdi Abadi, H.A., Nasri, M., Makizadeh, M., and Omid, H., 2008. Variations of essential oil contents and yield of Basil (*Ocimum basilicum* L.) affected by plant density and nitrogen. Medicinal Plants 3(27): 60-70. (In Persian with English Summary)
- Das, A.K., Sadhu, M.K., and Som, M.G., 1991. Effect of N and P levels on growth and yield of black cumin (*Nigella sativa* L.). Horticulture Journal 4: 41-47.
- Erkan, N., Ayranci, G., and Ayranci, E., 2008. Antioxidant activities of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) extract, blackseed (*Nigella sativa* L.) essential oil, carnosic acid, rosmarinic acid and sesamol. Food Chemistry 110: 76-82.
- Eydizadeh, K., Mahdavi Damghani, A., Sabahi, H., and Soufizadeh, S., 2010. Effects of Integrated application of biofertiliser and chemical fertilizer on growth of maize (*Zea mays* L.) in Shushtar. Journal of Agroecology 2(2): 292-301. (In Persian with English Summary)
- Gardner, F.P., Pearce, R.B., and Mitchell, R.M., 1985. Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press, 327 pp.
- Ghilavizadeh, A., Taghi Darzi, M., and Rejali, F., 2012. Influence of plant growth promoter bacteria and plant density on yield and yield components and seed yield of ajowan (*Carum copticum*). International Journal of Agriculture and Crop Sciences 4(17): 1255-1260.
- Ghobadi, M., Jahanbin, S., Motalebi Fard, R., and Parvizi, K., 2011. The effect of biological phosphate fertilizers to yield and yield components of potato. Sustainable Agriculture and Production Science 21(2): 117-130. (In Persian with English Summary)
- Ghosh, D.K., Roy, K., and Malic, S.C., 1981. Effect of fertilizers and spacing on yield and other characters of black cumin (*Nigella sativa* L.). Indian Agriculture 25: 191-197.
- Habibzadeh, Y., Mamghani, R., and Kashani, A., 2006. Effects of plant density on grain yield and some morpho-physiological traits in three mungbean (*Vigna radiate* L.) genotypes under Ahvaz conditions. Iranian Journal of Crop Science 8(1): 66-78. (In Persian with English Summary)
- Hamisi, M., Sefidkon, S., Nasri, M., and Lebaschi, M.H., 2012. Effects of different amounts of nitrogen, phosphor and bovine fertilizers on essential oil content and composition of *Tanacetum parthenium* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 28(3): 299-410. (In Persian with English Summary)
- Hokmalipour, S., and Seyedsharifi, R., 2014. Effect of seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) affected by different levels of nitrogen and phosphorus fertilizers on the yield and some physiological

- parameters of barley (*Hordeum vulgare* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 12(4): 822-833. (In Persian with English Summary)
- Hosseinpour, M., Pirzad, A., Habibi, H., and Fotokian, M.H., 2011. Effect of biological nitrogen fertilizer (*Azotobacter*) and plant density on yield, yield components and essential oil of anise. Journal of Sustainable Agriculture and Production Science 2(1): 69-86. (In Persian with English Summary)
- Hussain, A., Nadeem, A., Ashraf, I., and Awan, M., 2009. Effect of weed competition periods on the growth and yield of black seed (*Nigella sativa* L.). Pakistan Journal of Weed Science Research 15: 71-81.
- Jahan, M., Amiri, M.B., and Ehyaei, H.R., 2012. Absorption and radiation use efficiency of sesame affected by biological fertilizers in a low-input agroecosystem. Iranian Journal of Field Crops Research 2(10): 435-447. (In Persian with English Summary)
- Khan, S.A., and Chatterjee, B.N., 1982. Fertilizer use by *Nigella sativa* L. in West Bengal. Indian Journal of Agricultural Sciences 52: 389-387.
- Lebaschi, M.H., and Sharifi, E., 2004. Application of physiological growth indices for suitable harvesting of *Hypericum perforatum*. Pajouhesh and Sazandegi (65): 65-75. (In Persian with English Summary)
- Manaffee, W.F., and Kloepper, J.W., 1994. Applications of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable agriculture. In C.E. Pankhurst, B.M. Doube, V.V.S.R. Gupta and P.R. Grace, (Eds.) p. 23-31. CSLRO, Publication. East Melbourne: Australia.
- McMaster, G.S., and Wilhelm, W.W., 1998. Soil biota management in sustainable farming by shoots. Is soil temperature better than air temperature for predicting winter wheat phenology. Agronomy Journal 90(5): 602-607.
- Mehta, B.K., Pandit, V., and Gupta, M., 2009. New principle from seeds of *Nigella sativa*. Natural Product Research 23: 138-148.
- Mohammadian, M., Rezvani Moghaddam, P., Zarghani, H., and Yanegh, A.J., 2013. Morphological and physiological evaluation of intercropping of three elite sesames. Iranian Journal of Field Crops Research 7(2): 685-693. (In Persian with English Summary)
- Morteza, E., Akbari, G.A., Modares Sanavi, S.A.M., Aliabadi Farahani, H., Foghi, B., and Abdoli, M., 2010. The effects of sowing date and planting density on some of the growth characteristics of Valerian (*Valeriana officinalis* L.) and didrovaltrate content. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 25(4): 495-503. (In Persian with English Summary)
- Mosavi, S.G.R., Segatoleslami, M.J., and Pooyan, M., 2012. Effect of planting date and plant density on yield and seed yield components of *Plantago ovata* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27(4): 699-681. (In Persian with English Summary)
- Mosavi, S.H., Fathi, G., and Dadgar, M.A., 2005. Planting date and density on growth, yield components and yield of red beans. First Pulse National Conference, 20-21st November. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian)
- Mostafavi, M.J., 2014. The effect of chemical and biological fertilizers on quantitative and qualitative yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) in Mashhad climate condition. MSc. Thesis, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
- Oozooni Doji, A., Esfahani, M., Samee Zadeh Lahiji, H., and Rabiee, M., 2008. The effect of planting pattern and plant density on the growth and radiation use efficiency of two cultivars of without petals and with petals rapeseed. Iranian Journal of Field Crop Science 9(4): 382-400. (In Persian with English Summary)
- Pirzad, A.R., 2007. Effect of irrigation and plant density on some physiological traits of german chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Ph.D. Thesis, University of Tabriz, Tabriz, Iran 195 pp. (In Persian with English Summary)
- Pop, G., Pirsan, P., Mateoc-sirb, N., and Mateoc, T., 2007. Influence of technological elements on yield quantity and quality in marigold (*Calendula officinalis* L.) cultivated in cultural conditions of Timisoara. 1st International Scientific Conference on Medicinal, Aromatic and Spice Plants: Nitra, p. 20-23.
- Raei, Y., Ghasemi Golozaani, A., Javanshir, A., Aliyaari, H., and Mohammadi, A., 2008. Effect of plant density on intercropping of soybean and sorghum. Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources 12(45): 35-44. (In Persian with English Summary)
- Rahmani, N., Jalali-Yekta, A., Taherkhani, T., and Daneshian, J., 2010. Effect of different levels of plant density and nitrogen on essential oil yield of marigold (*Calendula officinalis* L.). Journal of Crop Ecophysiology 2(1): 347-354. (In Persian with English Summary)

- Ramadan, F.M., and Morsel, J.T., 2003. Analysis of glycolipids from black cumin (*Nigella sativa* L.), coriander (*Coriandrum sativum* L.) and niger (*Guizotia abyssinica* Cass.) oilseeds. Food Chemistry 80: 197-204.
- Rassam, G.A., Naddaf, M., and Sefiskon, F., 2007. Effect of planting date and plant density on yield and seed yield components of Anise (*Pimpinella anisum* L.). Pajouhesh and Sazandegi 75: 127-133. (In Persian with English Summary)
- Rezvani Moghaddam, P., Seyyedi, S.M., and Azad, M., 2016. Effect of fertilizer managements on yield and yield components of black seed (*Nigella sativa* L.). Journal of Agroecology 8(4): 598-611. (In Persian with English Summary)
- Saberali, F., Sadat Nouri, S.A., Hejazi, A., and Zand, E., 2007. Influence of plant density and planting pattern of corn on its growth and yield under competition with common lambesquarters (*Chenopodium album*). Journal of Research Production 74: 143-152.
- Seyed Sharifi, R., and Nemati, A.R., 2014. Influence of rates and nitrogen fertilizer application timing on yield and some growth physiological indices of corn (*Zea mays* L.). Journal of Crop Production and Processing 3(10): 49-67. (In Persian with English Summary)
- Sharifi Ashoorabadi, E., Matin, A., Lebaschi, M.H., and Abbaszadeh, B., 2004. Effects of nitrogen application methods on yield of Melissa (*Melissa officinalis*). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 20(3): 369-376. (In Persian with English Summary)
- Singh, S., Buttar, G.S., Singh, S.P., and Brar, D.S., 2005. Effect of different dates of sowing and row spacing on yield of fenugreek (*Trigonella foenum-gracum*). Journal of Medicine and Aromatic Plant Science 27(4): 629-640.
- Sobhani, G., Golchin, A., and Shekari, F., 2014. Effects of different levels of nitrogen and induced-NaCl stress on yield and growth indices of tomato. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture (Soiless Culture Research Center) 5(3): 49-63. (In Persian with English Summary)
- Tarigholeslami, M., Zarghami, R., Mashhad, M., Bojar, A., and Oveisi, M., 2012. Effect of nitrogen fertilizer and water deficit stress on physiological indices of corn (*Zea mays* L.). Journal of Agronomy and Plant Breeding 8(1): 161-174. (In Persian with English Summary)
- Toncer, O., and Kizil, S., 2004. Effect of seed rate on agronomic and technologic characters of *Nigella sativa* L. International Journal of Agriculture and Biology 6(3): 529-532.
- Vahidipour, T.H., Vahidipour, H.R., Baradaran, R., and Seqhatoleslami, M.J., 2013. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on grain yield and essential oil percentage of medicinal plant ajowan. International Journal of Agronomy and Plant Production 4(5): 1013-1022.
- Zafarian, F., Agha Alikhani, M., Rahimian Mashhadi, H., Zand, E., and Rezvani, M., 2007. Yield and yield components response of corn/soybean intercrop to simultaneous competition of redroot pigweed and jimson weed. Iranian Journal of Weed Science 3(1): 39-58. (In Persian with English Summary)



Effects of Plant Density and Nitrogen on Physiological Growth Indices, Yield Components and Yield of Black Seed (*Nigella sativa* L.) as a Medicinal Plant

A. Mollafilabi^{1*} and H. Moodi²

Submitted: 28-09-2018

Accepted: 27-11-2018

Mollafilabi, A., and Moodi, H., 2021. Effects of plant density and nitrogen rates on physiological growth, yield components and yield of black seed (*Nigella sativa* L.) as a medicinal plant. Journal of Agroecology 12(4):635-650.

Introduction

There is an increasing interest to produce medicinal plants as the demand for these natural products is also increasing in the world. Since the middle of the twentieth century, after identifying the negative side effects of chemical drugs, medicinal plants have been replaced by chemical drugs in many cases. Due to the climatic diversity, Iran has a high potential for the production of medicinal plants, however, only a very small portion of the world's market for medicinal plants is allocated to Iran. Considering the possibility of negative effects of chemicals on the quantity and quality of medicinal plants, it is necessary to use ecological principles. On the other hand, it seems that the cultivation of medicinal plants along with other crops would reduce weed and pest population due to the allelopathic properties of these plants. Cultivation of medicinal and aromatic plants has several advantages like higher net returns per area unit, low incidence of pests and diseases, improvement of degraded and marginal soils, longer shelf life of final products and foreign exchange earning potential. Black seed (*Nigella sativa* L.) is a widely used medicinal plant throughout the world which belongs to Ranunculaceae family. This experiment was carried out to evaluate physiological growth indices, yield and yield components of black seed affected by nitrogen rate and plant density under Mashhad climate conditions.

Materials and Methods

This experiment was conducted at the Agricultural Research Station of the Ferdowsi University of Mashhad, located in 10 km south-east of Mashhad (59° 36' East, 36° 15' N, 985 meters above sea level) during the 2016-2017 growing season. The experiment was conducted as factorial layout based on a randomized complete block design with two factors and four replications. Treatments were four plant densities (60, 120, 180 and 240 plants.m⁻²) and four nitrogen rates (0, 50, 100 and 150 kg N per ha as urea). Studied traits were leaf area index (LAI), dry matter accumulation (DM), crop growth rate (CGR), relative growth rate (RGR), plant height, yield components (such as number of branches per plant, number of follicles per plant, number of seeds per follicle and 1000-seed weigh), seed yield, straw yield and biological yield. SAS software was used to analyze the data and the comparison of means was done using Duncan multiple range test at 5% probability level. Charts were also drawn using Excel software.

Results and Discussion

The results indicated that the plant density and nitrogen rates affects leaf area index (LAI), dry matter accumulation (DM), crop growth rate (CGR), relative growth rate (RGR), plant height, yield components (such as number of branches per plant, number of follicles per plant, number of seeds per follicle and 1000-seed weigh), seed yield, straw yield and biological yield of black seed. The highest and lowest leaf area index was observed in 100 kg N and control, respectively. The fast period of vegetative growth, leaf area index and dry matter accumulation were observed at flowering stage with a small decline afterwards until physiological maturity. Also, crop growth rate reached to its peak in flowering stage followed by a decreasing trend afterwards. In addition, number of branches decreased sharply at high densities. The highest seed yield was observed from 150 kg N per ha (895.7 kg.ha⁻¹) and the lowest was for control (689.9 kg.ha⁻¹). Biological yield

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

2- MSc. in Agronomy, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad Mashhad, Iran.

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

Doi:10.22067/jag.v12i4.75617

had high correlation with straw yield ($r^2=0.99$) and seed yield ($r^2=0.97$).

Conclusion

Agronomic management strategies had significantly effect on growth, yield, and yield components of black seed. Generally, plant density and nitrogen rates are two effective techniques for agronomic management of the medicinal plants. Further, investigations on quantity and quality of medicinal plants including black seed in association with agronomic operations will provide additional information.

Keywords: Leaf area index, Number of follicles per plant, Seed yield, Straw yield



مقاله علمی - پژوهشی

ارزیابی عملکرد برگ خشک و بذریه و کارایی مصرف آب برگ و بذریه چهار اکوتیپ و سمه

(*Indigofera tinctoria* L.) در شرایط تنش کم‌آبی

فرامرز رستگاری^۱، عنایت‌اله توحیدی‌نژاد^{۲*} و قاسم محمدی‌نژاد^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۰۲

رستگاری، ف.، توحیدی‌نژاد، ع.، و محمدی‌نژاد، ق.، ۱۳۹۹. ارزیابی عملکرد برگ خشک و بذریه و کارایی مصرف آب برگ و بذریه چهار اکوتیپ و سمه (*Indigofera tinctoria* L.) در شرایط تنش کم‌آبی. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۴): ۶۵۱-۶۶۲.

چکیده

در مناطق خشک و نیمه‌خشک یکی از راه‌های ممکن، جهت دستیابی به پایداری تولیدات گیاهی، استفاده بهتر از آب به‌واسطه کاشت گیاهان متحمل به کم‌آبی با نیاز آبی کمتر می‌باشد. و سمه (*Indigofera tinctoria* L.) گیاهی فراموش شده و دارویی- صنعتی از خانواده بقولات است که در صنعت برای رنگ‌زایی و در طب سنتی برای درمان تنگی نفس و اسپاسم روده‌ای و نیز برای تقویت رشد مو و ... استفاده می‌شود. این آزمایش با هدف بررسی تأثیر تنش کم‌آبی بر عملکرد برگ خشک و بذریه و کارایی مصرف آب چهار اکوتیپ و سمه در طی سال‌های زراعی ۱۳۹۳-۹۴ و ۱۳۹۴-۹۵، به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان جیرفت استان کرمان اجرا شد. عوامل کرت اصلی و فرعی به‌ترتیب شامل تنش کم‌آبی (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی) و اکوتیپ (جیرفت، رودبار، قلعه گنج و ریگان) بودند. میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی و سمه ۶۸۰۰ مترمکعب می‌باشد. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد برگ خشک و سمه، عملکرد بذریه و کارایی مصرف آب بر پایه عملکرد برگ و بذریه بود. نتایج نشان داد که تنش ۷۵ (تنش ملایم) و ۵۰ درصد نیاز آبی (تنش شدید) عملکرد برگ خشک را به‌ترتیب ۸ و ۲۴ درصد و عملکرد بذریه را ۱۶ و ۵۹ درصد، نسبت به شاهد، کاهش داد. همچنین تنش ملایم و شدید به‌ترتیب موجب افزایش ۲۲ و ۵۳ درصدی کارایی مصرف آب برگ گردید. کارایی مصرف آب بذریه در شرایط تنش ملایم، به‌میزان ۱۰ درصد افزایش یافت. در حالی که اعمال تنش شدید، کاهش ۲۰ درصدی این پارامتر را به همراه داشت. در شرایط تنش شدید، بیشترین عملکرد برگ خشک و بذریه و نیز کارایی مصرف آب برگ، به‌ترتیب به‌طور میانگین به‌میزان ۵۱۰۰/۹ کیلوگرم در هکتار، ۳۳۱/۷۵ کیلوگرم در هکتار و ۱/۲۴ کیلوگرم در مترمکعب مربوط به اکوتیپ‌های جیرفت و رودبار بود. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش و نیز با توجه به شرایط اقلیمی گرم و خشک جنوب کرمان و از طرفی، ضرورت تغییر الگوی کشت با محوریت صرفه‌جویی در مصرف آب و برتری ارزش اقتصادی، پیشنهاد می‌شود اکوتیپ‌های جیرفت و رودبار جنوب و سمه را به‌عنوان گیاهی با نیاز آبی پایین در فصل تابستان و بعد از برداشت گندم و محصولات جالیزی کشت نمایند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، کارایی مصرف آب بر پایه برگ و بذریه، گیاه دارویی

مقدمه

تولید گیاهان زراعی، باغی و دارویی محسوب شده (Reddy et al., 2004) که به‌واسطه ایجاد تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و اختلالات متابولیسمی، بقاء و عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Claeys & Inzé, 2013). در این مناطق، استفاده کارآمد از آب، از طریق توسعه گیاهانی با نیاز آبی کمتر و تحمل بیشتر به کم‌آبی، از جمله راهبردهای اساسی و میسر برای دستیابی به تضمین و پایداری تولید می‌باشد (Maleki et al., 2013). با توجه به موقعیت جغرافیایی

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، کم‌آبی عامل اصلی محدودکننده

۱- دانشجوی دکتری زراعت گرایش اکولوژی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.

(*)- نویسنده مسئول: Email: e_tohidi@mail.uk.ac.ir

Doi: 10.22067/jag.v12i4.77250

تشعشعات فعال فتوسنتزی، کاهش کارایی استفاده از تشعشعات فعال فتوسنتزی و در نهایت، کاهش شاخص برداشت، عملکرد گیاهان دارویی را کاهش می‌دهد (Earl & Davis, 2003; Barnabas et al., 2007).

در بررسی‌های انجام شده پیرامون فنولوژی گل‌دهی گیاه وسمه، گزارش گردید بیشترین تغییرات در مرحله آغازش و تشکیل اندام‌های تولیدمثلی بوده و در اواخر گل‌دهی تغییرات ثابت و یکنواخت بوده است (Kremer, 2002). چنین استنباط می‌گردد تأثیر هر گونه عامل تنش‌زا با شروع فعالیت‌های نموی منطبق بر تغییرات شدید آغاز گل‌دهی، تشکیل و تعداد اندام‌های تولیدمثلی از جمله تعداد غلاف و تعداد دانه را هدف قرار می‌دهد. در همین راستا، محققین متعددی حساسیت گیاه وسمه به تنش آبی در مراحل نموی و گل‌دهی را مورد تأیید قرار داده‌اند (Taati et al., 2014; Mohammed, 2006). محققین با بررسی اثر سطوح مختلف کود دامی و تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد بذر و برگ گیاه وسمه، گزارش نمودند که بیشترین عملکرد برگ این گیاه در شرایط مصرف ۳۰ تن کود دامی در هکتار و تراکم ۳۰ بوته در مترمربع حاصل شده است (Khorramdel et al., 2016).

با توجه به اهمیت گیاه دارویی- صنعتی وسمه، این پژوهش با هدف ارزیابی عملکرد برگ خشک و بذر و کارایی مصرف آب اکوتیپ-های رایج در شهرستان جیرفت استان کرمان در شرایط تنش خشکی، به‌منظور معرفی برترین اکوتیپ این گیاه جهت توصیه مجدد کاشت این گیاه در الگوی این شهرستان، به‌اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در شهرستان جیرفت، اراضی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی جنوب کرمان واقع در محدوده ۵۷ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی، ۴۲ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۷۱۰ متر از سطح دریا، در طی دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. خاک اراضی مورد نظر دارای بافت متوسط (لومی-شنی)، اسیدیته ۷/۸ و هدایت الکتریکی (EC) ۱/۵ دسی‌زیمنس بود. میانگین دما و بارندگی در سال اول آزمایش به‌ترتیب ۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۵۳ میلی‌متر و در سال دوم آزمایش ۲۵/۶ درجه سانتی‌گراد و ۲۱۱ میلی‌متر بود (جدول ۱). آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد که

و اقلیمی ایران که در زمره مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد با وجود بحران آب، انتخاب گیاهان سازگار به این شرایط از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و لازمه آن کاشت گیاهان مقاوم به خشکی و با نیاز آبی کم می‌باشد (Safarnejad, 2004). در این خصوص، تعیین و انتخاب گیاهان دارویی متحمل به خشکی به‌لحاظ ارزش دارویی و اقتصادی حائز اهمیت می‌باشد (Omidbaigi, 2008).

گیاه فراموش‌شده وسمه (*Indigofera tinctoria* L.) گونه‌ای ارزشمند از خانواده بقولات است و در بسیاری از کشورهای جهان به‌عنوان گیاه زینتی برای تولید رنگ ایندیگو (رنگ‌های آبی برای رنگ‌آمیزی منسوجات) و همچنین به‌عنوان یک گیاه علفی- دارویی کاشت می‌گردد (Luiz-Ferreira et al., 2011; Puri et al., 2007). گونه‌های زراعی اصلی وسمه که برای تولید تجاری رنگ طبیعی آبی کاشت می‌شوند، شامل گونه بومی هند و آسیا (*Indigofera tinctoria* L.) و نیز گونه آنیل (*Indigofera suffruticosa* L.) بومی آمریکای مرکزی و جنوبی هستند (Cardon, 2007). ماده مؤثره موجود در برگ‌های گیاه وسمه، یک متابولیت ثانویه به‌نام گلوکوزید ایندیکان می‌باشد که پس از فراوری و اکسیداسیون گیاه، رنگ آبی، رنگ ایندیگو، را تولید می‌کند (Feeser et al., 2012). در طب سنتی عصاره گیاهی وسمه برای سمیت‌زدایی خون، درمان تنگی نفس (Bangar et al., 2011)، درمان اسپاسم روده‌ای (Elghazali et al., 2003) و تقویت رشد مو (Muthulingam, 2010) توصیه می‌شود. همچنین بذر این گیاه دارای شش نوع روتونئید (دگواتین، دهیدروگواتین، روتنول، روتنون، تفروسین و سوماترول) می‌باشد (Annie Felicia, 2012).

کاشت گیاه دارویی- صنعتی وسمه در مناطق گرم و خشک جیرفت، کهنوج، بم و ایرانشهر استان کرمان سابقه طولانی دارد. اگرچه گیاه وسمه از جمله گیاهان سازگار به شرایط گرم و خشک است، اما در مرحله جوانه‌زنی و استقرار اولیه به تنش کم‌آبی حساس می‌باشد. همچنین برای تولید بذر آن، دسترسی به آب کافی در زمان گل‌دهی لازم است (Taati et al., 2014). در همین راستا، محققین گزارش نموده‌اند که عملکرد زیست‌توده برگی، اجزای عملکرد و محتوی گیاه رنگ علاوه‌بر عوامل ژنتیکی به‌طور قابل توجهی متأثر از عوامل محیطی رشد می‌باشد (Angiliny et al., 2007) و تنش خشکی موجب کاهش زیست‌توده گیاه دارویی- صنعتی وسمه گردید (Sarhadi et al., 2014). تنش خشکی از طریق کاهش جذب

تنش خشکی (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی محصول) به عنوان فاکتور اصلی و چهار اکوتیپ وسمه (جیرفت، رودبار، قلعه گنج و ریگان) به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. فاصله بین بلوک‌ها و کرت‌ها به ترتیب ۱/۵ و ۱ متر و بین تکرارها دو متر در نظر گرفته شد. هر واحد آزمایشی شامل شش خط به طول چهار متر بود.

جدول ۱- میزان بارندگی و دما ماهیانه و میانگین سالیانه در دو سال آزمایش

Table 1- Monthly precipitation and temperature as well as annual average in two years of experiment

	سال Year	ماه‌های سال Months of year												میانگین سالیانه Average annual
		فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	مهر September	آبان October	آذر November	دی December	بهمن January	اسفند February	March	
بارندگی Precipitation (mm)	2015	29.0	13.6	-	-	-	-	-	-	0.2	23.4	8.1	78.7	153.0
	2016	7.6	8.7	-	-	-	-	-	129	-	59.8	0.9	5.0	211.0
دما Temperature (°C)	2015	22.1	27.9	33.5	35.32	35.5	32.3	28.7	20.0	15.6	13.8	16.5	15.9	25.0
	2016	24.8	30.4	34.6	36.2	35.3	32.7	28.7	21.6	14.9	13.5	13.7	19.6	25.6

مصرفی گیاه با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد (Alizadeh, 2004).

$$ETc = ETo \times Kc \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن، ETc : آب مصرفی گیاه و Kc : فاکتورهای گیاهی (با توجه به درختچه‌ای بودن وسمه این مقدار، ۱/۱ لحاظ گردید) می‌باشد.

در هر سه تیمار رطوبتی، آبیاری تا زمان استقرار کامل گیاه (۲۰ روز پس از کاشت)، در حد ۱۰۰ درصد نیاز آبی انجام شد. پس از استقرار کامل گیاه، آبیاری کرت‌های مربوط به تنش خشکی، در حد ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه تنظیم گردید. در حالی که، در تیمار آبیاری نرمال تا انتهای فصل رشد، آبیاری کرت‌های آزمایشی در حد ۱۰۰ درصد نیاز آبی ادامه یافت. لازم به ذکر است مقدار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه وسمه ۶۸۰۰ مترمکعب می‌باشد که با احتساب راندمان آبیاری، میزان آب مصرفی در تیمارهای ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی در سال اول به ترتیب ۸۲۱۰، ۶۳۵۸ و ۴۳۰۵ و در سال دوم به ترتیب ۸۳۰۰، ۶۴۲۵ و ۴۳۵۰ مترمکعب در هکتار بود که توسط کنتور حجمی تنظیم و در اختیار گیاه قرار گرفت.

براساس نتایج آزمون خاک، جهت تغذیه گیاهی و تأمین عناصر غذایی مورد نیاز (N-P-K) از منابع کودی اوره، سوپرفسفات تریپل و

بذری اکوتیپ‌های نام‌برده از بانک بذری مدیریت‌های جهاد کشاورزی و سازمان جهاد کشاورزی جنوب استان کرمان تهیه گردید. کاشت در اول خرداد ماه به صورت کپه‌ای با قرار دادن سه تا پنج بذری در کپه‌های به عمق سه سانتی‌متر و فاصله ۳۰ سانتی‌متر روی خط و ۵۰ سانتی‌متر بین خطوط انجام شد. در مرحله چهار برگ، عملیات تنک‌کاری صورت گرفت. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت، انجام شد. با توجه به آسیب‌پذیری گیاه وسمه در مرحله سبز شدن و جوانه‌زنی (Mohammed, 2006)، به منظور جلوگیری از تنش کم‌آبی و سلب‌بندی خاک، آبیاری‌های بعدی با فاصله یک روز در میان تا مرحله سبز شدن و ظهور گیاهچه ادامه یافت. پس از آن آبیاری به صورت هفتگی انجام شد. پس از استقرار کامل گیاه (ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری)، تیمارهای آبیاری بر حسب میزان تبخیر و تعرق روزانه از تشتک تبخیر و میزان آب مصرفی برآورد و اعمال شد. میزان آب مصرفی از طریق معادله ۱ برآورد شد (Alizadeh, 2004).

$$ETO = Kp \times Epan \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن، ETO : تبخیر و تعرق گیاه مرجع، $Epan$: تبخیر از تشتک و Kp : ضریب تشتک (معادل ۰/۷) می‌باشد. سپس میزان آب

سولفات پتاس با مصرف کل کود فسفاته و پتاسه و یک‌سوم نیتروژن همراه با تهیه زمین و باقی‌مانده نیتروژن یک ماه پس از سبز شدن، انجام شد.

به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد برگ خشک در دو مرحله ۶۵ و ۱۳۰ روز پس از سبز شدن، گیاه از ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری بالای سطح خاک برداشت شد. برگ‌ها جدا و با قرار دادن در آون به‌مدت ۴۸ ساعت با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توزین شدند. در پایان فصل رشد (نیمه اول آبان ماه) پس از قهوه‌ای شدن غلاف‌ها و رطوبت ۱۲ درصدی دانه‌ها، برداشت از سطح دو مترمربع با لحاظ اثر حاشیه‌ای، صورت گرفت. پس از کوبیدن غلاف‌ها و جداسازی بذر، عملکرد بذر محاسبه شد. برای محاسبه کارایی مصرف آب ماده خشک برگ و بذر به‌ترتیب از نسبت عملکرد ماده خشک برگ و بذر به‌میزان آب مصرفی بر حسب کیلوگرم بر مترمربع استفاده شد. با توجه به اینکه در طی فصل رشد بارندگی صورت نگرفت، فقط محتوی آب آبیاری لحاظ شد.

آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS v9.4 و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد خشک برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر عملکرد خشک برگ اکوتیپ‌های مورد مطالعه داشت (جدول ۲). بالاترین عملکرد برگ خشک (۶۲۴۴ کیلوگرم در هکتار) از تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد. تیمارهای ۷۵ (تنش ملایم) و ۵۰ درصد نیازی آبی (تنش شدید)، به‌ترتیب ۸/۵ و ۲۴ درصد، عملکرد خشک برگ را کاهش داد (جدول ۳). در بین اکوتیپ‌ها، بالاترین عملکرد خشک برگ (۵۹۹۸ کیلوگرم در هکتار) از اکوتیپ جیرفت به‌دست آمد و اکوتیپ‌های رودبار، قلعه گنج و ریگان به‌ترتیب با ۵۸۸۶، ۵۷۰۰ و ۴۷۶۷ کیلوگرم در هکتار (با ۲، ۵ و ۲۱ درصد کاهش) در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۳).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر متقابل سال×تنش در سطح پنج درصد بر عملکرد برگ خشک معنی‌دار بود. به‌طوری‌که بالاترین عملکرد برگ خشک (6583 kg.ha^{-1}) در شرایط آبیاری کامل در سال دوم و کمترین عملکرد ($4521/3 \text{ kg.ha}^{-1}$) در سال اول و تنش شدید

به‌دست آمد. (جدول ۳). اثر متقابل سال×اکوتیپ نیز در سطح پنج درصد بر عملکرد برگ خشک معنی‌دار بود، بالاترین عملکرد (kg.ha^{-1}) ۶۳۳۰ در سال دوم از اکوتیپ جیرفت و کمترین عملکرد (kg.ha^{-1}) ۴۴۲۷/۳ در سال اول و از اکوتیپ ریگان به‌دست آمد. به‌علاوه در سال اول اکوتیپ‌های جیرفت و رودبار تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۵).

همچنین عملکرد برگ خشک در سطح پنج درصد تحت تأثیر اثر متقابل تنش×اکوتیپ قرار گرفت. به‌طوری‌که بالاترین عملکرد برگ خشک از اکوتیپ‌های جیرفت ($6656/6 \text{ kg.ha}^{-1}$) و رودبار جنوب ($6583/1 \text{ kg.ha}^{-1}$) در شرایط نرمال آبیاری و در مقابل، کمترین عملکرد از اکوتیپ‌های قلعه گنج ($4844/0 \text{ kg.ha}^{-1}$) و ریگان ($4024/7 \text{ kg.ha}^{-1}$) در شرایط تنش شدید حاصل گردید. لازم به ذکر است در شرایط تنش شدید بین اکوتیپ‌های جیرفت و رودبار نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۶). رشد گیاهان به‌واسطه یک سری فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نظیر فتوسنتز، تنفس، انتقال مواد، جذب یون‌ها و متابولیسم فراورده‌ها و مواد غذایی که مسئول وزن خشک گیاه هستند، تحقق می‌یابد (Kafi et al., 2010) و این فرایندها به‌طور مستقیم تحت تأثیر مقدار و پایداری آب قابل دسترس می‌باشند که با افزایش فاصله آبیاری این فرایندها دچار اختلال شده و گیاه نمی‌تواند به حداکثر پتانسیل تولید ماده خشک دست یابد (Emam & Zavareh, 2006).

از طرفی، تولید گیاه زراعی در شرایط تنش خشکی شدیداً تابع فرایندهای تقسیم ماده خشک و توزیع در زیست‌توده می‌باشد و اغلب در این شرایط عمده مواد تولیدی از برگ‌ها با حفظ اولویت به اندام‌های زیرزمینی و سایر مقاصد فیزیولوژیکی ارسال و تخصیص می‌یابد (Kage, 2004)، به‌عبارتی، تنش خشکی جذب آب و مواد غذایی، سرعت رشد گیاه، طول فصل رشد، فتوسنتز گیاه، ارتفاع گیاه، سرعت رشد و توسعه ریشه را کاهش می‌دهد و در نهایت، مجموعه این عوامل موجب کاهش تولید ماده خشک گیاه می‌گردند (Pessarkli, 1999). چنین استنباط می‌گردد که با وجود اینکه گیاه وسمه در مراحل رشد رویشی به کم‌آبی سازگار می‌باشد، اما به‌دلیل منطبق بودن تقویم زراعی رشد گیاه بر روزهای گرم تابستان با تبخیر و تعرق بالا، وقوع تنش کم‌آبی و همچنین خشکی هوا، با اختلال در فعالیت روزنه‌ای و تبادلات گازی، محدودیت فتوسنتز و افزایش تنفس گیاهی میزان رشد ساختار گیاه، توسعه برگ و در نهایت، تولید ماده خشک را

محدود نموده‌است. با این وجود، نتایج این مطالعه با یافته‌های قبلی در گیاه وسمه (Sarhadi et al., 2014; Mohammed, 2006) و گیاه دارند. سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) (Rezapor et al., 2012) مطابقت

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و کارایی مصرف آب اکوتیپ‌های وسمه
Table 2- Analysis of variance (mean squares) for drought stress effects on yield and water use efficiency (WUE) in indigo ecotypes

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک برگ	عملکرد بذر	کارایی مصرف آب برگ	کارایی مصرف آب بذر
Source of variation	d.f	Leaf dry weight	Seed yield	WUE _{leaf}	WUE _{Seed}
سال	1	6365193.07**	156705.75**	0.11 ^{ns}	0.003**
Year					
تکرار (سال)	4	1839949.7	122439.5	0.05 ^{ns}	0.003
Replication (year) (Y)					
تنش خشکی	2	13804858.7**	1269425.07**	0.96**	0.005**
Drought stress (D)					
D × Y	2	47016.7*	9241.9**	0.002*	0.00006**
خطا	8	440705.6	6200.1	0.001	0.00003
Error					
اکوتیپ	3	5666295**	54119.5**	0.17**	0.0015**
Ecotype (E)					
Y × E	3	53308.2*	734.14*	0.002*	0.00002 ^{ns}
تنش × اکوتیپ	6	17971.5*	1570.3**	0.004**	0.000004 ^{ns}
D × E					
Y × E × Dt	6	9660.9 ^{ns}	325.1 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.00001 ^{ns}
خطا	36	15142.61	422.11	0.0006	0.000011
Error					
ضریب تغییرات		2.2	3.66	2.62	3.69
CV (%)					

ns: عدم اختلاف معنی‌دار

ns: Non-significant.

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

* and **: Significant at 5 and 1% probability level, respectively.

عملکرد بذر

(۲۹۴/۵) نیز از اکوتیپ قلعه‌گنج در شرایط تنش شدید حاصل شد، به‌علاوه در شرایط تنش شدید اکوتیپ‌های جیرفت و رودبار تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۶). عملکرد بذر اکوتیپ‌های مطالعه شده در سطح احتمال پنج درصد نیز به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات متقابل سال × اکوتیپ قرار گرفت، بالاترین عملکرد بذر ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) ۶۶۲/۲ در سال دوم و از اکوتیپ جیرفت و کمترین عملکرد بذر ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) ۴۳۳/۴ با ۳۵ درصد اختلاف در سال اول از اکوتیپ ریگان به‌دست آمد (جدول ۵).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد بذر اکوتیپ‌های مورد مطالعه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت (جدول ۲)، به‌طوری‌که تنش ملایم و شدید عملکرد بذر را به ترتیب ۱۶ و ۵۹ درصد نسبت به شرایط نرمال آبیاری کاهش داد (جدول ۳). اختلاف بین اکوتیپ‌ها نیز معنی‌دار بود، به‌طوری‌که اکوتیپ جیرفت با ۶۱۵ کیلوگرم در هکتار برترین و اکوتیپ‌های رودبار، قلعه‌گنج و ریگان با ۵۸۷،۵۵۲ و ۴۸۷ کیلوگرم در هکتار به ترتیب با ۴، ۱۰ و ۲۱ درصد اختلاف در رتبه‌های بعدی قرار داشتند (جدول ۳). اثر متقابل تنش و اکوتیپ در سطح پنج درصد به‌طور معنی‌داری عملکرد بذر را متأثر ساخت. به‌طوری‌که بالاترین عملکرد بذر ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) ۸۱۲/۷ از اکوتیپ جیرفت در شرایط نرمال آبیاری و کمترین عملکرد بذر ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات گیاهی چهار اکوتیپ وسمه در شرایط نرمال و تنش خشکی

Table 3- Means comparison of plant characteristic of indigo ecotypes under normal and drought stress conditions				
تیمارها Treatments	عملکرد خشک برگ Leaf dry yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد بذر Seed yield (kg.ha ⁻¹)	کارایی مصرف آب برگ Leaf water use efficiency (kg.m ⁻³)	کارایی مصرف آب بذر Seed water use efficiency (kg.m ⁻³)
سال Year				
2014-15	5290.3 a*	513.63 a	0.91 a	0.083 a
2015-16	5885 a	606.93 a	0.99 a	0.095 a
تنش خشکی Stress				
شاهد Normal	6263.94 a	747.31 a	0.76 c	0.09 b
تنش ملایم Mild stress	5731.32 b	630.02 b	0.93 b	0.1 a
تنش شدید Severe stress	4767.65 c	303.50 c	1.16 a	0.07 c
اکوتیپ‌ها Ecotypes				
جیرفت Jiroft	5998.2 a	614.8 a	1.02 a	0.098 a
رودبار Roudbar	5885.97 b	586.7 b	1.00 b	0.093 b
قلعه گنج Ghale-Ganj	5699.85 c	552.01 c	0.97 c	0.087 c
ریگان Rigan	4766.53 d	487.6 d	0.81 d	0.077 d

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر جزء بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

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

در تأیید حساسیت گیاه وسمه به تنش کم‌آبی در مراحل نموی و گل‌دهی و همچنین اتفاق نظر محققین مبنی بر کاهش شاخص برداشت گیاهان دارویی و معطر تحت شرایط خشکی اشاره نمود (Barnabas et al., 2007; Earl & Davis, 2003). با این وجود، نتایج این پژوهش با نتایج مطالعات قبلی ارائه شده در گل مکزیکی (*Agastache foeniculum* L.) (Mohammed et al., 2002)، در سویا (*Glycine max* L.) (Kobraei et al., 2011) و در کدو تنبل (*Cucurbita maxima* L.) (Aghayee & Ehsanzadeh, 2012) مطابقت دارد.

اثر متقابل سال×تنش در سطح احتمال پنج درصد نیز بر عملکرد بذر معنی‌دار بود، به‌طوری‌که بالاترین عملکرد ($806/2 \text{ kg.ha}^{-1}$) در سال دوم و شرایط نرمال آبیاری و کم‌ترین عملکرد ($303/5 \text{ kg.ha}^{-1}$) طی دو سال و شرایط شدید تنش حاصل شد، به‌علاوه عملکردهای حاصل از سال اول و شرایط نرمال آبیاری با عملکردهای سال دوم و تنش ملایم تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۴). فراهم بودن رطوبت قابل دسترس خاک به‌واسطه توسعه ساختار گیاه و جذب انرژی تابشی بیشتر موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاهی می‌گردد. به عبارتی دیگر، تنش وارده از طریق ایجاد محدودیت در رشد و تولید ماده خشک، تخصیص و تسهیم بین اندامی و انتقال مجدد، متأثر ساختن تعداد و اندازه دانه شاخص برداشت را کاهش می‌دهد (Goldani & Rezvani Moghaddam, 2006). در تأیید این موضوع می‌توان به نتایج مطالعات انجام شده توسط سایر محققین

جدول ۴- اثر متقابل تیمارهای سال (سال اول: ۱۳۹۳-۹۴ و سال دوم: ۹۵-۱۳۹۴) و تنش خشکی بر عملکرد برگ، بذری مصرف آب و سیمه
 Table 4- Mean comparisons for interaction effects of year (first year: 2014-2015 and second year: 2015-2016) and drought stress on dry leaf yield, grain yield and water use efficiency (WUE) of seed and leaf

تنش Stress	عملکرد برگ خشک		عملکرد بذر		کارایی مصرف آب برگ		کارایی مصرف آب بذر	
	Leaf dry weight (kg.ha ⁻¹)		Seed yield (kg.ha ⁻¹)		Leaf water use efficiency (kg.m ⁻³)		Seed water use efficiency (kg.m ⁻³)	
	سال Year							
	اول First	دوم Second	اول First	دوم Second	اول First	دوم Second	اول First	دوم Second
شاهد Control	5944.1 *b	6583.8 a	688.4 b	806.2 a	0.73 f	0.79 c	0.08 c	0.09 b
تنش ملایم Mild stress	5405.5 c	6057.12 b	573.0 c	687.1 b	0.88 d	0.97 c	0.09 b	0.11 a
تنش شدید Severe stress	4521.3 e	5014.0 d	279.4 d	327.5 d	1.11 b	1.21 a	0.07 e	0.08 d

* در هر ستون و برای هر صفت، میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر جزء بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
 * Means in each column and for each parameter, followed by similar letter(s) for each component are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Rang Test.

کارایی مصرف آب برگ (WUE_{leaf})

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب برگ اکوتیپ‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین صفت مذکور نشان داد که با افزایش شدت تنش ملایم و شدید کارایی مصرف آب برگ به‌ترتیب ۲۲ و ۵۳ درصد افزایش یافت (جدول ۲). تفاوت کارایی مصرف آب برگ اکوتیپ‌ها نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، به‌طوری‌که اکوتیپ جیرفت با کارایی مصرف ۱/۰۲ کیلوگرم بر مترمکعب برترین و اکوتیپ‌های رودبار جنوب، قلعه‌گنج و ریگان به‌ترتیب با کارایی مصرف آب ۱، ۰/۹۷ و ۰/۸۱ کیلوگرم بر مترمکعب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۳).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر متقابل تنش×اکوتیپ در سطح احتمال پنج درصد بر کارایی مصرف آب برگ معنی‌دار بود. به‌طوری‌که در شرایط تنش شدید، بالاترین کارایی مصرف آب برگ بدون اختلاف آماری معنی‌دار از اکوتیپ‌های جیرفت (۱/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب) و رودبار جنوب (۱/۲۳ کیلوگرم بر مترمکعب) و در مقابل، کم‌ترین آن مربوط به اکوتیپ ریگان (۰/۶۶ کیلوگرم بر مترمکعب) بود (جدول ۶). اثرات متقابل سال×اکوتیپ نیز بر صفت مذکور در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، برترین کارایی

مصرف آب برگ (۱/۱ کیلوگرم بر مترمکعب) در سال دوم به اکوتیپ جیرفت و کم‌ترین آن (۰/۷۶ کیلوگرم بر مترمکعب) در سال اول به اکوتیپ ریگان تعلق گرفت، ضمن اینکه بین اکوتیپ جیرفت در سال اول با قلعه‌گنج در سال دوم، رودبار و قلعه‌گنج در سال اول تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵).

علاوه‌براین اثرات متقابل سال×تنش بر صفت مذکور معنی‌دار بود، برترین کارایی مصرف آب برگ (۱/۲ کیلوگرم بر مترمکعب) از سال دوم و شرایط تنش شدید و کم‌ترین آن (۰/۷۳ کیلوگرم بر مترمکعب) از سال اول و شرایط نرمال آبیاری حاصل شد (جدول ۴). چروت و همکاران (Cheruth et al., 2008) در بررسی و ارزیابی واکنش دو واریته گل‌پریوش (*Catharanthus roseus* L.) به تنش آبی گزارش کردند که کارایی مصرف آب هر دو واریته در شرایط تنش افزایش یافته‌است. در شرایط تنش ملایم به‌دلیل بسته شدن جزئی روزنه‌ها و کاهش تعرق کارایی مصرف آب افزایش، اما در شرایط تنش شدید به‌دلیل بسته شدن کامل روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز و عملکرد، کارایی مصرف آب کاهش می‌یابد (Emam & Zavareh, 2006).

باتوجه به سازگاری بلندمدت اکوتیپ‌ها متأثر از شرایط اقلیمی استنباط می‌گردد ساختار رشد بوته‌ای بسته، کوتاه‌تر و زودرسی در

مراحل فنولوژی در اکوتیپ‌های قلعه گنج و ریگان تا انشعابات باز، بلندتر و رسیدگی متعادل‌تر در اکوتیپ‌های رودبار و جیرفت متأثر از شرایط گرم و خشک‌تر همراه با وزش بادهای گرم تابستانه قلعه گنج و ریگان نسبت به شرایط مناسب و مطلوب‌تر در جیرفت می‌تواند زمینه

برتری اکوتیپ‌های جیرفت و رودبار جنوب در کارایی جذب تشعشع، تولید و تسهیم ماده خشک و در نهایت، تفاوت در عملکرد زیست‌توده و بذر را فراهم نماید.

جدول ۵- اثر متقابل تیمارهای سال (سال اول: ۱۳۹۳-۹۴ و سال دوم: ۱۳۹۴-۹۵) و اکوتیپ بر عملکرد بذر، برگ خشک و کارایی مصرف آب
Table 5- Interaction effect of year (first year: 2014-2015 and second year: 2015-2016) and ecotype on seed yield, dry leaf yield and water use efficiency (WUE)

اکوتیپ‌ها Ecotypes	عملکرد برگ خشک Leaf dry weight (kg.ha ⁻¹)		عملکرد بذر Seed yield (kg.ha ⁻¹)		کارایی مصرف آب برگ WUE _{Leaf} (kg.m ⁻³)	
	سال Year		سال Year		سال Year	
	اول First	دوم Second	اول First	دوم Second	اول First	دوم Second
جیرفت Jiroft	5666.1 *d	6330.3 ^a	567.4 ^d	622.2 ^a	0.97 ^{cd}	1.07 ^a
رودبار Roudbar	5588.2 ^{de}	6183.7 ^b	540.2 ^e	633.2 ^b	0.96 ^{cd}	1.04 ^b
قلعه گنج Ghale-Ganj	5479.5 ^e	5920.2 ^c	513.5 ^f	590.5 ^c	0.94 ^e	0.99 ^c
ریگان Rigan	4427.4 ^g	5105.6 ^f	433.45 ^g	541.73 ^e	0.76 ^g	0.86 ^f

* در هر ستون و برای هر صفت، میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر جزء بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
* Means in each column and for each parameter, followed by similar letter(s) for each component are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Rang Test.

جدول ۶- اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و اکوتیپ بر عملکرد برگ خشک، بذر و کارایی مصرف آب برگ
Table 6- Interaction effect of year and ecotype on seed yield, dry leaf yield and leaf water use efficiency (WUE)

اکوتیپ‌ها Ecotypes	عملکرد برگ خشک Leaf dry weight (kg.ha ⁻¹)			عملکرد بذر Seed yield (kg.ha ⁻¹)			کارایی مصرف آب برگ WUE _{Leaf} (kg.m ⁻³)		
	شاهد Normal	تنش ملایم Mild stress	تنش شدید Severe stress	شاهد Normal	تنش ملایم Mild stress	تنش شدید Severe stress	شاهد Normal	تنش ملایم Mild stress	تنش شدید Severe stress
	شاهد Normal	تنش ملایم Mild stress	تنش شدید Severe stress	شاهد Normal	تنش ملایم Mild stress	تنش شدید Severe stress	شاهد Normal	تنش ملایم Mild stress	تنش شدید Severe stress
جیرفت Jiroft	6659.6 *a	6199.4 ^c	5135.7 ^g	812.7 ^a	689.3 ^d	342.3 ^h	0.81 ^f	1.00 ^c	1.25 ^a
رودبار Roudbar	6583.12 ^a	6008.7 ^d	5066.1 ^g	782.7 ^b	656.12 ^e	321.2 ^h	0.80 ^f	0.97 ^{cd}	1.23 ^a
قلعه گنج Ghale-Ganj	6412.12 ^b	5843.3 ^e	4844.0 ^h	737.4 ^c	624.1 ^f	294.5 ⁱ	0.78 ^f	0.95 ^e	1.18 ^b
ریگان Rigan	5400.90 ^f	4873.8 ^h	4024.7 ⁱ	656.3 ^e	550.5 ^g	256 ^j	0.66 ^g	0.79 ^f	0.98 ^{cd}

* در هر ستون و برای هر صفت، میانگین‌های دارای حروف مشترک برای هر جزء بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
* Means in each column and for each parameter, followed by similar letter(s) for each component are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Rang Test.

کارایی مصرف آب بذر (WUE_{seed})
اکوتیپ‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲)،
نتایج نشان داد که اثر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب بذر به‌طوری که کارایی مصرف آب بذر در شرایط نرمال آبیاری ۰/۰۰۹

(Allen & Maski, 1993). همچنین در تحقیق انجام شده روی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) مشاهده شد که در شرایط تنش آبی و در نتیجه، تعرق کمتر گیاه، کارایی مصرف آب لوبیا افزایش قابل توجهی یافت که این نتایج با نتایج حاصل از تحقیق حاضر مطابقت داشت (Wakarim et al., 2005).

نتیجه گیری

با توجه به نتایج تحقیق حاضر می توان بیان داشت که تنش کم آبی عملکرد برگ خشک و بذر و نیز کارایی مصرف آب گیاه و سمه را تحت تأثیر قرار داد. اگرچه اکوتیپ های جیرفت و رودبار جنوب و سمه، نسبت به اکوتیپ های قلع گنج و ریگان از تنش خشکی کمتر اثر پذیرفتند. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش و نیز با توجه به شرایط اقلیمی گرم و خشک جنوب کرمان و از طرفی، ضرورت تغییر الگوی کشت با محوریت صرفه جویی در مصرف آب و برتری ارزش اقتصادی، می توان کاشت اکوتیپ های جیرفت و رودبار جنوب را در فصل تابستان در تناوب بعد از گندم و محصولات جالیزی توصیه نمود.

کیلوگرم بر مترمکعب بود و در شرایط تنش ملایم با ۱۰ درصد افزایش به ۰/۱ کیلوگرم بر مترمکعب رسید و با افزایش شدت تنش با ۲۰ درصد کاهش به ۰/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب نقصان یافت (جدول ۳). تفاوت کارایی مصرف آب بذر اکوتیپ ها نیز در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود، به طوری که اکوتیپ جیرفت با کارایی مصرف ۰/۰۹۸ کیلوگرم بر مترمکعب برترین و اکوتیپ های رودبار جنوب، قلعه گنج و ریگان به ترتیب با کارایی مصرف آب بذر ۰/۰۹۳، ۰/۰۸۷ و ۰/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب در رتبه های بعدی قرار گرفتند (جدول ۳). اثر متقابل سال × تنش نیز در سطح احتمال پنج درصد بر صفت کارایی مصرف آب بذر اکوتیپ های مطالعه شده معنی دار بود، بالاترین کارایی (۰/۱۱) کیلوگرم بر مترمکعب) در سال دوم و تنش ملایم و کم ترین کارایی (۰/۰۷) کیلوگرم بر مترمکعب) در سال اول و تنش شدید حاصل شد، ضمن اینکه بین کارایی حاصل از سال دوم و شرایط نرمال آبیاری با کارایی سال اول و تنش ملایم تفاوت معنی - داری مشاهده نشد (جدول ۴). در تحقیقات انجام شده افزایش کارایی مصرف آب در نتیجه اعمال تنش خشکی گزارش شده است و علت این امر می تواند به دلیل هدررفت آب از طریق تبخیر و تعرق و نفوذ عمقی بیشتر در شرایط عدم تنش در مقایسه با تنش خشکی باشد

References

- Aghayee, A.H., and Ehsanzadeh, M., 2012. Effect of irrigation and nitrogen on yield and some physiological parameters of pumpkin paper. *Journal Horticultural Science* 42(3): 291-299.
- Alizadeh, A., 2004. Soil water-plant relationship publishing center of Mashhad, Imam Reza University, 6th Ed., ISBN: 964-6582-57-5, p. 302. (In Persian with English Summary)
- Allen, R.R., and Musik, J.T., 1993. Planting date, water management and maturity length relations for irrigated grain sorghum. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 36: 1123-1129.
- Bangar, V.A., and saralaya, M.G., 2011. Anti-hyperglycaemic activity of ethanol extract and chlroform extract of *Indigofera tinctoria* leaves in streptozotocin induced diabetic mice (Family- Papilionaceae). *Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Science* 2(1): 445-455.
- Barnabas, B., Jager, K., and Feher, A., 2007. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell and Environment* 31(1): 11-38.
- Cardon, D., 2007. *Natural Dyes: Sources, Tradition, Technology and Science*, Archetype Publications, London.
- Cheruth, A.J., Gopi, R., Sankar, B., Gomathinayagam, M., and Panneerselvam, R., 2008. Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress. *Comptes rendus Biologies* 331(1): 42-47.
- Claeys, H., and Inzé, D., 2013. The agony of choice: how plants balance growth and survival under water-limiting conditions. *Plant Physiology* 162: 1768-1779.
- Earl, H., and Davis, R.F., 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal* 95: 688-696.
- ElGhazali, G.E., Abdalla, W.E., Khalid, H.E., Khalafal, M.M., and Hamad, A.A., 2003. Medicinal plants of the Sudan .Medicinal plants of the Ingassana area. Part V. Ministry of Science and Technology, National Centre for Research, Medicinal and Aromatic Plants Institute, Khartoum.

- Emam, Y., and Zavaerh, M., 2006. Drought Tolerance in Higher Plants. Publishing Center of Tehran University, p. 186. (In Persian)
- Feeser, A., Goggin, M.D., and Tobin, B.F., 2012. The Materiality of Color- The production, circulation and application of dyes and pigments. MPG Books Group, UK.
- Goldani, M., and Rezvani Moghaddam, P., 2006. Effect of planting date and drought levels on yield and yield components of rain fed and irrigated pea in Mashhad. Journal of Agricultural Research 2(2): 229-239. (In Persian with English Summary)
- Kafi, M., Borzooei, A., Salehi, A., Kamandi, A., Massomi, A., and Nabati, C.J., 2010. The Physiology of Environmental Stress in Plants. Published by University of Mashhad, Mashhad, Iran. p. 502. (In Persian)
- Kage, H., Kochler, M., and Stutzel, H., 2004. Root growth and dry matter partitioning of cauliflower under drought stress conditions: measurement and simulation. European Journal of Agronomy 20: 379-394.
- Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., Houshmand, M., and Moallem-Benhangi, F., 2016. Effect of different levels of manure and plant density on yield and yield components of grain and leaf of indigo. Plant Products Research Journal 23: 117-143.
- Kobraei, S., Etminan, A., Mohammadi, R., and Kobraee, S.O., 2011. Effects of drought stress on yield and yield components of soybean. Annals of Biological Research 2(5): 504-509.
- Kremer, D., 2002. Phenology of summer flowering of some woody plants in the botanical garden of the faculty of natural sciences and mathematics. Sumarski-List 126: 489-499.
- Luiz-Ferreira, A., Cola, M., Barbastefano, V., Farias-Silva, E., Calvo, T.R., Almeida, A.B.A.D., Pellizzon, C.H., Hiruma-Lima, C.A., Vilegas, W., and Souza-Brito, A.R.M., 2011. *Indigofera suffruticosa* Mill. as new source of healing agent: involvement of prostaglandin and mucus and heat shock proteins. Journal of Ethnopharmacology 137: 192-198.
- Maleki, A., Naderi, R., Naseri, A., Fathi, A., Bahamin, S., and Maleki, R., 2013. Physiological performance of soybean cultivars under drought stress. Bulletin of Environment Pharmacology and Life Science 2(6): 38-44.
- Mohammed, N., 2006. Potentialities of indigo plant (*Indigofera tinctoria*) production in the Sudan for domestic use, and exportation. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, University of Khartoum.
- Muthulingam, M., Mohandoss, P., Indra, N., and Sethupathy, S., 2010. Anti-hepatotoxic efficacy *Indigofera tinctoria* (Linn.) on paracetamol induced liver damage in rats. International Journal of Pharmacy and Biological Research (1): 13-18.
- Omidbaigi, R., 2008. Production and Processing of Medicinal Plants. Astan Ghods Press, Mashhad, Iran. Vol. 3, 5th Ed. P. 348. (In Persian)
- Pessarkli, M., 1999. Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker. New York Inc. p. 697.
- Puri, A., Khaliq, T., and Rajendran, S.M., 2007. Antidyslipidemic activity of *Indigofera tinctoria*. Journal of Pharmaceutical and Herbal 7: 57-64.
- Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., and Vivekananda, M., 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plant. Journal of Plant Physiology 161: 1189-1202.
- Rezapour, A., Heidari, K., Golvi, K., and Ramroudi, K., 2012. Effects of drought stress and different amounts of sulfur fertilizer on yield and yield components of black cumin grains and adjustment of osmotic regulators. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Researches 27(3): 396-384. (In Persian with English Summary)
- Safarnejad, A., 2004. Characterization of somaclones of *Medicago sativa* L. for drought tolerance. Journal of Agricultural Science and Technology 6: 121-127.
- Sarhadi, H., Afsharmanesh, G.R., and Mokhtari, Z., 2014. Effect of drought Stress on some morphological traits and seed yield of indigo (*Indigofera Tinctoria* L.) under different levels of nitrogen. International Journal of Science 3: 2319-5037.
- Taati, F., Talebi, H., Ebadi, M.T., Khoshnood Yazdi, A., and Dadkhah, A., 2014. Effect of drought and salt stress conditions on germination factors of indigo (*Indigofera tinctoria*). Environmental Stresses in Crop Science 7: 119-112.
- Wakarim, A., Aganchich, H., Tah, H., Serraj, R., and Wahabi, S., 2005. Comparative effects of PRD and regulated deficit irrigation on water relation and water use efficiency in *common bean*. Agriculture, Ecosystems and Environment 106: 275-782.



Evaluating the Yield of Dry Leaf and Seed and Leaf and Seed Water Use Efficiency of four Indigo (*Indigofera tinctorial* L.) Ecotypes under Water Deficit conditions

F. Rastegari¹, E. Tohidinejad^{2*} and G. Mohammadi-nejad²

Submitted: 17-11-2018

Accepted: 22-01-2019

Rastegari, F., Tohidinejad, E., and mohamadi-nejad, G., 2021. Evaluation of yield of dry leaf and seed and leaf and seed water use efficiency of four indigo (*Indigofera tinctorial* L.) ecotypes under water deficit conditions. Journal of Agroecology 12(4):651-662.

Introduction

In arid and semi-arid regions, efficient use of water through improved cultivars with less water requirement and more drought tolerance is a basic important way to achieve assurance and stability of crop production. Water use efficiency (WUE) indicates the amount of consumed water for yield production and is defined as the ratio of dry matter or economic yield weight (g) to used water weight (m³). Indigo varieties are grown in many countries as ornamental plants for indigo color production and also as medicinal vegetative plants. Indigo (*Indigofera tinctoria* L.) is a valuable species of legumes that its cultivation have an old background in Jiroft, Kahnooj, Bam and Iranshahr. It is known as a drought tolerant plant but in seedling stage, it is sensitive to water stress and requires sufficient water for seed production in flowering time. The aim of this experiment is evaluation of leaf and grain yield and WUE in existent and prevalent indigo ecotypes in Kerman south region in order to select the best ecotype for planting in this region in future.

Material and Methods

This experiment was conducted during two years in Jiroft, Kerman, as split plot based on a randomized complete block design with three replications. Different irrigation levels (50, 75 and 100% of water requirements) and four ecotypes (Jiroft, Kahnooj, Rigan and Ghaleh-Gange) were considered as the main and sub plots, respectively. The leaf dry weight, seed yield, water use efficiency base on leaf and seed were measured.

Results and Discussion

The results of ANOVA indicated that drought stress has significant effect on all of the measured traits. In addition the effect of drought $\times$ year was considerable on seed yield and seed WUE, while it was not on leaf yield and leaf WUE. The most seed yield obtained in normal condition in second year and the most seed WUE was reported in same year in average drought stress. For all of traits, the highest means obtained from normal conditions except for leaf WUE, which was obtained from severe stress conditions. Ecotype effect was remarkable for all of traits. Ecotype $\times$ year and ecotype $\times$ drought effects were significant for leaf WUE. Ecotype $\times$ drought was significant about seed yield too. For ecotype $\times$ year effect, highest leaf WUE was related to Jiroft ecotype in second year and for ecotype $\times$ drought effect the highest means of leaf WUE and seed yield were related to Jiroft in severe drought stress conditions and normal conditions, respectively. However, the results of this research showed that Jiroft and Roudbar ecotypes had higher leaf dry weight (5100.9 kg.ha⁻¹), seed yield

1- PhD Candidate in Agronomy-Ecology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.

2- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran. P.O.Box: 76169-133.

(*- Corresponding Author Email: e_tohidi@mail.uk.ac.ir)

Doi:10.22067/jag.v12i4.76653

(331.75 kg.ha⁻¹) and water use efficiency of leaf (1.24 kg.m⁻³) compared to other ecotypes under severe water stress conditions.

Conclusion

The results of this experiment indicated that drought stress notably influences leaf and seed yield in indigo. With consideration of drought × ecotype effect, in severe drought conditions Jiroft and south Roodbar ecotypes had no significant difference and these two ecotypes had the highest means for all of traits. Management of production conditions in order to leaf yield improvement is necessary since the aim of indigo cultivation is leaf production and color industry. In this way, as warm and drought climate conditions in sought of Kerman and necessity of cultivation pattern change in order to water economize and increase economic value, cultivation of these two ecotypes is recommended in alternation after wheat and vine crops.

Keywords: Drought stress, Water use efficiency base on leaf and seed



مقاله علمی-پژوهشی

بررسی عملکرد علوفه و جذب عناصر غذایی در کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) و

خلر (*Lathyrus sativus* L.) تحت تأثیر هم‌زیستی با قارچ *Glomus intraradices*

محمد حقانی‌نیا^۱، عبدالله جوانمرد^{۲*} و سارا ملاعلی عباسیان^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۳

حقانی‌نیا، م.، جوانمرد، ع.، و ملاعلی عباسیان، ۱۳۹۹ س.، بررسی عملکرد علوفه و جذب عناصر غذایی در کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) و خلر (*Lathyrus sativus* L.) تحت تأثیر هم‌زیستی با قارچ *Glomus intraradices*. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۴): ۶۸۳-۶۶۳.

چکیده

به‌منظور بررسی عملکرد علوفه و میزان جذب برخی عناصر غذایی در کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.)-خلر (*Lathyrus sativus* L.) با کاربرد قارچ *Glomus intraradices*، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه در سال ۱۳۹۶ اجرا شد. فاکتور اول شامل الگوهای مختلف کشت (کشت خالص جو، کشت خالص خلر، ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد خلر+ ۵۰ درصد جو، ۲۵ درصد خلر+ ۷۵ درصد جو) و فاکتور دوم شامل تلقیح و عدم تلقیح با قارچ *Glomus intraradices* بودند. تراکم بهینه برای جو و خلر به‌ترتیب ۳۰۰ و ۲۵۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. در مرحله برداشت، عملکرد علوفه هر یک از گیاهان، عملکرد علوفه کل و میزان عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز، منیزیم و کلسیم علوفه اندازه‌گیری شدند. نتایج آزمایش نشان داد بیشترین عملکرد علوفه خشک جو (۴۸۳/۳ گرم در مترمربع) به کشت خالص جو هم‌زیست شده با قارچ میکوریزا تعلق داشت که نسبت به کشت خالص جو تلقیح نشده ۴۷/۴۸ درصد افزایش نشان داد. همچنین بیشترین عملکرد علوفه خلر در کشت‌های خالص خلر تلقیح شده (۶۳۷/۵ گرم در مترمربع) و تلقیح نشده (۶۲۹/۲ گرم در مترمربع) حاصل شد و بعد از آن الگوی تلقیح شده ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو (۵۰۸/۴ گرم در مترمربع) واقع شد. بیشترین و کمترین میزان عناصر ماکرو و میکرو به‌ترتیب در کشت خالص خلر با کاربرد قارچ میکوریزا و کشت خالص جو تلقیح نشده با قارچ میکوریزا به‌دست آمد. همچنین در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط، بیشترین میزان جذب عناصر غذایی به تیمار ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو تلقیح شده با قارچ میکوریزا مربوط بود. به‌طوری‌که، میزان جذب عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز، منیزیم و کلسیم در ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو با کاربرد قارچ میکوریزا نسبت به کشت خالص جو تلقیح نشده به‌ترتیب ۲۴۱/۶۱، ۱۹۳/۹۰، ۱۳۲/۴۸، ۱۲۶/۴۷، ۹۹/۲۵، ۱۲۸/۲۷، ۲۹۲/۵۲ و ۲۵۰/۹۹ درصد بیشتر بود. بنابراین، با توجه به نتایج به‌دست آمده، کشت مخلوط ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو تلقیح شده با قارچ میکوریزا منجر به بهبود جذب عناصر غذایی و افزایش کیفیت علوفه حاصل نسبت به کشت خالص جو گردید.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، پایدار، فسفر، کشاورزی کود زیستی، نیتروژن

مقدمه

تغذیه گیاه نقش مهمی در بهبود عملکرد گیاهان زراعی دارد. از جمله عواملی که سبب توجه روزافزون به تغذیه گیاهان زراعی شده، می‌توان به محدودیت منابع آب و خاک، هزینه بیشتر کودهای غیرآلی، افزایش تقاضا برای غذا، نگرانی نسبت به آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و افزایش

۱- دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی-اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، ایران.

۲- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، ایران.

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، ایران.

(*)- نویسنده مسئول: (Email: A.javanmard@maragheh.ac.ir)

تقاضا برای غذای باکیفیت در نتیجه، بهبود کیفیت زندگی مصرف کنندگان اشاره کرد. بنابراین، برای رهایی از این مشکلات و حذف آلاینده‌ها، پیشرفت به سمت کشاورزی پایدار و استفاده از روش‌های نوین تغذیه گیاهی از جمله استفاده از کودهای زیستی بیش از پیش مورد توجه قرار می‌گیرد (Varma et al., 2018).

نظام‌های مدرن تولید محصولات زراعی، به دنبال روش‌های مختلفی برای دستیابی به عملکرد بالا هستند، اغلب این روش‌ها جهت افزایش کارایی مصرف منابع محیطی می‌باشد. از آن‌جا که محدودیت‌هایی جهت استفاده از این منابع وجود دارد، بنابراین روش‌هایی جهت استفاده پایدار از این منابع مورد توجه می‌باشد. امروزه در نظام‌های کشاورزی پایدار برای کاهش مصرف نهاده‌ها و جبران هزینه‌های رو به افزایش تولید، کاهش آثار زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و حفظ حاصلخیزی خاک، اصلاح روش‌های مدیریتی با رویکرد توسعه کشت گیاهان علوفه‌ای به عنوان جایگزین کودهای شیمیایی رو به افزایش است (Agegnehu et al., 2006). یکی از روش‌های پایدار، کاشت دو یا چند گیاه به طور هم‌زمان در یک مزرعه با هدف افزایش عملکرد در بعد زمان و مکان می‌باشد. گزارش شده کشت مخلوط با استفاده مؤثر از منابعی مانند آب و عناصر غذایی می‌تواند عملکرد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار دهد (Inal et al., 2007). اسکندری و قنبری (Eskandari & Ghanbari, 2011) نشان دادند که جذب عناصر غذایی در همه تیمارهای کشت مخلوط به طور معنی‌داری بیشتر از کشت خالص ذرت (*Zea mays* L.) و لوبیا چشم بلبلی (*Vigna sinensis* L.) بود. سلیمان‌پور و همکاران (Soleimanpoor et al., 2017) گزارش کردند بیشترین محتوای آهن، روی، مس و منگنز شاخساره غلات در کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) + باقلا (۲۰/۱۸) میلی گرم بر کیلوگرم و کشت مخلوط گندم (*Triticum aestivum* L.) + باقلا (۲۳/۵۹) میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد. همچنین بیشترین محتوای آهن، روی، مس و منگنز شاخساره لگووم نیز به ترتیب در تیمارهای کشت مخلوط گندم + باقلا (*Vicia faba* L.) (۶۷۳/۱) میلی گرم بر کیلوگرم، کشت مخلوط جو + نخود (*Cicer arietinum* L.) (۲۶/۲۴) میلی گرم بر کیلوگرم و کشت مخلوط تریتیکاله (*Triticosecale witmack* L.) + باقلا (۲۸/۳۳) میلی گرم بر کیلوگرم مشاهده شد. آگنهو و همکاران (Agegnehu et al., 2006) با بررسی کشت مخلوط جو و باقلا، افزایش عملکرد علوفه را

در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص دو گیاه گزارش کردند و این امر را به کاربرد بهینه نیتروژن در کشت مخلوط نسبت دادند. همچنین هاوگارد نیلسن و همکاران (Hauggaard-Nielsen et al., 2003) اظهار داشتند که در کشت مخلوط جو و نخود از تلفات نیتروژن کاسته شده و ضمن افزایش تثبیت نیتروژن اتمسفری، مصرف نیتروژن معدنی از اعماق خاک با کارایی بیشتری صورت می‌گیرد. نجفی و مصطفایی (Najafi & Mostafae, 2015) نتیجه گرفتند که غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز ذرت در کشت مخلوط با لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) به طور معنی‌داری بیشتر از کشت خالص آن بود.

کودهای زیستی متشکل از ریزجانداران مفیدی هستند که هر یک به منظور خاصی مانند تثبیت نیتروژن، رهاسازی یون‌های فسفات، پتاسیم، آهن، جذب عناصر ماکرو و میکرو و غیره تولید می‌شوند. این ریزجانداران در اطراف ریشه مستقر شده و با افزایش حاصلخیزی خاک، افزایش جذب عناصر توسط گیاه را بهبود می‌بخشند (Wang et al., 2015). قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار یکی از انواع کودهای زیستی بوده و جزء اصلی فلور محیط ریشه گیاهان در بوم‌نظام‌های طبیعی می‌باشند (Kizhaeral et al., 2011). قارچ‌های میکوریزا به روش‌های مستقیم مانند بهبود تغذیه از طریق جذب عناصر غذایی و همچنین افزایش جذب آب و غیرمستقیم مانند کاهش تنش‌های زیستی (بیماری‌های گیاهی) و غیرزیستی (شوری، خشکی و عناصر سنگین) موجب بهبود رشد و عملکرد گیاهان میزبان در سیستم‌های کشاورزی پایدار می‌شوند (Varma et al., 2018; Rezvani, 2017). Moghaddam et al., 2017 تخمین زده می‌شود که در گیاهان هم‌زیست با میکوریزا، حدود ۸۰ درصد جذب فسفر گیاه توسط میکوریزا صورت می‌گیرد. علاوه بر جذب فسفر، این قارچ سبب بهبود جذب نیتروژن، پتاسیم، منیزیم، مس، آهن و روی می‌شود (Verzeaux et al., 2017). بهبود انتقال عناصر غذایی به گیاه از طریق افزایش سطح جذب ریشه توسط گسترش میسلیوم قارچ به فضای خارج ریشه خاک صورت می‌گیرد که به افزایش میزان جذب فسفر، نیتروژن، گوگرد، پتاسیم، کلسیم، روی، آهن، مس و انتقال آب منجر خواهد شد (Varma et al., 2018). همچنین والتین و همکاران (Valentine et al., 2006) افزایش سرعت فتوسنتز در گیاهان میکوریزایی را به افزایش وزن مخصوص برگ، افزایش فعالیت آنزیم رایبیسکو و افزایش میزان انتقال الکترون نسبت دادند.

همزیستی میکوریزا با شبدر قرمز (*Trifolium repens* L.) تا ۶۲ درصد سبب افزایش جذب مس شد (Kizhaeral et al., 2011). با توجه به اثرات نامطلوب مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی که سبب به هم خوردن تعادل عناصر غذایی و کاهش کیفیت محصولات کشاورزی گردیده است، یافتن روشی که بتواند از مصرف این کودها بکاهد، ضروری به نظر می‌رسد. بر همین اساس پژوهشی با هدف بررسی عملکرد علوفه و جذب عناصر غذایی در کشت مخلوط جو و خلر با کاربرد قارچ میکوریزا آرباسکولار در شرایط آب‌وهوایی مراغه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه با ارتفاع از سطح دریا ۱۴۷۷ متر، طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض ۳۷

درجه و ۲۴ دقیقه شمالی اجرا شد. به طور هم‌زمان جو رقم والفجر و خلر (*Lathyrus sativus* L.) توده بومی، با روش درهم و نسبت‌های مختلف بذر دو گیاه (به صورت جایگزینی) در اول اردیبهشت‌ماه کشت شدند. بذرهاى جو و خلر به ترتیب از ایستگاه تحقیقات کشاورزی میاندوآب و مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه تهیه شدند. تراکم جو و خلر به ترتیب ۳۰۰ و ۲۵۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. قبل از اجرای آزمایش یک نمونه خاک (جدول ۱) تهیه و نسبت به اندازه‌گیری عناصر غذایی ماکرو و میکرو در آن اقدام شد. درصد نیتروژن با روش کج‌لدال، فسفر قابل جذب با روش اولسن، پتاسیم قابل جذب با روش فلیم فتومتری، کربن آلی به روش والکلی بلک (Nelson & Sommers, 1982)، تعیین pH در گل اشباع با دستگاه pH متر (Westerm, 1990) و غلظت عناصر آهن، روی و منگنز در خاک با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu AA-6300 اندازه‌گیری شدند.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک محل آزمایش
Table 1- Soil analysis results in the experimental site

بافت Texture	سیلت Silt	شن Sand	رس Clay	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل جذب Available P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب Availabl K (mg.kg ⁻¹)	منگنز Mn (mg.kg ⁻¹)	آهن Fe (mg.kg ⁻¹)	روی Ze (mg.kg ⁻¹)
Clay-Silty	50	10	40	0.81	8.11	0.08	7.56	342	7.76	7.46	1.20

براساس نتایج تجزیه خاک، توصیه کودی شامل ۲۱ کیلوگرم در هکتار فسفر خالص از کود سوپرفسفات تریپل با ۴۶ درصد اکسید فسفر، هشت کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از کود اوره با ۴۶ درصد نیتروژن بود. کود سوپرفسفات تریپل در پاییز هم‌زمان با شخم عمیق به زمین داده شد و کود اوره هم در زمان کشت به عنوان استارتر مصرف شد. فاکتور اول شامل الگوهای مختلف کشت (کشت خالص جو، کشت خالص خلر، ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو، نسبت ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو) و فاکتور دوم شامل تلقیح و عدم تلقیح با قارچ *Glomus intraradices* بودند. گونه قارچ مورد استفاده در این تحقیق از کلینیک گیاهپزشکی ارگانیک اسدآباد همدان تهیه شد. در هر کرت ۱۰ خط به فواصل ۲۰ سانتی متر و با طول چهار متر کشت شدند. برای تلقیح جو و خلر با قارچ میکوریزا قبل از کاشت از خاکی که حاوی هیف‌های قارچ میکوریزا، بقایای ریشه و اسپور (حدود ۱۰۰۰

اسپور در هر ۱۰ گرم خاک) بود، در داخل خطوط کاشت و زیر بذر به مقدار ۸۰ گرم در هر ردیف کاشت قرار داده شد. اولین نوبت آبیاری بلافاصله بعد از کاشت انجام گرفت. آبیاری‌های بعدی برحسب شرایط منطقه و هر ۱۰ روز یک‌بار به طریق قطره‌ای صورت گرفت. جهت جلوگیری از اختلاط اثر تیمارها، بین کرت‌ها در هر بلوک و بین بلوک‌های آزمایش به ترتیب فواصل ۴۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری لحاظ شد. همچنین با توجه به اینکه ۱۰ ردیف کشت در هر کرت وجود داشت، نمونه‌برداری و برداشت نهایی از پنج خط وسط صورت پذیرفت. علاوه بر این، با انجام تصادفی کردن تیمارها در هر بلوک تا حد زیادی از اختلاط اثر تیمارها جلوگیری به عمل آمد. برای اطمینان از کلونیزه شدن قارچ، به طور تصادفی در تیمارهای حاوی قارچ، ریشه‌های گیاهان را خارج و به آهستگی تکان داده تا اینکه ریشه‌ها کاملاً عاری از خاک شدند. سپس جهت تعیین درصد کلونیزاسیون ریشه (ریشه‌ای موبین) در محیط آزمایشگاه با استفاده از روش فیلپس و هایمن

افزایش مقدار کلروفیل سیستم فتوسنتزی و افزایش راندمان فسفر فتوسنتزی، افزایش فعالیت آنزیم‌های نیترات ریداکتاز، نیتروژناز و گلوتامین سینتتاز در گیاه میزبان نسبت داده‌اند (Estrada-Luna & Davies, 2003). در پژوهشی افزایش عملکرد علوفه ذرت را به افزایش جذب آب و مواد غذایی و انتقال بهتر این مواد در اندام‌های گیاه و افزایش فتوسنتز گیاه که منجر به ساخته شدن مواد فتوسنتزی بیشتری می‌شود، نسبت داده شد (Boomsma & Vyn, 2008). همچنین حمزه‌یی و صادقی می‌آبادی (Hamzei & Sadeghi Meabadi, 2013) بیان کردند که قارچ میکوریزا از طریق برقراری هم‌زیستی با ریشه گیاه سورگوم، می‌تواند فسفر و آب را از خاک جذب و آن را در اختیار گیاه قرار دهد و در نتیجه، رشد گیاه بهبود یابد.

عملکرد علوفه خشک خلر

هم‌زیستی با میکوریزا، الگوهای مختلف کشت مخلوط و ترکیب تیماری آن‌ها اثر معنی‌داری بر عملکرد علوفه خلر داشتند (جدول ۲). بیشترین علوفه خشک خلر در الگوهای خالص خلر تلقیح شده (۶۳۷/۵ گرم در مترمربع) و تلقیح نشده (۶۲۹/۲ گرم در مترمربع) حاصل شد و بعد از آن الگوی تلقیح شده ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو (۵۰۸/۴ گرم در مترمربع) قرار داشت. کمترین میزان عملکرد علوفه خلر در الگوی تلقیح نشده ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو بدون میکوریزا (۱۸۸/۹ گرم در مترمربع) مشاهده شد (شکل ۲). از آن‌جا که قارچ میکوریزا باعث تحریک ترشح هورمون‌ها و افزایش جذب فسفر گیاه می‌شود و با توجه به نقش اکسین در انگیزش ریشه‌های نابجا و نقش فسفر در بهبود ریشه‌زایی و افزایش عمق ریشه‌ها، افزایش عملکرد علوفه خشک خلر در نتیجه تلقیح قارچ میکوریزا قابل پیش‌بینی است (Druege & Franke, 2007). همچنین می‌توان بیان کرد میکوریزا از طریق بهبود گره‌زایی در نتیجه تأمین فسفر مورد نیاز باعث افزایش تثبیت نیتروژن و به تبع آن موجب افزایش رشد و نمو گیاه خلر شده است (Estrada-Luna & Davies, 2003). در تطابق با این نتایج، تانگ ژیان و همکاران (Tong-jian et al., 2010) افزایش عملکرد ماش (*Vigna radiata* L.) در کشت مخلوط با برنج را به افزایش تعداد و وزن خشک گره‌های آن بر اثر تلقیح میکوریزایی نسبت دادند. به‌طوری‌که، میزان نیتروژن، فسفر و آهن در گره‌های ماش تلقیح شده با قارچ میکوریزا به ترتیب ۸۰/۱۴، ۶۹/۵۴ و ۳۶/۶۲ درصد نسبت به عدم تلقیح افزایش یافت.

(Phillips & Hayman, 1970) رنگ‌آمیزی ریشه‌ای صورت گرفت. جو و خلر به‌ترتیب در مراحل خمیری و اواسط گل‌دهی در دهم تیرماه در سطحی معادل سه مترمربع برداشت و بعد از تفکیک تا ثابت شدن وزن، در سایه نگهداری و خشک شدند. سپس عملکرد علوفه خشک هر کدام از گیاهان و عملکرد کل علوفه تولیدی محاسبه گردید. جهت اندازه‌گیری عناصر آهن، منگنز و روی از دستگاه جذب اتمی (PG - 990) ساخت کمپانی pg instrument انگلیس به‌روش لایندسی و نورول (Lindsay & Norvell, 1978) استفاده شد. میزان پتاسیم به‌روش نورسنجی شعله با استفاده از دستگاه فلایم‌فتومتر اندازه‌گیری شد (Walter & Lanyon, 1982). همچنین اندازه‌گیری میزان کلسیم و منیزیم با روش تیتراسیون صورت گرفت. میزان نیتروژن و فسفر هم به‌ترتیب با استفاده از دستگاه‌های کج‌دال (Bremner & Olsen, 1982) و اسپکتروفتومتر (Mulvaney & Sommers, 1982) اندازه‌گیری شدند. در نهایت، بعد از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس توسط نرم‌افزار MSTAT-C و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

عملکرد علوفه خشک جو

عملکرد علوفه خشک جو تحت تأثیر معنی‌دار هم‌زیستی با میکوریزا، الگوهای مختلف کشت مخلوط و ترکیب تیماری هم‌زیستی با الگوهای کشت واقع شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که هر چه سهم جو در الگوهای کشت افزایش یابد، عملکرد علوفه خشک آن نیز افزایش پیدا می‌کند. به‌طوری‌که، بیشترین عملکرد علوفه خشک آن به تیمار کشت خالص جو تلقیح شده (۴۸۳/۳ گرم در مترمربع) مربوط بود و بعد از آن الگوی تلقیح شده ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو (۳۶۱/۳ گرم در مترمربع) و کشت خالص جو تلقیح نشده (۳۲۷/۷ گرم در مترمربع) قرار داشتند. کمترین میزان علوفه خشک جو نیز در الگوی کشت تلقیح نشده ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو (۱۴۷/۳ گرم بر مترمربع) بدون تفاوت معنی‌دار با الگوی تلقیح نشده ۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو (۲۰۸/۴ گرم بر مترمربع) مشاهده شد (شکل ۱). یکی از دلایل افزایش عملکرد گیاهانی که با میکوریزا تلقیح می‌شوند، این است که این قارچ‌ها موجب افزایش فتوسنتز در گیاه میزبان می‌شوند. دلیل این امر را به افزایش غلظت نیتروژن برگ و به تبع آن

عملکرد کل علوفه

پایین ترین رتبه واقع شد. در حالی که، همزیستی جو با قارچ گلوموس /اینترارادایسز منجر به افزایش ۴۷/۵۲ درصدی تولید علوفه در کشت خالص شد. بیشترین تولید علوفه در تیمارهای تلقیح شده ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد خلر+ ۵۰ درصد جو، ۲۵ درصد خلر+ ۷۵ درصد جو، کشت خالص خلر و کشت خالص خلر بدون تلقیح مشاهده شد.

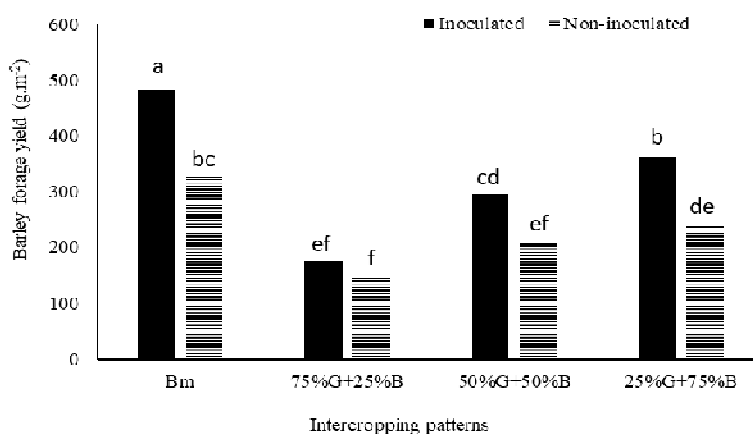
عملکرد کل علوفه تحت تأثیر معنی دار همزیستی با میکوریزا، الگوهای کشت مخلوط و اثر متقابل همزیستی با الگوی کشت مخلوط قرار گرفت (جدول ۳). شکل ۳ نشان می دهد که تیمارها از لحاظ عملکرد کل علوفه در سه گروه قرار می گیرند. کشت خالص جو تلقیح نشده با تولید ۳۲۷/۶ گرم در مترمربع علوفه در گروه سوم و در

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد علوفه جو و خلر تحت تأثیر الگوهای کشت مخلوط و قارچ *Glomus intraradices*
Table 2- Analysis of variance (mean squares) for forage yield of barley and grass pea affected by intercropping patterns and *Glomus intraradices* fungus

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد علوفه خلر Grass pea forage yield	عملکرد علوفه جو Barley forage yield
تکرار Replication	2	1256.4 ^{ns}	1674.1 ^{ns}
همزیستی با میکوریزا Symbiosis with mycorrhizae (S)	1	35006.4**	57437.9**
الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern (IP)	4	180021.6**	62211.6**
IP× S	4	9373.3*	4482.6*
خطا Error	14	2259.8	1308.7
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)		11.91	12.94

*, **, ^{ns} به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، غیرمعنی دار.

*, **, and ^{ns}: significant at 5 and 1% probability level and non significant respectively.

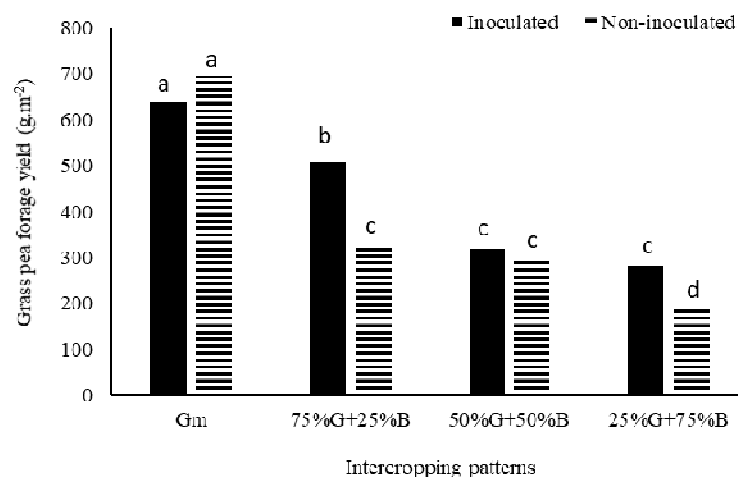


شکل ۱- مقایسه میانگین اثر برهم کنش الگوهای کشت مخلوط و همزیستی با قارچ *Glomus intraradices* بر عملکرد علوفه جو

Fig. 1- Mean comparison for interaction of intercropping patterns and symbiosis with *Glomus intraradices* fungus on forage yield of barley

حروف مشابه در ستون ها نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خلر.

Similar letters on the columns indicate no significant difference between treatments at the 5% probability of level. Bm: Barley monoculture, Gm: Grasspea monoculture.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش الگوهای کشت مخلوط و هم‌زیستی با قارچ *Glomus intraradices* بر عملکرد علوفه خلر
Fig. 2- Mean comparison for interaction of intercropping patterns and symbiosis with *Glomus intraradices* fungus on forage yield of grass pea

حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خلر.
 Similar letters on the columns indicate no significant difference between treatments at the 5% probability of level. Bm: Barley monoculture, Gm: Grasspea monoculture.

گونه موسه و اینترادایسز از نظر وزن خشک کل تفاوتی وجود نداشت. آنان بهبود عملکرد علوفه سورگوم را به افزایش سرعت فتوسنتزی در گیاهان میکوریزایی نسبت دادند. افزایش سرعت فتوسنتز در گیاهان میکوریزایی به افزایش وزن مخصوص برگ، فعالیت بیشتر آنزیم روبیسکو و میزان انتقال الکترون نسبت داده می‌شود (Lehmann et al., 2014). علاوه بر این، عملکرد در کشت مخلوط به دلیل استفاده مؤثرتر از نور، اثرات آللوپاتیک بر علف‌های هرز و انتقال مستقیم و غیرمستقیم نیتروژن تثبیت‌شده توسط گونه لگوم به گیاه همراه افزایش می‌یابد (Stoltz & Nadeau, 2014).

نیتروژن

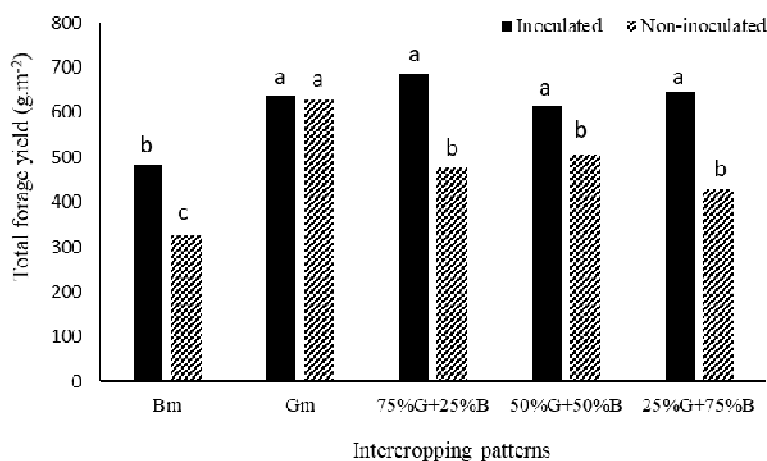
نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۴) برای غلظت نیتروژن نشان داد که اثر تلقیح و الگوهای کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. بیشترین محتوای نیتروژن به کشت خالص خلر تلقیح شده (۳۸/۵ میلی گرم بر گرم ماده خشک) بدون تفاوت معنی‌دار با الگوی تلقیح شده ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو (۳۵/۶۳ میلی گرم بر گرم ماده خشک) تعلق داشت. کمترین میزان نیتروژن هم به کشت خالص جو تلقیح نشده (۱۰/۴۳ میلی گرم بر گرم ماده خشک) مربوط بود (شکل ۴).

کاربرد گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا از طریق افزایش سطح جذب ریشه‌ها (نفوذ میسلیم قارچ‌ها و افزایش سطح تماس با خاک) موجب افزایش دسترسی گیاه به آب و مواد غذایی شده و از طریق تأثیر بر تخصیص و انتقال عناصر غذایی بین ریشه و ساقه، افزایش وزن خشک و عملکرد گیاه را باعث می‌شوند (Weisany et al., 2016). علاوه بر این، قارچ میکوریزا جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر و عناصر کم‌مصرف نظیر روی و مس را بهبود می‌بخشند و باعث تحریک رشد و کاهش اثرات تنش‌های محیطی روی گیاه می‌زبان می‌شوند و از طریق افزایش زیست‌توده با فراهم کردن عناصر غذایی توسط هیف‌ها و یا بهبود رشد ریشه و همچنین افزایش آسیمیلایون مواد فتوسنتزی در ساقه به دلیل افزایش سطح برگ و در نتیجه افزایش ظرفیت فتوسنتزی، می‌توانند با انتقال مجدد این مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن، عملکرد گیاه را بهبود بخشند (Boomsma & Vyn, 2008). حمزه‌ئی و صادقی‌می‌آبادی (Hamzei & Sadeghi Meabadi, 2013) با تلقیح سورگوم با دو گونه قارچ موسه و اینترادایسز عنوان کردند که بیشترین وزن خشک (۱۷۶۲ گرم بر مترمربع) به تیمار تلقیح شده با قارچ گونه موسه تعلق داشت. همچنین آنان بیان کردند که گونه‌های قارچ میکوریزا در مقایسه با تیمار بدون تلقیح وزن خشک کل را افزایش دادند، ولی بین

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد کل علوفه تحت تأثیر الگوهای کشت مخلوط و همزیستی با قارچ *Glomus intraradices*
Table 3- Analysis of variance (mean squares) for total forage yield affected by intercropping patterns and symbiosis with *Glomus intraradices* fungus

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد کل علوفه خشک خمر Total forage yield
تکرار Replication	2	2131.4 ^{ns}
همزیستی با میکوریزا Symbiosis with mycorrhizae (S)	1	145645.1 ^{**}
الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern (IP)	4	43056.3 ^{**}
IP × S	4	10891.0
خطا Error	18	2567.2
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)		9.33

^{**} و ^{ns}: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک درصد و غیرمعنی دار.
^{**} and ^{ns}: significant at 1% probability levels and non significant respectively.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر برهم کنش الگوهای کشت مخلوط و همزیستی با قارچ *Glomus intraradices* بر عملکرد کل علوفه
Fig. 3- Mean comparison for interaction of intercropping patterns and symbiosis with *Glomus intraradices* fungus on total forage yield

حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خمر.
Similar letters on the columns indicate no significant difference between treatments at the 5% probability of level. Bm: Barley monoculture, Gm: Grasspea monoculture.

یافت. ژانگ و لی (Zhang & Li, 2003) نتیجه گرفتند که اثر متقابل ریشه‌های دو گیاه ذرت و لوبیا در کشت مخلوط نقش مهمی در افزایش جذب نیتروژن دارد. به‌طوری‌که ترشح فسفات‌ها و کربوکسیلات‌ها از ریشه لگوم منجر به افزایش دسترسی به عناصر غذایی از جمله نیتروژن در ریزوسفر شده است. همچنین در کشت

نجفی و مصطفایی (Najafi & Mostafae, 2015) با کشت مخلوط ذرت و گاودانه (*Vicia ervilia* L.) و لوبیا بیان کردند تثبیت نیتروژن جوی توسط لگوم‌ها و انتقال آن به ذرت سبب افزایش نیتروژن قابل استفاده ذرت در خاک شده و در نتیجه، غلظت نیتروژن در شاخساره ذرت در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص آن افزایش

مخلوط ذرت با بادام زمینی (*Arachis hypogea* L.) عنوان شد که تثبیت بیولوژیک نیتروژن مولکولی اتمسفر باعث تداوم جذب بهتر عناصر غذایی به‌ویژه عنصر نیتروژن در طول دوره رویش توسط ریشه گیاه زراعی ذرت می‌شود (Nabati Nasaz et al., 2016). علاوه بر این، حضور قارچ میکوریز در کشت مخلوط میزان انتقال نیتروژن تثبیت شده به گیاه غیرلگوم را افزایش می‌دهد. نقش میکوریزا در افزایش نیتروژن گیاهان با تحریک بیان آنزیم نیترات‌رداکتاز (افزایش جذب نیتروژن به فرم نیترات یا آمونیوم توسط میسلیم‌های خارجی قارچ با مصرف نیترات توسط آنزیم نیترات‌رداکتاز) و افزایش سطوح آنزیم دی‌کیناز گلوکان (جهت جلوگیری از رشد پاتوژن‌های گیاهی) به‌خوبی مشخص شده است (Varma et al., 2018). همچنین افزایش غلظت نیتروژن در گیاه به افزایش سفر جذب شده نیز نسبت داده شده است (Ebrahimian et al., 2015). به‌طوری که، اسمیت و رید (2008) در مطالعه تأثیر میکوریزا آربوسکولار بر جذب نیتروژن گزارش کردند که هم‌زمان با افزایش سفر در نتیجه تلقیح میکوریزایی گره‌زایی و تثبیت نیتروژن نیز افزایش می‌یابد. علاوه بر این، هاوگارد نیلسن و همکاران (Hauggaard-Nielsen et al., 2003) به این نتیجه رسیدند که میزان غلظت نیتروژن در اندام هوایی جو مخلوط شده با نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) سه برابر میزان تجمع نیتروژن در کشت خالص آن بود. در کشت مخلوط گیاهان غیرلگوم با لگوم، گیاهان

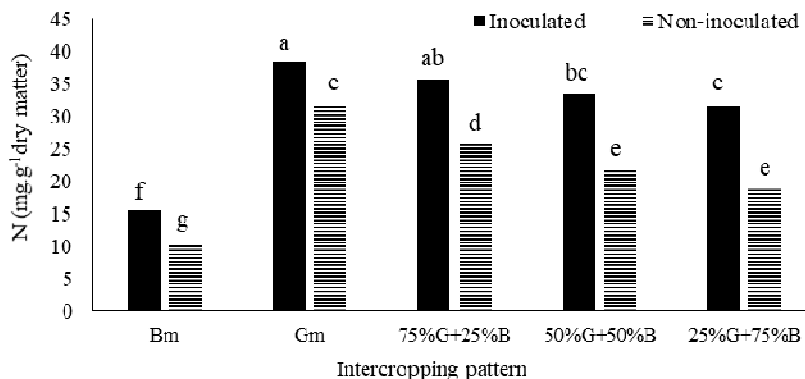
غیرلگوم رشد و عملکرد بهتری دارند که این امر به دلیل انتقال نیتروژن تثبیت شده به دو طریق مستقیم و غیرمستقیم می‌باشد. در روش مستقیم نیتروژن از طریق شبکه‌های میکوریزایی مشترکی که توسط قارچ بین سیستم‌های ریشه‌ای هر دو گونه گیاهی ایجاد می‌شود، انتقال می‌یابد و یا قارچ میکوریزا با ترشح ترکیباتی آلی به داخل خاک باعث جذب نیتروژن و انتقال آن به گیاه غیرلگوم می‌شود. در روش غیرمستقیم نیز نیتروژن از طریق تجزیه بستر، ریشه‌ها و گره‌ها و یا از طریق جذب و انتقال میکوریزایی صورت می‌گیرد (Varma et al., 2018). در این آزمایش نیز مشاهده شد که در الگوهای کشت مخلوط تلقیح شده نسبت به کشت خالص جو بدون تلقیح، جذب عناصر غذایی از قبیل نیتروژن به‌میزان قابل توجهی افزایش یافته است. همچنین هم‌زیستی با قارچ میکوریزا نیتروژن مورد نیاز گیاه را از منابع آلی و غیرآلی تأمین می‌کند. نیتروژن محدود شده در مواد آلی معمولاً در ترکیب پپتیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه آزاد وجود دارد. قارچ میکوریزا با ترشح پپتیداز و پروتئاز به داخل خاک باندهای نیتروژن آلی را شکسته، سپس مونومرهای نیتروژن‌دار را جذب می‌کند. علاوه بر این، قارچ میکوریزا باعث انتقال مستقیم نیتروژن به گیاه میزبان شده، بنابراین کارایی فرم‌های مختلف نیتروژن مانند نیترات، آمونیاک و اوره در گیاهان را افزایش می‌دهد (Verzeaux et al., 2017; Rezvani et al., 2017). (Moghaddam et al., 2017)

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عناصر علوفه کل تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت مخلوط و قارچ *Glomus intraradices*
Table 4- Analysis of variance (mean squares) of total forage nutrient affected by different intercropping patterns and *Glomus intraradices* fungus

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات MS							
		فسفر P	نیتروژن N	منیزیم Mg	پتاسیم K	کلسیم Ca	منگنز Mn	روی Zn	آهن Fe
تکرار Replication	2	0.43**	11.21 ^{ns}	0.011 ^{ns}	3.17**	0.14 ^{ns}	102.61**	0.51 ^{ns}	1930.4*
هم‌زیستی با میکوریزا Symbiosis with mycorrhizae (S)	1	8.64**	623.81**	2.89**	54.23**	3.65**	1754.78**	239.35**	32312.4**
الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern (IP)	4	1.91**	415.92**	1.52**	24.61**	7.41**	2586.99**	96.47**	16790.1**
IP×S	4	0.15**	14.26*	0.08**	1.28*	0.21*	34.62**	4.49**	1852.9*
خطا Error	18	0.03	3.83	0.02	0.37	0.06	7.37	0.95	532.6
ضریب تغییرات Coefficient of variation (%)		7.94	7.42	8.95	7.84	8.64	3.14	5.82	10.57

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

*, **, and ^{ns}: significant at 5 and 1% probability levels and non significant, respectively.



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر برهم کنش الگوهای کشت مخلوط و هم‌زیستی با قارچ *Glomus intraradices* بر محتوای نیتروژن جو و خلر
 Fig. 4- Mean comparison for interaction of intercropping patterns and symbiosis with *Glomus intraradices* fungus on nitrogen content of barley and grasspea

حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خلر.
 Similar letters on the columns indicate no significant difference between treatments at the 5% probability of level. Bm: Barley monoculture. Gm: Grasspea monoculture.

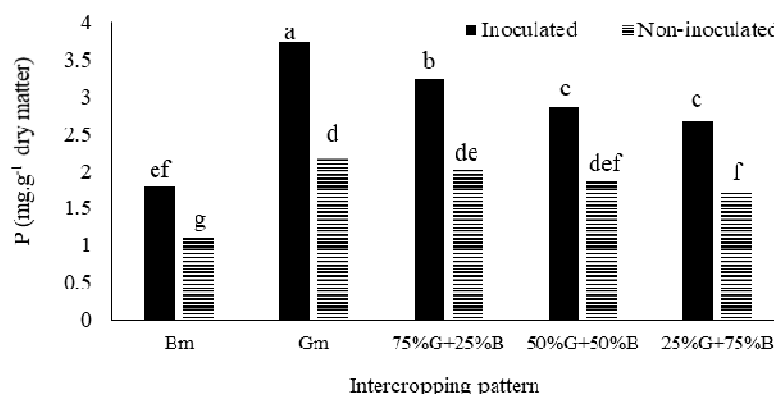
فسفر

میزان فسفر علوفه حاصل از مخلوط جو و خلر تحت تأثیر معنی‌دار هم‌زیستی با میکوریزا، الگوی کشت مخلوط و ترکیب تیماری هم‌زیستی با میکوریزا و الگوی کشت مخلوط قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین مقدار فسفر به کشت خالص خلر تلقیح شده (۳/۷۳۳ میلی گرم بر گرم ماده خشک) بدون تفاوت معنی‌دار با الگوی تلقیح شده ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو تلقیح شده (۳/۲۳۳ میلی گرم بر گرم ماده خشک) تعلق داشت. کم‌ترین مقدار فسفر هم به کشت خالص جو تلقیح نشده (۱/۱ میلی گرم بر گرم ماده خشک) مربوط بود (شکل ۵). در بسیاری از تحقیقات بیان شده که تلقیح با میکوریزا سبب بهبود جذب فسفر در گیاهان زراعی می‌شود (Verzeaux et al., 2017). حضور گسترده میسلیوم‌های قارچ در خاک سبب می‌شود که گیاه زراعی به مناطق بیشتری از خاک دسترسی داشته و منطقه تخلیه فسفر که عنصری کم‌تحرک می‌باشد، بیشتر شود. افزایش جذب فسفر را می‌توان به فعالیت آنزیم‌های فسفاتازی قارچ‌های میکوریزا به‌منظور تجزیه فسفات‌های آلی و پیروفسفات‌های غیرآلی نسبت داد (Kizhaeral et al., 2011). به‌طوری‌که، میسلیوم‌های قارچ با تولید آنزیم‌های فسفاتاز سبب تجزیه فسفات‌های آلی و با تولید عوامل اسیدی و کلات‌کننده‌ها سبب انحلال فسفات‌های معدنی می‌شوند (Subramanian et al., 2011). در حقیقت فسفاتاز همانند کلونیدهای رسی تمایل بالایی برای یون‌های فسفات دارند

(کلونیدهای رسی در شرایط مختلف دارای بارهای منفی یا مثبت می‌باشند، اگر بنا به شرایطی به‌عنوان مثال شرایط اسیدی، رس دارای بار مثبت باشد، تمایل برای جذب یون‌های منفی فسفات دارد)، بنابراین فسفات‌ها می‌توانند با کلونیدهای رسی رقابت کنند و قادرند تا حدی یون‌های فسفات جذب سطحی شده توسط رس‌ها را آزاد کرده و وارد فاز محلول خاک کنند (Giles et al., 2017). و از آنجایی‌که ریشه گیاهان ترجیح می‌دهند عناصر غذایی ضروری مورد نیاز خود را از فاز محلول خاک تأمین کنند، بنابراین آزاد شدن فسفر به فاز محلول خاک، قابلیت دسترسی فسفر توسط گیاه را افزایش می‌دهد (Wang et al., 2015). علاوه‌براین، قارچ میکوریزا به‌سبب توانایی در حل فسفر نامحلول که بر ریشه گیاهان تأثیرگذار است و تحریک رشد گیاه به‌وسیله تولید سیدروفورها و هورمون‌های رشد گیاهی می‌تواند عامل مؤثری در افزایش طول ریشه به حساب آید. به‌طورکلی، قارچ میکوریزا رشد ریشه را افزایش و به دنبال آن یک نظام گسترده ریشه برای جذب فسفر و سایر عناصر ایجاد می‌کند (Rezvani moghaddam et al., 2017; Kizhaeral et al., 2011). همچنین ژانگ و لی (Zhang & Li, 2003) نتیجه گرفتند اثر متقابل ریشه‌های دو گیاه ذرت و لوبیا در کشت مخلوط نقش مهمی در افزایش جذب فسفر دارند. آن‌ها افزایش جذب فسفر توسط ذرت در کشت مخلوط با لوبیا را به افزایش فراهمی فسفر توسط ریشه لوبیا نسبت دادند که ممکن است به‌وسیله ریشه ذرت جذب شود. در

فسفر را در خاک با pH بالا افزایش و به موجب آن جذب فسفر افزایش می‌یابد (Li et al., 2005).

مخلوط باقلا و ذرت مشاهده شد که باقلا از طریق تثبیت نیتروژن می‌تواند H^+ به محیط ترواش کند. اسیدی شدن ریزوسفر حلالیت



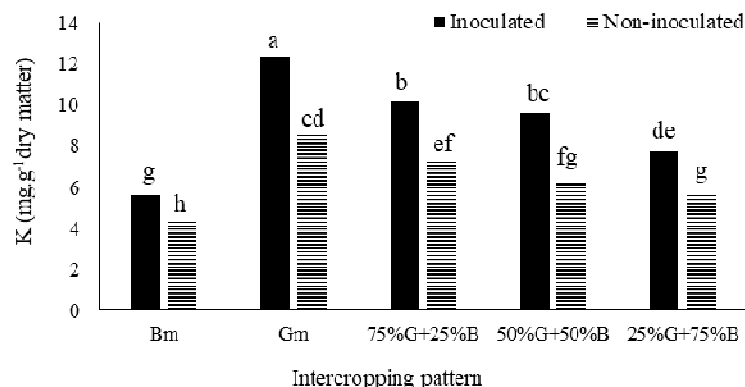
شکل ۵- مقایسه میانگین برهم‌کنش الگوهای کشت مخلوط و هم‌زیستی با قارچ *Glomus intraradices* بر محتوای فسفر جو و خلر
Fig. 5- Mean comparison for interaction of intercropping patterns and symbiosis with *Glomus intraradices* fungus on P content of barley and grasspea

حروف مشترک در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خلر.
Similar letters on the columns indicate no significant difference between treatments at the 5% probability of level. Bm: Barley monoculture. Gm: Grasspea monoculture.

و مصطفایی (Najafi & Mostafae, 2015) گزارش کردند با تغییر نظام کشت از کشت خالص ذرت به کشت مخلوط آن با گاوآنه و لوبیا، غلظت پتاسیم شاخساره ذرت به ترتیب ۱۱/۷ و ۹/۶ درصد افزایش یافت. در کشت مخلوط ترشحات ریشه دو گیاه با هم مخلوط شده و فراهمی عناصر در ریزوسفر افزایش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل افزایش غلظت پتاسیم شاخساره ذرت در کشت مخلوط ذرت با لوبیا و گاوآنه نسبت به کشت خالص آن همین بهبود ویژگی‌های شیمیایی و زیستی ریزوسفر در کشت مخلوط باشد (Najafi & Mostafa, 2015). شاردوامان و برنارد فلینو (Sharda Waman & Bernard Felinov, 2009) با تلقیح به‌صورت جداگانه و ترکیبی قارچ‌های *G. mosseae* و *G. intraradices* نشان دادند که استفاده از قارچ‌های میکوریز سبب افزایش پتاسیم در برگ گیاهان شد و بیشترین افزایش مربوط به *G. mosseae* بود. اسید تارتاریک تولید شده به‌عنوان مهم‌ترین عامل آزادسازی پتاسیم تثبیت شده محسوب می‌شود (Meena et al., 2014). به‌طور کلی، حلالیت پتاسیم را می‌توان با کاهش pH، افزایش کلاته کردن پتاسیم و اسیدی کردن محیط اطراف ریزجانداران افزایش داد (Meena et al., 2014).

پتاسیم

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نشان داد که غلظت پتاسیم علوفه جو و خلر تحت تأثیر معنی‌دار هم‌زیستی با قارچ مایکوریز، الگوی کشت مخلوط و ترکیب تیماری هم‌زیستی و الگوی کشت واقع شد. مقایسه میانگین داده‌ها (شکل ۶) نشان داد که بیشترین پتاسیم علوفه در کشت خالص خلر تلقیح شده (۱۲/۳۵ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) مشاهده شد. پس از آن الگوهای کشت تلقیح شده ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو (۱۰/۱۹ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) و ۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو (۹/۵۶۹ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) قرار داشتند. کم‌ترین محتوای پتاسیم نیز در کشت خالص جو تلقیح نشده (۴/۳۸۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) حاصل شد. پس از آن الگوی کشت تلقیح نشده ۷۵ درصد جو + ۲۵ درصد خلر (۵/۳۷۸ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) قرار داشت. همچنین مشاهده شد که غلظت پتاسیم علوفه در الگوهای کشت مخلوط ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو و ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو با کاربرد قارچ میکوریزا به ترتیب ۱۳۲/۴۸، ۱۱۸/۳۲ و ۷۵/۸۶ درصد نسبت به کشت خالص جو تلقیح نشده افزایش پیدا کرده است. در تطابق با نتایج پژوهش حاضر، نجفی



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر برهم کنش الگوهای کشت مخلوط و همزیستی با قارچ *Glomus intraradices* بر محتوای پتاسیم جو و خلر
 Fig. 6- Mean comparison for interaction of intercropping patterns and symbiosis with *Glomus intraradices* fungus on K content of barley and grasspea

حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خلر.
 Similar letters on the columns indicate no significant difference between treatments at the 5% probability of level. Bm: Barley monoculture. Gm: Grasspea monoculture.

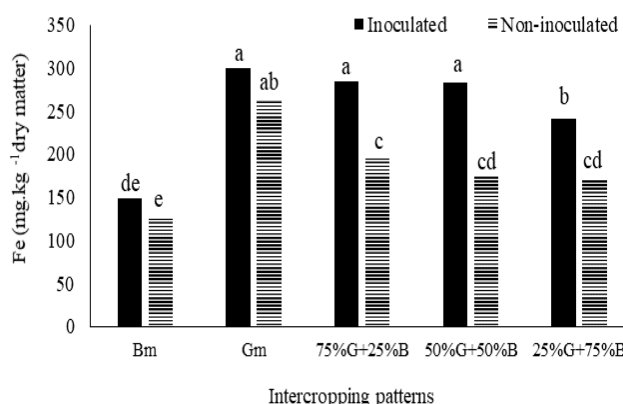
آهن

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که اثر تلقیح با میکوریزا و الگوهای مختلف کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد و ترکیب تیماری آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. بالاترین میزان آهن به الگوهای تلقیح شده کشت خالص خلر (۲۹۹/۱ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک)، ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو (۲۸۴ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک) و الگوی ۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو (۲۸۲/۶ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک) تعلق داشت. کم‌ترین میزان آهن هم به ترتیب در الگوهای کشت خالص جو تلقیح نشده (۱۲۵/۴ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک) و جو خالص تلقیح شده (۱۸۸/۸ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک) به دست آمد (شکل ۷). افزایش غلظت آهن در گیاهان تلقیح شده به آزاد شدن سیدروفورهای از گروه هیدروکسامات‌ها توسط قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار نسبت داده می‌شود. در نتیجه سیدروفورها، تشکیل کمپلکس آهن سه ظرفیتی محلول تسهیل شده که سپس توسط آنزیم فریک ردوکتاز به آهن دو ظرفیتی احیا شده که قابل جذب توسط گیاهان می‌باشد (Nyoki & Ndakidemi, 2018). علاوه بر این، نجفی و مصطفایی (Najafi & Mostafae, 2015) با تغییر نظام کشت از تک کشتی ذرت به کشت مخلوط آن با گاو دانه و لوبیا عنوان کردند غلظت آهن شاخساره ذرت به ترتیب ۶/۲ و ۴/۳ درصد افزایش یافت. اینال و همکاران (Inal et al., 2007) نیز نشان دادند در کشت مخلوط ذرت با بادام زمینی، محیط ریزوسفر از طریق

آزادسازی فیتوسیدروفور از ریشه ذرت و افزایش فعالیت آنزیم فریک ردوکتاز ریشه بادام زمینی اصلاح می‌شود و سبب افزایش فراهمی آهن در خاک می‌شود. افزایش جذب آهن در کشت مخلوط به ترشح اسیدهای آلی، ترکیبات فنلی، فیتوسیدروفورها مانند موجینیک اسید، ترکیبات احیاکننده آهن و ترکیبات کی‌لیت کننده توسط ریشه گیاهان نیز نسبت داده شده است (Varma et al., 2018). همچنین گیو و همکاران (Guo et al., 2014) افزایش دسترسی به آهن در کشت مخلوط بادام زمینی و ذرت نسبت به کشت خالص را به کاهش pH ریزوسفری نسبت دادند. زیرا گزارش شده با کاهش اسیدیته از هشت به هفت قابلیت دسترسی آهن ۱۰۰۰ برابر افزایش می‌یابد (Marchner, 1995). به طور کلی، آهن محلول خاک در pHهای طبیعی خاک‌های آهکی کمتر از نیاز آهن گیاه بوده و گیاهان برای جذب آهن مورد نیاز خود در چنین شرایطی دو راهبرد را اعمال می‌کنند. راهبرد نوع اول که راهبرد غالب گیاهان دولپه‌ای و تک‌لپه‌ای‌های غیرگندمیان می‌باشد، شامل احیای Fe (III) به Fe (II)، ترشح پروتون (H^+)، ترشح ترکیبات آلی مانند مواد فنولی و اسیدهای آلی و توسعه سیستم ریشه‌ای می‌باشد. در این راهبرد، گیاه ممکن است آهن را به صورت Fe^{+3} جذب کرده و در داخل ریشه‌ها به Fe^{+2} احیا کند (Chen et al., 2004). راهبرد دوم در گیاهان خانواده گندمیان غالب بوده و در این راهبرد سیدروفورهای گیاهی که شامل اسیدهای آمینه غیرپروتئینی مانند موئینتیکاسیدها می‌باشند از ریشه به محلول خاک ترشح می‌شود و با تشکیل کمپلکس آهن III-

مختلف گزارش کردند. از این رو، تأثیر فعالیت ریشه در رفتار آهن خاک به نوع و مقدار ترشحات ریشه گیاه بستگی دارد. لذا با کشت دو گیاه مختلف در کنار هم، ریزوسفر مشترک آن‌ها با داشتن خصوصیات متفاوت، می‌تواند تأثیرات متفاوتی بر رفتار آهن خاک داشته باشد (Azimzadeh et al., 2015).

فیتوسیدروفور قابلیت دسترسی آهن بهبود می‌یابد (Yousfi et al., 2009). بنابراین، بخش مهمی از توانایی گیاهان مختلف برای جذب آهن خاک به فعالیت ریشه و خصوصیات ریزوسفر گیاهان مربوط می‌شود (Azimzadeh et al., 2015). منچ و مارتین (Mench & Martin, 1991) تفاوت در ترکیب ترشحات ریشه گیاهان مختلف را یکی از دلایل جذب مقادیر متفاوت فلزات توسط گونه‌های گیاهی



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر برهم کنش الگوهای کشت مخلوط و هم‌زیستی با قارچ *Glomus intraradices* بر محتوای آهن جو و خلر
Fig. 7- Mean comparison for interaction of intercropping patterns and symbiosis with *Glomus intraradices* fungus on Fe content of barley and grasspea

حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خلر.
Similar letters on the columns indicate no significant difference between treatments at the 5% probability of level. Bm: Barley monoculture, Gm: Grasspea monoculture.

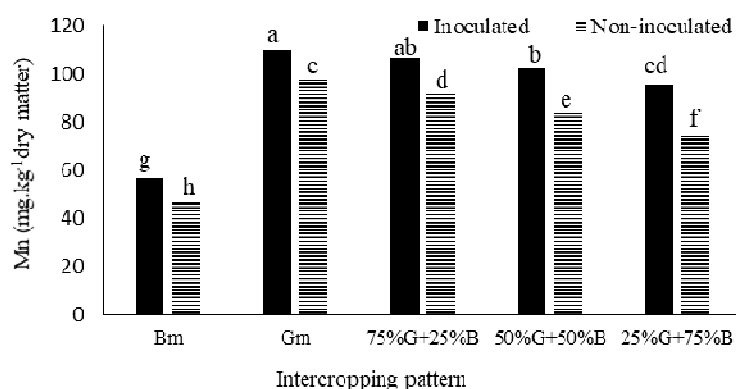
خالص جو تلقیح نشده افزایش یافته است. آینال و همکاران (Inal et al., 2007) افزایش جذب منگنز را به اصلاح محیط ریزوسفر در نتیجه ترشحات ریشه‌های ذرت و بادام‌زمینی نسبت دادند. قاسمی فسایی و منصورپور (Ghasemi Fasaee & Mansoorpoor, 2015) عنوان کردند در کشت مخلوط، لگوم‌ها مس بیشتری نسبت به غلات جذب می‌کنند، در حالی که منگنز در شاخساره غلات بیشتر بود، آن‌ها علت این امر را به نوع گیاه زراعی، رقابت لگوم‌ها، نوع عناصر و میزان عناصر در خاک نسبت دادند. علاوه بر این، لگوم‌ها موجب اسیدی شدن خاک و افزایش حلالیت عناصر در محلول خاک شده و به همین دلیل باعث افزایش جذب عناصر غذایی می‌شوند (Tosti & Guiducci, 2010). همچنین در مطالعه دیگری بیشترین جذب منگنز در تیمار کشت مخلوط ۷۵ درصد ارزن (*Panicum miliaceum* L.) + ۲۵ درصد خلر (*Lathyrus sativus* L.) مشاهده شد (Pakgohar et al., 2013). تلقیح با قارچ میکوریزا باعث تغییرات وسیع شاخص‌های

منگنز

غلظت منگنز علوفه تحت تأثیر معنی‌دار هم‌زیستی با قارچ میکوریزا، الگوهای مختلف کشت مخلوط و همچنین ترکیب تیماری آن‌ها قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین غلظت منگنز به کشت خالص خلر تلقیح شده (۱۰۹/۷ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک) بدون تفاوت معنی‌دار با الگوی تلقیح شده ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو (۱۰۶/۴ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک) تعلق داشت. کمترین میزان منگنز هم در کشت خالص جو تلقیح نشده (۴۶/۶۱ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک) مشاهده شد (شکل ۸). مشاهده می‌شود که الگوهای مختلف کشت مخلوط باعث افزایش میزان منگنز علوفه نسبت به کشت خالص جو شده است، به طوری که میزان منگنز در الگوهای کشت مخلوط ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو و ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو با کاربرد قارچ میکوریزا به ترتیب ۱۲۸/۲۷، ۱۱۹/۶۹، ۱۰۵/۲۵ درصد نسبت به کشت

ریشه می‌باشد و وسعت این ناحیه بستگی به حلالیت و قابل حرکت بودن عناصر در خاک دارد که قارچ‌های میکوریزا با گسترش شبکه ریشه‌ای خود این محیط را افزایش می‌دهند (Varma et al., 2018).

مورفولوژیکی ریشه به‌ویژه افزایش ریشه‌های جانبی می‌شود. در نتیجه، با افزایش رشد ریشه مواد غذایی بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد (Inal et al., 2007). نقش مفید میکوریزاها به‌ویژه در مورد جذب عناصر ریزمغذی، مربوط به ناحیه‌ی تخلیه عناصر در اطراف



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش الگوهای کشت مخلوط جو- خلر و هم‌زیستی با قارچ *Glomus intraradices* بر محتوای منگنز جو و خلر
Fig. 8- Mean comparison for interaction of intercropping patterns and symbiosis with *Glomus intraradices* fungus on Mn content of barley and grasspea

حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خلر.

Similar letters on the columns indicate no significant difference between treatments at the 5% probability of level. Bm: Barley monoculture. Gm: Grasspea monoculture.

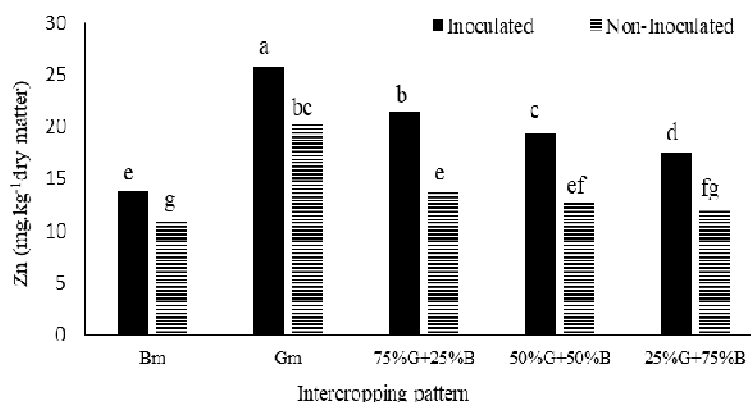
و سوپراکسید دیسموتاز نسبت دادند (Subramanian et al., 2011). در بررسی سهم هیف‌های میکوریزی در جذب روی مشاهده شده است که هر چه هیف‌ها در اطراف ریشه گسترش بیشتری داشته باشند، مقدار جذب روی نیز بیشتر خواهد شد (Valentine et al., 2006). علاوه‌براین، آزمایش‌ها نشان می‌دهند که واکنش‌های عمده‌ای میان فسفر و روی در داخل گیاه انجام نمی‌گیرد، بلکه در خاک رخ می‌دهد که در آن، فراهمی روی و میزان انتشار آن در اثر مقدار زیاد فسفر کاهش می‌یابد. این کاهش در میزان روی به‌علت افزایش در میزان جذب سطحی آن بر ترکیباتی مانند اکسیدهای آهن رخ می‌دهد و نه به‌علت رسوب به‌صورت فسفات‌های روی، که منابع خوبی برای رشد گیاه هستند (Bukvičl et al., 2003). کنش میان روی و فسفر در خاک به‌علت برقراری هم‌زیستی ریشه‌ها با قارچ‌های میکوریزی پیچیده است. مهم‌ترین شکل روی در تغذیه گیاه شکل کربناته آن است، پس شاید هر عاملی که بتواند روی اشکال روی تأثیر بگذارد، می‌تواند بر جذب آن تأثیرگذار باشد (Soleimanpoor et al., 2017). همچنین مسیلیوم‌های خارجی قارچ‌های میکوریز

روی

تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که غلظت روی علوفه تحت تأثیر معنی‌دار هم‌زیستی با قارچ میکوریزا، الگوهای کشت مخلوط و ترکیب تیماری هم‌زیستی با میکوریزا و الگوهای کشت قرار گرفت. بیشترین محتوای روی به الگوی تلقیح شده خالص خلر (۲۵/۶۸ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک) مربوط بود. بعد از آن تیمار تلقیح شده ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو (۲۱/۴۶ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک) قرار داشت. کم‌ترین محتوای روی نیز در الگوهای تلقیح نشده کشت خالص جو (۱۰/۷۷ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک) و ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو (۱۱/۹۷ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک) مشاهده شد (شکل ۹). هم‌زیستی گیاهان با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار یکی از مکانیسم‌هایی است که غالباً به جذب بیشتر و بهتر عناصر غذایی از جمله روی در خاک کمک کرده و نیز در برخی موارد امکان استفاده از منابع نامحلول روی در خاک را میسر می‌سازد (Marschner, 1995). جذب بیشتر روی در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا را به فعالیت بالای آنزیم‌های کربنیک انهیدراتاز

یک سطح جذب بالایی را برای عناصر غذایی از جمله روی ایجاد می‌کند (Marschner, 1995).

آربوسکولار عمدتاً حاوی هیف و اسپورهای قارچی هستند که سبب افزایش جذب عناصر غذایی می‌گردند. همچنین هیف‌های خارجی



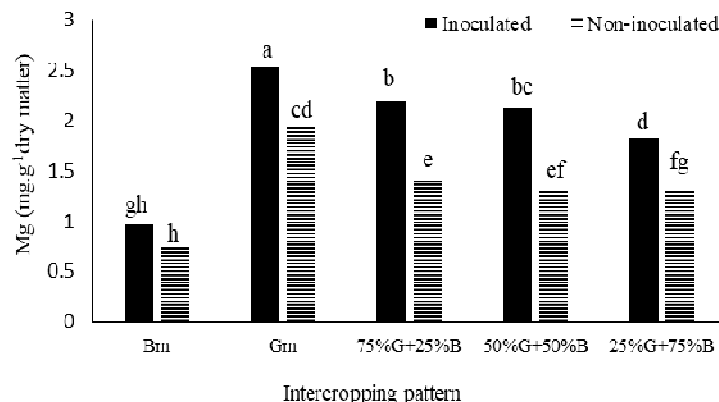
شکل ۹- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش الگوهای کشت مخلوط و هم‌زیستی با قارچ *Glomus intraradices* بر میزان روی علوفه جو و خلر
Fig. 9- Mean comparison for interaction of intercropping patterns and symbiosis with *Glomus intraradices* fungus on Zn content of barley and grasspea

حروف مشابه در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خلر.
Similar letters on the columns indicate no significant difference between treatments at the 5% probability of level. Bm: Barley monoculture. Gm: Grasspea monoculture.

منیزیم

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بیانگر تأثیر معنی‌دار هم‌زیستی با میکوریزا، الگوهای مختلف کشت مخلوط و ترکیب تیماری هم‌زیستی با میکوریزا و الگوهای کشت بر غلظت منیزیم علوفه حاصل از کشت‌های خالص و مخلوط بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱۰) نشان داد که بالاترین محتوای منیزیم علوفه به الگوی تلقیح شده کشت خالص خلر (۲/۵۲۴ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) تعلق داشت. بعد از آن الگوهای تلقیح شده ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو (۲/۱۹۱ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک)، ۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو (۲/۱۲۰ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) قرار داشتند. کم‌ترین محتوای منیزیم در کشت خالص جو تلقیح نشده (۰/۷۴۹ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) مشاهده شد. به‌طور کلی، کشت مخلوط منیزیم موجود در علوفه حاصل را افزایش داده است، به‌طوری‌که در الگوهای کشت مخلوط ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو و ۲۵ درصد خلر + ۷۵ درصد جو با کاربرد قارچ میکوریزا به ترتیب ۱۹۲/۵۲، ۱۸۳ و ۱۴۳/۱۲ درصد نسبت به کشت خالص جو تلقیح نشده افزایش یافت. ترشحات ریشه گیاه شامل مخلوط پیچیده‌ای از اسیدهای آلی،

دی‌اکسیدکربن، پروتون، آنزیم‌های مختلف، کی‌لیت‌کننده‌ها، هیدروکسیل، بی‌کربنات، اسیدهای آمینه، فیتوسودروفورها، ویتامین‌ها، پورین‌ها، نوکلئوزیدها و سلول‌های ریزان ریشه می‌باشد. این ترشحات بر فراهمی و جذب عناصر توسط ریشه گیاه و در نتیجه، بر تغذیه و رشد آن اثر مستقیم و غیرمستقیم دارند. ترکیب این ترشحات در گیاهان مختلف متفاوت بوده و یکی از دلایل متفاوت بودن کارایی جذب عناصر در گیاهان مختلف است (Marschner, 1995). قارچ‌های میکوریزا با بهبود شرایط تغذیه‌ای و همچنین تولید ترکیبات محرک رشد گیاه موجب بهبود و تسریع در مراحل مختلف رشدی گیاهان می‌شوند و علاوه بر تعدیل اثرات نامطلوب تنش، به‌میزان قابل توجهی رشد و جذب عناصر غذایی گیاه را افزایش می‌دهند (Varma et al., 2018). در رابطه با منیزیم نیز می‌توان اظهار نمود که افزایش جذب این عناصر احتمالاً ناشی از توسعه سیستم ریشه و متعاقب آن جذب بهتر این عنصر می‌باشد. علت افزایش جذب عناصر کم‌مصرف را به پتانسیل ریدکناز پایین‌تر در ریزوسفر، افزایش ترشحات کلات‌کننده و کاهش بیشتر pH در ریزوسفر گیاهان هم‌زیست با قارچ میکوریزا نسبت به گیاهان تلقیح نشده می‌دانند (Inal et al., 2007).



شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر برهم کنش الگوهای کشت مخلوط و همزیستی با قارچ *Glomus intraradices* بر محتوای منیزیم جو و خلر
Fig. 10- Mean comparison for interaction of intercropping patterns and symbiosis with *Glomus intraradices* fungus on Mg content of barley and grasspea

حروف مشترک در ستون‌ها نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خلر.
 Similar letters on the columns indicate no significant difference between treatments at the 5% probability of level. Bm: Barley monoculture. Gm: Grasspea monoculture.

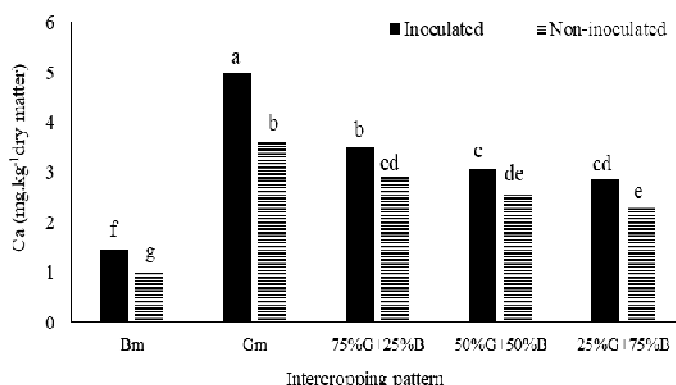
کلسیم

غلظت آن داشته باشد. طبق نتایج مطالعات متعدد، از مهم‌ترین مزایای تلقیح بذر گیاهان با قارچ می‌توان به افزایش فراهمی عناصر غذایی و آب در گیاه، افزایش تحمل به خشکی، افزایش شاخص سطح برگ، افزایش کارایی مصرف فسفر و سایر عناصر، افزایش درصد همزیستی، افزایش عملکرد ماده خشک، افزایش میزان کلروفیل و افزایش فتوسنتز، ارتفاع و قطر ساقه اشاره کرد (Varma et al., 2018). معمولاً عناصر غذایی در خاک توزیع یکنواختی ندارند و ممکن است قابلیت دسترسی عناصر غذایی در ناحیه ریشه گیاه متفاوت باشد که قارچ‌های میکوریزا ممکن است به گیاه میزبان خود در بهره‌برداری از توزیع غیریکنواخت منابع غذایی هم از طریق بهره‌برداری از تکه-های غنی از عناصر غذایی، یا از طریق جبران کاهش تکثیر ریشه و همچنین ظرفیت جذب عناصر غذایی خارج از تکه‌های تخلیه شده، کمک کنند. علاوه بر این، لگوم‌ها موجب اسیدی کردن خاک و افزایش حلالیت عناصر در محلول خاک می‌شوند (Tosti & Guiducci, 2010) و به همین دلیل باعث افزایش جذب عناصر غذایی از جمله کلسیم می‌شوند. همچنین در کشت مخلوط ذرت و لوبیا چشم بلبلی به دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالای ریشه لوبیا چشم بلبلی قدرت رقابت بالاتری نسبت به ذرت برای جذب عناصر دو ظرفیتی (کلسیم و منیزیم) دارد، به‌طوری‌که عناصر کلسیم و منیزیم بیشتری در کشت خالص لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna sinensis* L.) نسبت به کشت خالص

غلظت کلسیم علوفه تحت تأثیر معنی‌دار همزیستی با قارچ میکوریزا، الگوهای کشت مخلوط و اثر متقابل همزیستی با میکوریزا و الگوهای کشت مخلوط واقع شد (جدول ۴). بیشترین و کمترین محتوای کلسیم به ترتیب در الگوهای کشت خالص خلر تلقیح شده با میکوریزا (۴/۹۸۲ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک) و کشت خالص جو تلقیح نشده (۱/۰۰۲ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک) مشاهده شد (شکل ۱۱). الگوهای کشت تلقیح شده ۷۵ درصد خلر + ۲۵ درصد جو و ۵۰ درصد خلر + ۵۰ درصد جو در رتبه وسط قرار گرفتند. قارچ‌های میکوریزا قادرند با استفاده از گسترش ریشه‌های خارجی و تغییر مورفولوژی ریشه گیاهان، سطح جذب ریشه و انتقال مواد غذایی به ریشه را افزایش دهند (Varma et al., 2018). افزایش جذب مواد غذایی بر اثر تلقیح را می‌توان به افزایش تعداد، طول، ضخامت ریشه و ظرفیت تبادل کاتیونی بالای ریشه گیاهان تلقیح شده نسبت داد (Mahanta et al., 2014). نجفی و مصطفایی (Najafi & Mostafae, 2015) عنوان کردند غلظت کلسیم شاخساره ذرت در کشت مخلوط ذرت با لوبیا و گاودانه تفاوت معنی‌داری با کشت خالص آن نداشت. آن‌ها بیان کردند با توجه به آهکی و قلیایی بودن خاک، به نظر می‌رسد که این عدم تأثیر ناشی از زیادی غلظت کلسیم در خاک است، به‌طوری‌که نوع کشت نتوانسته است اثر معنی‌داری بر

مواد غذایی بیشتری از یک حجم معینی از خاک جذب گردد. که این امر احتمالاً می‌تواند در جذب عناصر غذایی از جمله کلسیم مؤثر واقع شود.

ذرت جذب شدند (Eskandari & Ghanbari, 2011). علاوه‌براین، کشت گیاه جو با ریشه‌های سطحی و افشان در مجاورت گیاهان علوفه‌ای که دارای ریشه عمیق هستند، باعث می‌شود که ریشه این گیاهان در طبقات مختلف خاک گسترش یابند و در مجموع، آب و



شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش الگوهای کشت مخلوط و هم‌زیستی با *Glomus intraradices* بر محتوای کلسیم جو و خلر
Fig. 11- Mean comparison for interaction of intercropping patterns and symbiosis with *Glomus intraradices* fungus on Ca content of barley and grasspea

وجود حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح احتمال پنج درصد است. Bm: کشت خالص جو، Gm: کشت خالص خلر. Similar letters on the columns indicate no significant difference between treatments at the 5% probability of level. Bm: Barley monoculture. Gm: Grasspea monoculture.

عناصر غذایی در الگوی تلقیح شده ۷۵ درصد خلر+ ۲۵ درصد جو حاصل شد، که می‌توان به‌عنوان الگوی برتر جهت دستیابی به علوفه با کیفیت بالاتر به کشاورزان معرفی گردد. بنابراین، کاربرد قارچ *Glomus intraradices* و کشت مخلوط نه تنها کیفیت علوفه جو و خلر را از نظر غلظت عناصر غذایی بهبود بخشید، بلکه می‌تواند در تولید علوفه با کمیت بالا نیز ضمن کاهش مصرف کودهای شیمیایی مؤثر واقع شود.

نتیجه‌گیری

هم‌زیستی گیاهان جو و خلر با قارچ میکوریزا جدایه *Glomus intraradices*، تأثیر قابل توجهی بر عملکرد و جذب عناصر غذایی علوفه داشت. به‌طوری‌که، عملکرد علوفه هر یک از گیاهان جو و خلر و میزان غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز، منیزیم و کلسیم در تمامی الگوهای کشت مخلوط دو گیاه با کاربرد قارچ میکوریزا نسبت به کشت خالص جو تلقیح نشده بالاتر بود. همچنین بین الگوهای مختلف کشت مخلوط، بیشترین محتوای

References

- Agegehu, G., Ghizaw, A., and Sinebo, W., 2006. Yield performance and land use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. *European Journal of Agronomy* 25(3): 202-207.
- Azimzadeh, Y., Shariatmadari, H., and Shirvani, M., 2015. Effects of green manure and mixed culture of maize (*Zea Mays* L.) and canola (*Brassica napus* L.) on bioavailability and uptake of iron in greenhouse. *Iranian Journal of Soil Research* 29(2): 117-129. (In Persian with English Summary)
- Boomsma, C.R., and Vyn, T.J., 2008. Maize drought tolerance: potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Field Crops Research* 108: 14-31.
- Bremner, J.M., and Mulvaney, C.S., 1982. Nitrogen-Total, (Eds.), *Methods of Soil Analysis*. Agronomy Monograph 9,

- Part 2, American Society of Agronomy 595-624.
- Bukvić, G., Antunović, M., Popović, S., and Rastija, M., 2003. Effect of P and Zn fertilisation on biomass yield and its uptake by maize lines (*Zea mays* L.). *Plant, Soil Environment* 49(11): 150-505.
- Chen, Y., Shi, J., Tin, G., Zheng, S., and Lin, Q., 2004. Fe deficiency induces Cu uptake and accumulation in *Commelia communis*. *Plant Science* 166: 1371-1377.
- Druege, U., Baltruschat, H., and Franke, P., 2007. Piriformospora indica promotes adventitious root formation in cuttings. *Scientia Horticulturae* 112: 422-426.
- Ebrahimian, E., Bybordi, A., Seyyedi, S., and MohammadiKia, R., 2015. Effects of the nitrogen and zinc fertilizers and salinity irrigation on yield, quality traits and nutrient uptake of canola (*Brassica napus* L. cv. Okapi). *Journal of Agroecology* 7(1): 120-126. (In Persian with English Summary)
- Eskandari, H., and Ghanbari, A., 2011. Evaluation of competition and complementarity of corn (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vigna sinensis* L.) intercropping for nutrient consumption. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 21(2): 67-75. (In Persian with English Summary)
- Estrada-Luna, A., and Davies, A., 2003. Arbuscular mycorrhizal fungi influence water relations, gas exchange, abscisic acid and growth of micropropagated chile ancho pepper (*Capsicum annuum*) plantlets during acclimatization and post-acclimatization. *Journal of Plant Physiology* 160: 1073-1083.
- Ghasemi-Fasaei, R., and Mansoorpoor, Y., 2015. Metal micronutrients relationships in crop, soil, and common weeds of two maize (*Zea mays* L.) fields. *Archives of Agronomy and Soil Science* 61(12): 1733-1741.
- Giles, C.D., Brown, L.K., Adu, M.O., Mezeli, M.M., Sandral, G.A., Simpson, R.J., Wendler, R., Shand, C.A., Menezes-Blackburn, D., Darch, T., Stutter, M.I., Lumsdon, D.G., Zhang, H., Blackwell, M.S.A., Wearing, C., Cooper, P., Haygarth, P.M., and George, T.S., 2017. Response-based selection of barley cultivars and legume species for complementarity: root morphology and exudation in relation to nutrient source. *Plant Science* 255: 12-28.
- Guo, X., Xiong, X., Shen, H., Qiu, W., Ji, C., Zhang, Z.H., and Zuo, Y., 2014. Dynamics in the rhizosphere and iron-uptake gene expression in peanut induced by intercropping with maize: role in improving iron nutrition in peanut. *Plant Physiology and Biochemistry* 76: 36-43.
- Hamzei, J., and Sadeghi Meabadi, F., 2013. Effects of mycorrhizal symbiosis on physiological indices and yield of grain sorghum under different irrigation intervals. *Journal of Crops Improvement* 15(4): 151-163.
- Hauggaard-Nielsen, H., Ambus, P., and Jensen, E.S., 2003. The comparison of nitrogen use and leaching in sole cropped versus intercropped pea and barley. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 65(3): 289-300.
- 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* 45(5): 350-356.
- Kizhaeral, S.S., Virgine Tenshia, J.S., Jayalakshmi, K., and Ramachandran, V., 2011. Antioxidant enzyme activities in arbuscular mycorrhizal (*Glomus intraradices*) fungus inoculated and non-inoculated maize plants under zinc deficiency. *Indian Journal of Microbiology* 51(1): 37-43.
- Lehmann, A., Veresoglou, S.D., Leifheit, E.F., and Rillig, M.C., 2014. Arbuscular mycorrhizal influence on zinc nutrition in crop plants—A meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry* 69: 123-131.
- Li, W., Li, L., Sun, j., Guo, T., Zhang, F., Bao, X., Peng, A., and Tang, C., 2005. Effects of intercropping and nitrogen application on nitrate present in the profile of an orthicanthrosol in Northwest China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 105: 483-491.
- Lindsay, W.L., and Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for Zn, Fe, Mn and Cu. *Soil Science. Society of American Journal* 42: 421-428.
- Mahanta, D., Rai, R.K., Mishra, S.D., Raja, A., Purakayastha, T.J., and Varghese, E., 2014. Influence of phosphorus and biofertilizers on soybean and wheat root growth and properties. *Field Crops Research* 166: 1-9.
- Marschner, H., 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Second Ed. Academic Press, USA.
- Meena, V.S., Maurya, B.R., and Verma, J.P., 2014. Does a rhizospheric microorganism enhance K⁺ availability in agricultural soils? *Microbiological Research* 169: 337-347.
- Mench, M., and Martin, E., 1991. Mobilization of cadmium and other metals from two soils by root exudates of *Zea mays* L., *Nicotiana tabacum* L. and *Nicotiana rustica* L. *Plant Soil* 132(2): 187-196.
- Nabati-nasaz, M., gholipouri, A., and Mostafavi Rad, M., 2015. Evaluation of forage yield and important agronomic indices of corn affected by intercropping systems with peanut and nitrogen rates. *Journal of Agroecology* 8(1): 70-

81. (In Persian with English Summary)
- 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)
- Nelson, D.W., and Sommers, L.E., 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. p. 539-579. In A.L. Page (Ed.). *Method of Soil Analysis, Chemical and Microbiological Methods*, Part 2. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Nyoki, D., and Ndakidemi, P.A., 2018. Rhizobium inoculation reduces P and K fertilization requirement in cornsoybean intercropping. *Journal Rhizosphere* 5: 51-56.
- Olsen, S.R., and Sommers, L.E., 1982. In: A.L. Phosphorus, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part II: Chemical and Microbiological Properties*. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy 403-427.
- Pakgohar, N., and Ghanbari, A., 2013. Evaluation of competition and nutrient consumption of nutritive millet and green pea in intercropping. *Journal of Crops Improvement* 15(4): 137-150. (In Persian with English Summary)
- Phillips, J.M., and Hayman, D.S., 1970. Improved procedures clearing roots and staining parasitic and vesicular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transaction of the British Mycological Society Journal* 55: 158-161.
- Rezvani moghaddam, P., Ehyae, H.R., and Amiri, M.B., 2017. Application of spent mushroom compost and mycorrhiza on yield and yield components of garlic (*Allium sativum* L.) in the low input cropping system. *Journal of Agroecology* 9(2): 490-504. (In Persian with English Summary)
- Sharda waman, M.K., and Bernard Felinov, R., 2009. Studies on effects of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi on mineral nutrition of (*Carica papaya* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj* 37: 183-186.
- Soleimanpoor, L., Naderi, R., and Najafi-Ghiri, M., 2017. Evaluation of metal micronutrients uptake in cereal-legume intercropping. *Journal of Crops Improvement* 18(4): 1017-1031. (In Persian with English Summary)
- Subramanian, K.S., Tenshia, J., Jayalakshmi, V., and Ramachandran, V., 2011. Antioxidant enzyme activities in arbuscular mycorrhizal (*Glomus intraradices*) fungus inoculated and non-inoculated maize plants under zinc deficiency. *Indian Journal of Microbiology* 51(1): 37-43.
- Smith, S.E., and Read, D., 2008. *Mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry. Mycorrhizal Symbiosis* (Third Edition). p. 611-636.
- Stoltz, E., and Nadeau, E., 2014. Effects of intercropping on yield, weed incidence, forage quality and soil residual N in organically grown forage maize (*Zea mays* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.). *Field Crops Research* 169: 21-29.
- Tosti, G., and Guiducci, M., 2010. Durum wheat- faba bean temporary intercropping: effects on nitrogen supply and wheat quality. *European Journal of Agronomy* 33: 157-165.
- Tong-jian, X., Qing-song, Y., Wei, R., Guo-hua, X.U., and Qi-rong, S.H. 2010. Effect of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungus on nitrogen and phosphorus utilization in upland rice-mungbean intercropping system. *Journal Published by Elsevier Ltd* 9: 528 -545.
- Valentine, A.J., Mortimer, P.E., Lintnaar, A., and Borgo, R., 2006. Drought responses of arbuscular mycorrhiza grapevines. *Symbiosis* 3: 127-133.
- Varma, A., Prasad, R., and Tuteja, N., 2018. *Mycorrhiza-Nutrient Uptake, Biocontrol, Ecorestoration*. Springer.
- Verzeaux, J., Hirel, B., Dubois, F., Lea, P.J., and Tetu, T., 2017. Agricultural practices to improve nitrogen use efficiency through the use of arbuscular mycorrhizae: basic and agronomic aspects. *Plant Science* 264: 48-56.
- Walter, H.R., and Lanyon, L.E., 1982. Magnesium, Calcium, Strontium and Barium. *Methods of Soil Analysis. Chemical and microbiological properties*, USA. 262-267.
- Wang, Y.L., Almvik, M., Clarke, N., Eich-Greatorex, S., Ogaard, A.F., Krogstad, T., Lambers, H., and Clarke, J.L., 2015. Contrasting responses of root morphology and root exuded organic acids to low phosphorus availability in three important food crops with divergent root traits. *AoB PLANTS* 7: 1-11.
- Weisany, W., Raei, Y., Zehtab-Salmasi, S., and Sohrabi, Y., 2016. Effect of arbuscular mycorrhiza fungi on yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and dill (*Anethum graveolens* L.) in mono and intercropping system. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 26(3): 1-19.
- Western, R.L., 1990. *Soil Testing and Plant Analysis*. SSSA. Madison Wisconsin, USA.
- Yousfi, S., Rabhi, M., Abdelly, C., and Gharsalli, M., 2009. Iron deficiency tolerance traits in wild (*Hordeum*

maritimum L.) and cultivated barley (*Hordeum vulgare* L.). Comptes Rendus Biologies 332(6): 523-533. (In Persian with English Summary)

Zhang, F.S., and Li, L., 2003. Using competitive and facilitative interaction in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient- use efficiency. Plant and Soil 248: 305-312.



Investigation of Forage Yield and Nutrients Uptake in Intercropping of Barley (*Hordeum vulgare* L.) and Grass Pea (*Lathyrus sativus* L.) Affected by Symbiosis with *Glomus intraradices* Fungus

M. Haghaninia¹, A. Javanmard^{2*} and S. Mollaaliabasiyan³

Submitted: 03-09-2018

Accepted: 12-02-2019

Haghaninia, M., Javanmard, A., and Mollaaliabasiyan, S., 2021 . Investigation of forage yield and nutrients uptake in intercropping of barley (*Hordeum vulgare* L.) and grass pea (*Lathyrus sativus* L.) affected by symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungus. Journal of Agroecology 12(4):663-683.

Introduction

Intercropping systems are one of the sustainable agricultural systems that defined as growing two or more plants simultaneously, lead to the use of more resources efficiently of nutrient water and land, improving plant production. Intercropping, as a new green revolution, is a sustainable strategy for the development of food production due to the lesser reliance of chemical fertilizer inputs compared with monocultures. In intercropping systems, plant nutrient uptake could improve the physical, chemical, and biological soil properties and higher nutrient mobilization in the rhizosphere. Arbuscular mycorrhizal fungi (AM) are preferred biofertilizers over other myriads of microorganisms that inhabit the interface between plant and soil. They are ubiquitous soil inhabitants and form the largest group which is predominantly associated with crops. Arbuscular mycorrhizal fungi can considerably improve plant growth, nutrients uptake, and transport, especially phosphorus, water status, and chlorophyll content. Previously studies demonstrated that higher productivity with AM fungi's application was attributed to higher nutrients availability such as P, K, Ca, Mg, etc. Thus, an experiment was conducted to evaluate the effects of barley's different intercropping patterns with grass pea and symbiosis with AM fungus on the forage yield and nutrients absorption, including N, P, K, Fe, Zn, Mn, Ca, and Mg.

Materials and Methods

In order to investigate the forage nutrients content and in intercropping of barley (*Hordeum vulgare* L.) with grass pea (*Lathyrus sativus* L.) under application of arbuscular mycorrhizal fungi, a field experiment was performed as a factorial layout based on randomized complete block design (RCBD) with ten treatments and three replications at the faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran, during 2017. The first factor included different planting patterns (monoculture of barley, monoculture of grass pea, 75% grass pea+ 25% barley, 50% grass pea+ 50% barley, 25% grass pea+ 75% barley), and the second factor was inoculated and non-inoculated with *Glomus intraradices* fungus. All data were statistically analyzed using analysis of variance (ANOVA) using MSTAT-C statistical software. The Duncan's multiple range test was used to compare means at a 5% probability level.

Results and Discussion

This study demonstrated that the macro and micronutrient content were significantly affected by different cropping patterns with the application of AM fungi. The greatest barley forage yield belonged to inoculated

1- Ph.D Student of Agrotechnology- Crop ecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.

2- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.

* Corresponding author Email: A.javanmard@maragheh.ac.ir

Doi:10.22067/jag.v12i4.75125

barley monoculture. Furthermore, the results demonstrated that the inoculated barley forage yield in monoculture was 47.48% more than the non-inoculated. The highest grass pea forage yield was achieved in monocultures and followed by a ratio of 75% grass pea+ 25% barley symbiosis with mycorrhizae fungus. Also, the highest nutrient content was achieved in grass pea monoculture with the application of AM fungi. Between different intercropping patterns, the highest nutrients content was obtained in the 75% grass pea+ 25% barley with the application of AM fungus. The higher nutrients uptake was attributed to increasing the absorption surface and improving nutrients availability with the application of AM fungi. Also, Varma et al. (2018) reported that the application of AM fungi in intercropping systems increased the transfer of the nutrients, especially nitrogen, to component plants that resulted in higher nutrients uptake in plants. These authors also reported that the higher nitrogen content with the application of AM fungi attributed to the higher activity of nitrate reductase and dikinase glucan enzymes that resulted in higher nitrogen availability for plants.

Conclusion

According to the results of this research, intercropping treatments of barley/grass pea with *Glomus intraradices* considerably influenced by the absorption of nutrients and forage yield. The content of concentration nitrogen, phosphorus, potassium iron, zinc, manganese, magnesium, and calcium were highest at all intercropping patterns coincided with the application of mycorrhiza fungi than the non-inoculated monoculture of barley. Also, between different intercropping patterns, the highest nutrients content was obtained in 75% grass pea+ 25% barley pattern accompanied by application of mycorrhiza that suggested as a better pattern to achievement high-quality forage for farmers. Therefore, intercropping of barley/grass pea with the application of mycorrhizae can improve forage quality of barley and grass pea from the point of view concentration of nutrients and were influential in production forage with high quantity.

Keywords: Bio-fertilizer, Nitrogen, Planting patterns, phosphorus, Sustainable agriculture.



مقاله علمی - پژوهشی

مقایسه نیاز آبی مزارع گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) استان هرمزگان با سایر مناطق جنوبی ایران با استفاده از آنالیز سری زمانی

فرزین عبدالمهی^{۱*}، لیلا جعفری^۱ و سارا اسدی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۴

عبدالمهی، ف.، جعفری ل.، و اسدی، س.، ۱۳۹۹. مقایسه نیاز آبی مزارع گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) استان هرمزگان با سایر مناطق جنوبی ایران با استفاده از آنالیز سری زمانی. بوم شناسی کشاورزی ۱۲(۴): ۶۸۵-۷۰۲.

چکیده

به منظور ارزیابی کشت گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) با توجه به محدودیت آب تحت تأثیر تغییر اقلیم و خشکسالی، آنالیز سری زمانی مجموع بارش، میانگین حداکثر و حداقل دما، دامنه دمای شبانه روزی در طول فصل رشد گوجه فرنگی و همچنین نیاز آبی و آبیاری گوجه فرنگی بندرعباس با سایر مناطق جنوبی هم جوار این استان از جمله اهواز، دزفول، فسا، اصفهان، شهرکرد، کرمان، شیراز و یزد در یک دوره بلندمدت ۴۷ ساله از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۲ با استفاده از آزمون ناپارامتری من - کندال و آزمون پتیت انجام شد. نیاز آبی گوجه فرنگی با استفاده از تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع به روش پنمن - مانیتث و ضریب گیاهی فائو و نیاز آبیاری از کسر مقدار بارش مؤثر از نیاز آبی گوجه فرنگی به دست آمد. نتایج حاکی از آن بود که نیاز آبی و آبیاری گوجه فرنگی در بندرعباس مشابه با اهواز، فسا، کرمان و یزد دارای روند معنی داری نبود. در حالی که بیشترین و کمترین روند کاهشی نیاز آبی گوجه فرنگی در دزفول (شیب ۵/۴۲- میلی متر) و اصفهان (شیب ۱/۵۶- میلی متر) مشاهده شد. همچنین، بیشترین میانگین نیاز آبی گوجه فرنگی در یزد و دزفول (به ترتیب ۱۱۳۵ و ۱۱۳۱ میلی متر) و کمترین میانگین نیاز آبی گوجه فرنگی در شهرکرد و اهواز (به ترتیب ۶۰۲ و ۷۰۲ میلی متر) مشاهده شد. بندرعباس با طول دوره رشد و فصل رشد مشابه اهواز، پس از این شهر پایین ترین نیاز آبی و آبیاری گوجه فرنگی را به خود اختصاص داد. به طور کلی، می توان اظهار داشت که کشت پاییزه گوجه فرنگی در اهواز و بندرعباس به دلیل کاهش تبخیر و تعرق صرفه اقتصادی بیشتری نسبت کشت تابستانه این گیاه دارد. میزان نیاز آبیاری با نیاز آبی گوجه فرنگی در تمامی ایستگاه های مورد مطالعه به دلیل پایین بودن میانگین بارش مؤثر در این مناطق بر اساس آزمون تی-استیودنت اختلاف معنی داری نداشت.

واژه های کلیدی: آزمون من - کندال، بارش مؤثر، روش پنمن - مانیتث

مقدمه

تشدید پدیده های جوی مثل طوفان های سهمگین، خشک سالی های شدید، یخبندان های ناهنگام و غیره، نتیجه چنین تغییراتی است که ما را در مواجهه با تهدیدی جهانی به یقین رسانده است. برهم خوردن تعادل سیستماتیک سامانه اقلیم باعث بروز آشفتگی ها و ناهنجاری

بررسی داده های اقلیمی ثبت شده در دهه های گذشته و همچنین نتایج خروجی از تمامی مدل های پیش بینی کننده اقلیم آینده، حاکی از بروز تغییرات غیر قابل اغماض در اقلیم جهانی است. مشخصاً بروز و

(Email: fabdollahi@hormozgan.ac.ir; * نویسنده مسئول: Doi:10.22067/jag.v12i4.77267

۱- استادیار گروه باغبانی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان، ایران.

۲- دکتری بوم شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

های رفتاری شده است که بیشترین آثار آن بر محیط‌های طبیعی و به‌خصوص گیاهان که دارای قدرت و سرعت کم‌سازگاری هستند، می‌باشد (Mavi & Tupper, 2004). شرایط خاص اقلیمی کشور که خشکی و پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی، واقعیت گریزناپذیر آن است، تولید هرگونه مواد غذایی و محصولات کشاورزی را منوط به استفاده صحیح و منطقی از منابع محدود آب نموده است. در این شرایط اقلیمی آب آبیاری مهم‌ترین نهاده تولید کشاورزی است (Alizadeh & Kamali, 2007). در دهه‌های اخیر توجه بسیاری از محققین علم هیدرولوژی به موضوع گرمایش جهانی و تغییر اقلیم به‌ویژه در مناطق خشک معطوف شده است زیرا گرم شدن هوا بیشتر در مناطقی چشمگیر است که با خشکسالی نیز مواجه می‌باشند. لذا از آن‌جا که ایران در منطقه‌ای واقع شده است که دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد، بنابراین مدیریت منابع آب در رأس مشکلات توسعه قرار دارد (Alizadeh, 2015).

در سال‌های اخیر، دانشمندان و متخصصان علوم کشاورزی و اقلیم‌شناسی تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه اقلیم-کشاورزی انجام داده و با ارائه روش‌های مختلف سعی بر شناسایی و تبیین ارتباط عناصر و عوامل اقلیمی با کشت و مراحل رشد و نمو محصولات داشته‌اند. عملکرد گیاهان زراعی تحت تأثیر ساختار ژنتیکی گیاه، شرایط محیطی و اثرات متقابل آن‌هاست. اگرچه تنش‌های زنده و غیرزنده از عوامل مهم کاهش تولید محسوب می‌شوند، ولی میزان بارندگی و یا آب آبیاری، تشعشع و دما مهم‌ترین عوامل مؤثر در عملکرد گیاهان زراعی به‌شمار می‌روند (Entz & Fowler, 1990).

دما از طرفی، در چرخه هیدرولوژی و تولید محصولات زراعی نقش داشته و از طرف دیگر، در ارزیابی میزان تبخیر و تعرق پتانسیل و در نتیجه، در بررسی‌های هیدروکلیماتولوژی، توازن آب و نیاز آبی گیاهان حائز اهمیت است. لذا می‌توان دما را یکی از عمده‌ترین و اساسی‌ترین عنصر اقلیمی هر منطقه که در تعیین سایر عناصر اقلیمی نیز عامل مؤثری به‌شمار می‌رود در نظر گرفت (Alizadeh, 2015). به‌عبارتی، دمای هوا یکی از مهم‌ترین معیارهای تغییر اقلیم در جهان و ایران است. خشک‌سالی‌های اخیر ایران همراه با افزایش دمای هوا، موجب افزایش مصرف آب در کشاورزی گردید. با افزایش دمای هوا پیش‌بینی می‌شود که قدرت تبخیرکنندگی هوا یا تبخیر و تعرق پتانسیل، افزایش یابد (Alizadeh et al., 2010). با توجه به روند تغییرات دمای حداکثر و حداقل در مناطق مختلف کشور در سال‌های

اخیر و نقش مهم این دو عامل بر عملکرد و نیاز آبی گیاهان، پیش‌بینی و ارزیابی نو سانات آن‌ها در آینده و متعاقباً پیش‌بینی تغییرات نیاز آبی گیاهان زراعی نقش به‌سزایی در بهبود مدیریت منابع آب خواهد داشت. مدل‌های اقلیمی که به‌منظور پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی به‌کار برده می‌شوند عموماً در دو گروه کلی مدل‌های آماری-احتمالی و مدل‌های فیزیکی قرار می‌گیرند. در میان انواع مدل‌های اقلیمی، مدل‌هایی که بر مبنای اصول آمار و احتمال بنا نهاده شده‌اند دارای اهمیت به‌سزایی بوده و جنبه کاربردی‌تر دارند، بنابراین روش‌های آماری ابزاری کارآمد و مفید برای درک و ارزیابی رفتار اقلیم به‌شمار می‌آیند (Asakereh, 2011).

یکی از روش‌هایی که باعث بهبود بهره‌برداری آب و در نهایت، افزایش راندمان مصرف آب می‌شود، برآورد دقیق تبخیر و تعرق یا تخمین میزان آب مصرفی گیاهان می‌باشد. تبخیر-تعرق یکی از مؤلفه‌های اصلی بیلان آبی هر منطقه و در نتیجه، یکی از عوامل کلیدی برنامه‌ریزی درست و مناسب آبیاری می‌باشد (Li, 2003). روش‌های محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل در دو گروه تجربی و ترکیبی قرار می‌گیرند. در روش‌های تجربی اساس کار بر روی پارامتر دما قرار دارد و با استفاده از دمای محیط، تبخیر-تعرق پتانسیل محاسبه می‌گردد. در روش‌های ترکیبی برای محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل از دو فرآیند توازن انرژی و آیرودینامیک استفاده می‌شود. طی سال‌های اخیر روش‌های تجربی زیادی توسط متخصصان برای برآورد تبخیر و تعرق ارائه شده‌اند که هر یک تابع متغیرهای اقلیمی خاصی می‌باشند. در نشریه شماره ۲۴ آبیاری و زهکشی فائو برای کمک به کاربران با توجه به داده‌های موجود چهار روش بلانی-کریدیل، تابش، پنمن و تشتک تبخیر برای محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل ارائه شده است. در اغلب روش‌هایی که برای تعیین میزان تبخیر و تعرق ارائه شده‌اند، ابتدا مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) تخمین زده می‌شود و سپس از روی آن تبخیر و تعرق گیاه مورد نظر محاسبه می‌شود (Alizadeh, 2015). یکی از پارامترهای مهم در محاسبات نیاز آبی، ضریب رشد گیاهی (K_c) است که تغییرات آن به نوع گیاه، میزان رشد و فصل رویش گیاه بستگی دارد. با توجه به معیارهای پیشنهادی نشریه شماره ۵۶ فائو، مقادیر ضریب رشد گیاهی در مراحل مختلف رویش برای کلیه گیاهان الگوی محاسبه می‌شود. نیاز آب گیاه از حاصل ضرب میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در ضریب گیاهی (مراحل اولیه رشد، توسعه گیاه (اواسط دوره رشد) و مراحل انتهایی رشد)

به‌دست می‌آید. ضریب رشد گیاهی منعکس‌کننده خصوصیات گیاهی در نیاز آبی آن می‌باشد. طبق تعریف ضریب رشد گیاهی عبارت است از نسبت تبخیر و تعرق محصول در شرایط تولید حداکثر پتانسیل به تبخیر و تعرق بالقوه. مقادیر ضریب گیاهی بر حسب نوع گیاه، مرحله رشد، زمان کاشت و شرایط عمومی آب‌وهوایی شامل رطوبت متغیر می‌باشد.

باتوجه به مباحث فوق تعیین دقیق و علمی شاخص کارایی مصرف آب در کشاورزی و استفاده از روش‌های علمی و فنی مناسب مبتنی بر مطالعه و تحقیق، جهت افزایش کارایی مصرف آب کشاورزی ضروری به نظر می‌رسد. با بررسی‌های به عمل آمده مشخص شده است که در حال حاضر شاخص کارایی مصرف آب محصولات زراعی مناطق مختلف در کشور عملاً مشخص نبوده و اندازه‌گیری‌های دقیق و معتبری در این زمینه در سطح مزارع و تحت شرایط مدیریت محلی کشاورزان کشور انجام نیافته و یا محدود بوده و کافی نمی‌باشند. از طرف دیگر، بیشتر منابع و داده‌های موجود متکی بر نتایج طرح‌های تحقیقاتی ایستگاهی و یا مرور منابع خارجی هستند. هدف از این

مطالعه، محاسبه نیاز آبی گیاه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) در استان هرمزگان و مقایسه آن با سایر مناطق جنوبی هم‌جوار این استان در یک دوره بلندمدت ۴۷ ساله از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۲ می‌باشد. در این پژوهش نیاز آبی گوجه‌فرنگی در بندرعباس با سایر شهرهای جنوبی هم‌جوار این استان از جمله اهواز، دزفول، فسا، اصفهان، کرمان، شیراز و یزد برای بازه‌های یاد شده مقایسه شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

به‌منظور مقایسه نیاز آبی گوجه‌فرنگی در استان هرمزگان با سایر مناطق جنوبی هم‌جوار این استان، برآورد نیاز آبی این گیاه در شهرستان‌های بندرعباس، اهواز، دزفول، فسا، اصفهان، شهرکرد، کرمان، شیراز و یزد صورت گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌همراه میانگین دمای سالانه و مجموع بارش سالانه در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی برای هر منطقه (دوره بلندمدت ۴۷ ساله از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۲)

Table 1- The characteristics of the stations studied, with the mean annual temperature and total annual precipitation during the growing season of tomatoes for each region (a 47-year long period from 1346 to 1392)

نام ایستگاه Station name	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	ارتفاع از سطح دریا Height above mean sea level (m)	میانگین دمای سالانه Mean annual temperature (°C)	مجموع بارندگی سالانه Total annual precipitation (mm)
اهواز Ahvaz	31°19'13"N	48°40'09"E	17	25.6	278.6
بندرعباس Bandare Abbas	27°11'00"N	56°16'00"E	9	26.9	232.9
دزفول Dezful	32°22'57"N	48°24'07"E	150	24.2	474
فسا Fasa	28°56'18"N	53°38'54"E	1389	19.4	360.9
اصفهان Isfahan	32°38'00"N	51°39'00"E	1574	16.5	151.2
کرمان Kerman	30°17'00"N	57°05'00"E	1755	15.9	169.7
شهرکرد Shahr-e-Kord	32°19'32"N	50°51'52"E	2070	11.6	392.4
شیراز Shiraz	29°37'00"N	52°32'00"E	1500	18.0	397.3
یزد Yazd	31°53'50"N	54°22'4"E	1216	19.5	69.3

روش پتووش

روش‌های بسیاری برای برآورد نیاز آبی گیاه زراعی^۱ (CWR) ارائه شده است. که رایج‌ترین روش برای تخمین CWR شامل ضرب ضریب گیاهی منفرد^۲ (Kc) در مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع^۳ (ET_o) پوشش گیاهی که به‌طور کامل آبیاری شده (معادله ۱)، می‌باشد (Allen, 2003).

$$\text{معادله ۱: } CWR = Kc \times ET_o$$

در این معادله تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع (ET_o) در دوره رشد گیاه زراعی در یک دوره بلندمدت ۴۷ ساله از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۹۲ با توجه به اطلاعات اقلیمی تهیه شده از جمله دمای حداکثر (سانتی‌گراد)، دمای حداقل (سانتی‌گراد)، دمای نقطه شبنم (سانتی‌گراد)، بارش (میلی‌متر)، سرعت باد (متر بر ثانیه)، رطوبت نسبی (درصد) و تعداد ساعات آفتابی به‌صورت روزانه از ایستگاه مورد مطالعه (جدول ۱) و با استفاده روش پنمن-مانتیت (معادله ۲) محاسبه شد.

$$\text{معادله (۲)} \quad ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T_a + 273} \right) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

که در آن، ET_o: تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز)، R_n: تابش خالص در سطح پوشش گیاهی (مگاژول بر مترمربع بر روز)، T: میانگین دمای هوا (سانتی‌گراد)، U₂: سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین (متر بر ثانیه)، e_s: فشار بخار اشباع در ارتفاع دو متری (مگا پاسکال)، e_a: کمبود فشار واقعی در ارتفاع دو متری (مگا پاسکال)، e_s-e_a: کمبود فشار بخار در ارتفاع دو متری (مگا پاسکال)، Δ: شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر سانتی‌گراد)، γ: ضریب رطوبتی (کیلوپاسکال بر سانتی‌گراد) و G: شار گرما به داخل خاک (مگاژول بر مترمربع بر روز) می‌باشد.

یکی دیگر از پارامترهای مهم در محاسبات نیاز آبی، ضریب گیاهی منفرد (K_c) است که ترکیب تأثیر تعرق گیاه و تبخیر از خاک برای هر محصول است (راهنمای فائو^۴). مقدار ضریب گیاهی به‌طور معمول در طول فصل رشد متفاوت است، به‌گونه‌ای که مقدار آن از اوایل فصل رشد تا اواسط فصل رشد از حدود صفر به یک می‌رسد. این مقدار در مرحله رسیدگی گیاه شروع به کاهش می‌کند. در نتیجه، تغییرات ضریب رشد گیاهی به نوع گیاه، میزان رشد و فصل رویش

بستگی دارد. سازمان جهانی خواروبار و کشاورزی، با توجه به معیارهای یاد شده، مقادیر ضریب رشد گیاهی در مراحل مختلف رشد را برای اکثر گیاهان زراعی ارائه داده است (Allen, 1998). ضریب گیاهی از تقسیم تبخیر و تعرق گیاه زراعی بر تبخیر و تعرق پتانسیل حاصل می‌شود. این مقدار ارتباط زیادی به خصوصیات فیزیولوژیک و مرحله رشدی گیاه دارد. اگرچه تبخیر و تعرق هر گیاه زراعی در هر منطقه تغییر می‌کند، اما به‌دلیل لحاظ کردن خصوصیات اقلیمی هر منطقه در محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل، ضریب گیاهی مستقل از مکان می‌باشد. بر همین اساس فائو ضرایب گیاهی و روش استاندارد محاسبه تبخیر و تعرق (فائو-پنمن-مانتیت) را برای استفاده در تمامی مناطق کره زمین ارائه داده است.

محاسبه تبخیر و تعرق گیاه زراعی در طول دوره رشد بر اساس تاریخ کاشت ارائه شده توسط گزارش‌های جهاد کشاورزی استان و تاریخ برداشت بر اساس درجه روز مورد نیاز هر محصول تا زمان رسیدگی (GDD^۵)، انجام می‌گردد (جدول ۲). با توجه به عدم اطلاعات کافی در مورد ارقام کشت شده گوجه‌فرنگی در بازه طولانی مدت در مناطق مورد مطالعه و عدم کشت و دسترسی به ارقام قدیمی، امکان مطالعه و اصلاح ضریب گیاهی آن ارقام وجود نداشت. از این‌رو، برای محاسبه نیاز آبی گیاهان زراعی همانند سایر محققین از ضریب گیاهی ارائه شده فائو استفاده شد (جدول ۳) (Yea et al., 2015; Bhojaraja et al., 2015). علاوه بر این، برای مشخص کردن میزان دقیق نیاز آبیاری گوجه‌فرنگی در هر منطقه، مقدار بارش مؤثر را از نیاز آبی گوجه‌فرنگی کسر می‌کنیم.

آنالیز روند

آزمون من‌کندال^۶ (MK)

تجزیه و تحلیل روند نشان‌دهنده تغییرات پارامترها در طول زمان است که با استفاده از دو روش آماری آزمون پارامتری تی-استیودنت و آزمون غیرپارامتری من-کندال انجام می‌شود. اگر چه کاربرد هر دو آزمون در بسیاری از موارد نتایج مشابه می‌دهد، اما انوز و بایزت

4- FAO

5- Growing degree days

6- Mann-Kendall test

1- Crop water requirement

2- Single crop coefficient

3- Reference evapotranspiration

به‌منظور تشخیص هر گونه روند احتمالی در سری آماری متغیرهای اقلیمی، کارایی مصرف آب و نیاز آبی گیاه آزمون غیرپارامتری من کندال (Onoz & Bayazit, 2003) نشان دادند که آزمون غیرپارامتری من کندال قدرت بیشتری در مقایسه با آزمون پارامتری تی-استیودنت در نشان دادن توزیع احتمال چولگی دارد. در نتیجه، در این تحقیق

جدول ۲- تاریخ کاشت و برداشت گوجه‌فرنگی بر اساس کشت رایج در مناطق مورد مطالعه
Table 2- Date of planting and harvesting tomato based on the common planting in the studied areas

نام ایستگاه Station name	اهواز Ahvaz	بندرعباس Bandare Abbas	دزفول Dezful	فسا Fasa	اصفهان Isfahan	کرمان Kerman	شهرکرد Shahr-e Kord	شیراز Shiraz	یزد Yazd
تاریخ کاشت	نیمه اول	نیمه دوم	نیمه دوم	نیمه دوم	نیمه اول	نیمه دوم	نیمه دوم	نیمه دوم	نیمه دوم
Planting date	22 June-6 July	7 Sep-2 Sep	7 July-22 July	6 May-21 May	22 May-5 June	6 May-21 May	6 June-21 June	6 May-21 May	6 May-21 May
تاریخ کاشت	نیمه دوم	نیمه اول بهمن	نیمه دوم	نیمه اول مهر	نیمه دوم مهر	نیمه اول مهر	نیمه اول	نیمه اول مهر	نیمه اول مهر
Harvesting date	5 Feb-19 Feb	21 Jan-4 Feb	7 Nov-21 Nov	23 Sep-7 Oct	8 Oct-22 Oct	23 Sep-7 Oct	23 Oct-6 Nov	23 Sep-7 Oct	23 Sep-7 Oct

جدول ۳- ضریب گیاهی منفرد (K_c) مراحل مختلف رشد گوجه‌فرنگی
Table 3- Single crop coefficients (K_c) of different growth stages of tomato.

ضریب گیاهی Crop coefficient			حداکثر ارتفاع بوته Maximum crop height (m)
مرحله اولیه رشد Crop coefficient for the initial stage	مرحله میانی رشد Crop coefficient for the mid-season stage	مرحله انتهایی رشد Crop coefficient for the end of the late season stage	
0.60	1.15	0.70-0.90	0.6

$$\sigma^2 = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad \text{معادله (۵)}$$

در نهایت، آماره آزمون من-کندال یا آمار Z استاندارد با استفاده از معادله ۶ محاسبه شد:

$$Z = f(x) = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sigma} & S < 0 \end{cases} \quad \text{معادله (۶)}$$

فرض صفر به شرط $-Z_{1-\theta/2} \leq Z \leq Z_{1-\theta/2}$ پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت H_0 رد و فرض H_1 (وجود روند در سری داده‌ها) پذیرفته می‌شود.

آزمون پتیت^۲ (P)

تست پتیت، آزمونی ناپارامتری است که در سال ۱۹۷۹ توسط پتیت برای پیدا کردن نقاط تغییر در یک سری زمانی توسعه داده شد. این آزمون با پایه رتبه‌ای و بدون توزیع جهت تشخیص تغییرات معنی

فرض صفر (H_0) آزمون من-کندال (MK) (Kendall, 1975; Mann, 1945; Gilbert, 2012) بر تصادفی بودن و عدم وجود روند و فرض یک (H_1) مبنی بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. در ابتدا برای استخراج آماره S، اختلاف بین تک تک مشاهدات با یکدیگر با استفاده از معادله ۳ محاسبه شد:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad \text{معادله (۳)}$$

که در آن x مقدار داده زام، n طول دوره آماری و sgn تابع علامت می‌باشد که به‌صورت معادله ۴ تعریف می‌گردد:

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} +1 & \theta > 0 \\ 0 & \theta = 0 \\ -1 & \theta < 0 \end{cases} \quad \text{معادله (۴)}$$

تحت فرضیه توزیع متغیرهای مستقل و تصادفی، وقتی $n \geq 8$ ، آمار S دارای توزیع نرمال با میانگین صفر بوده و واریانس آن به شرح زیر می‌باشد (معادله ۵):

دار در میانگین سری زمانی است و این موضوع زمانی اهمیت دارد که هیچ فرضیه‌ای در مورد زمان تغییر موجود نباشد. آماره آزمون پتیت به شرح زیر است (Pettitt, 1979):

سری زمانی $U_{1:T}$ بر اساس معادله ۷ محاسبه شد.

$$U_{t:T} = U_{t-1:T} + \sum_{j=1}^T \text{sgn}(x_t - x_j) \text{ for } t = 1, \dots, T \quad (7)$$

که در آن، T : تعداد داده‌ها و t : شماره ترتیبی داده‌های سری زمانی تا نقطه تغییر و بعد از آن می‌باشد (Zhang et al., 2009). طول دوره آماری و T : تعداد داده در سری آماری است. تابع $\text{sgn}(\cdot)$ نیز به صورت معادله ۴ محاسبه شد. آماره p نیز با استفاده از جایگزینی مقدار k (معادله ۸) در معادله ۹ به دست آمد.

$$K_T = \max_{1 \leq t \leq T} |U_{t:T}| \quad (8)$$

$$p \approx 2 \exp[-6(K_T)^2 / (T^3 + T^2)] \quad (9)$$

در این آزمون، فرض H_0 ، بیانگر همگنی داده‌ها و فرض H_1 نشان دهنده سال وقوع شکست در سری زمانی مورد مطالعه می‌باشد. در صورتی که مقدار p محاسبه شده کوچک‌تر از α یا مقدار سطح احتمال معنی‌داری پنج درصد باشد، می‌توان این نقطه تغییر را در سری، از نظر آماری معنی‌دار دانست. در واقع مقدار p مقدار ریسک یا خطای رد کردن فرض H_0 است که اگر این خطا از پنج درصد کمتر باشد، می‌توان این تغییر را معنی‌دار دانست. در آزمون پتیت با توجه به وجود همگنی می‌توان به سال شکست رسید. لازم به ذکر است محاسبه ETo و CWR به ترتیب با استفاده از نرم‌افزار Ref ET و CROPWAT 8 و تست من-کندال و پتیت با نرم‌افزار انجام شد.

نتایج و بحث

آنالیز سری زمانی دما و بارش در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی

بررسی روند تغییرات حداکثر دمای مناطق جنوبی و جنوب غربی کشور در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی نشان داد که حداکثر دما در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه به جز بندرعباس و شهرکرد دارای روند افزایشی معنی‌داری است (شکل ۱). یزد و اصفهان با شیب 0.05 درجه سانتی‌گراد در سال، بیشترین روند افزایشی حداکثر دما را داشتند (شکل ۱ و ۲). به عبارتی، حداکثر دما در این دو شهر در حدود $2/35$ درجه سانتی‌گراد در دوره بلندمدت (47 ساله) افزایش یافته است. این در حالی است که اهواز و دزفول با بیشترین میانگین حداکثر دما در

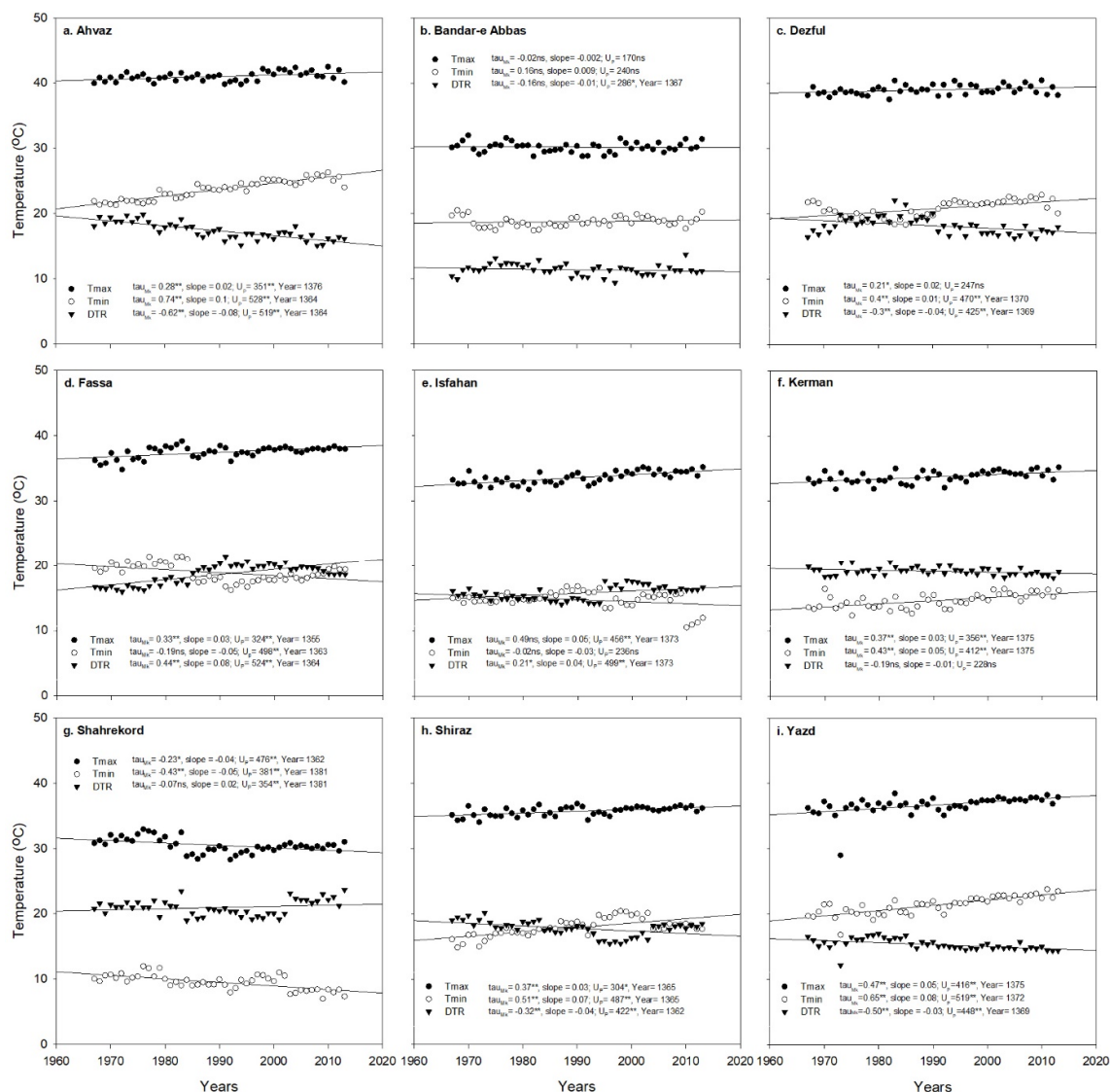
طول دوره رشد گوجه‌فرنگی (به ترتیب 41 و 39 درجه سانتی‌گراد) دارای شیب معادل 0.02 درجه سانتی‌گراد در سال بودند (شکل ۱a و ۱b). از سوی دیگر، بیشترین و تنه‌ا روند کاهشی معنی‌دار حداکثر دما در شهرکرد با شیب -0.04 درجه سانتی‌گراد در سال مشاهده شد (شکل ۱g). افزایش دما در طول دوره رشد گیاه زراعی از یک سو گیاه را برای برخی از فرآیندهای حیاتی از جمله فتوسنتز تحت تنش قرار می‌دهد (Lobell, 2007) و از سوی دیگر، با افزایش تقاضای آب از طریق تبخیر از سطح خاک و تعرق از سطح گیاه موجب کاهش رطوبت خاک (Ford & Quiring, 2014) و در نتیجه، افزایش نیاز آبیاری در طول دوره رشد گیاه به خصوص دوره‌های بحرانی رشد گیاه می‌شود (Asadi et al., 2018).

حداقل دما در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی در ایستگاه‌های اهواز، دزفول، کرمان، شیراز و یزد دارای روند مثبت و معنی‌داری در سطح آماری یک درصد بود (شکل ۱). علاوه بر این، اهواز با بیشترین میانگین حداقل دما در حدود $23/7$ درجه سانتی‌گراد دارای بیشترین شیب افزایشی در حدود 0.1 درجه سانتی‌گراد در سال بود (شکل ۱a). همچنین حداقل دمای شهرکرد با شیبی در حدود -0.05 درجه سانتی‌گراد در سال، دارای روند منفی معنی‌داری در سطح آماری یک درصد بود (شکل ۱g). که به طور کلی، حداقل درجه‌حرارت شهرکرد در دوره 47 ساله در حدود $2/35$ درجه سانتی‌گراد کاهش یافته است. کاهش دمای حداقل علاوه بر کاهش میزان تبخیر از سطح خاک و تعرق از سطح گیاه، احتمال خطر یخ‌زدگی را برای گوجه‌فرنگی افزایش می‌دهد که این موضوع می‌تواند تأثیر معنی‌داری بر عملکرد گیاه در این منطقه داشته باشد (Tubiello et al., 2002).

اگرچه حداقل و حداکثر دما در ایستگاه‌های اهواز، دزفول، شیراز و یزد روند افزایش معنی‌داری داشته است، اما به دلیل شیب افزایشی بیشتر حداقل دما، دامنه دمای شبانه‌روزی در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی دارای روند منفی معنی‌داری در سطح آماری یک درصد می‌باشند (شکل ۱a، c، h و i). کارال و همکاران (Karl et al., 1991) اظهار داشتند که روند متفاوت تغییرات حداکثر و حداقل دما حاکی از واکنش‌های متفاوت این دو پارامتر در طی زمان است. به نحوی که نرخ تغییرات حداقل دما به طرز محسوسی بیشتر از نرخ تغییرات حداکثر دما است. این امر موجب کاهش اختلاف دامنه دمای شبانه‌روزی می‌شود. مارنگو و کامارگو (Marengo & Camargo, 2008) نیز از بررسی سری‌های بلندمدت حداکثر و حداقل دمای

مشاهده روند افزایشی مثبت معنی‌دار در حداکثر دما، دارای روندی مثبت و معنی‌دار است. به‌طور کلی، اختلاف بین دمای شب و روز در این مناطق در حال افزایش است.

ایستگاه‌های جنوب برزیل به این نتیجه رسیدند که روند حداقل دما دارای شیبی افزایشی است، اما روند حداکثر دما دارای شیب ملایم بوده است. نتایج همچنین حاکی از آن بود که روند دامنه دمای شبانه روزی فسا و اصفهان به‌دلیل عدم مشاهده روند افزایشی حداقل دما و



شکل ۱- آنالیز روند میانگین دمای حداکثر و حداقل و دامنه دمای شبانه‌روزی (DTR) در دوره رشد گوجه‌فرنگی بر اساس آزمون من‌کندال (MK) و پتیت (P) در مناطق مختلف کشور

Fig. 1- Trend analysis of average maximum temperature (Tmax) and minimum (Tmin) and diurnal temperature range (DTR) during the growing season of tomatoes based on the Mann Kendall (MK) and Pettitt (P) in the different regions of country

***, **, * and ns: are significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$ and no significant, respectively.

شهرکرد و فسا به ترتیب بیشترین و کمترین دامنه دمای شبانه‌روزی (به ترتیب ۲۱ و ۱۱/۴ درجه حرارت) را نسبت به سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه دارا بودند (شکل d۱ و g). به طور کلی، تغییرات حداکثر و حداقل دما و دامنه دمای شبانه‌روزی بندرعباس در دوره بلندمدت ۴۷ ساله برخلاف سایر مناطق هم‌جوار، روند معنی‌داری نداشت.

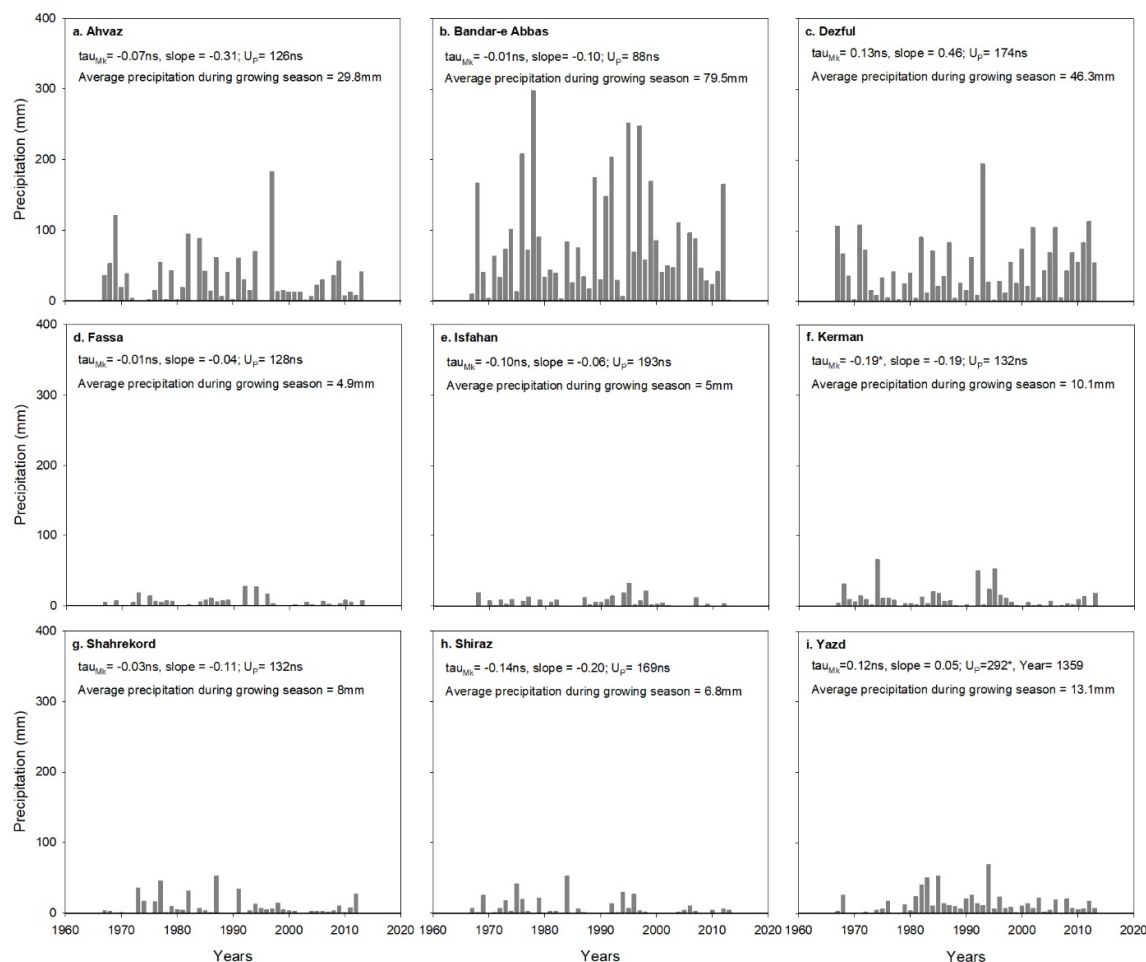
نتایج حاصل از آزمون پتیت حاکی از وجود نقطه شکست در برخی سری‌های زمانی مورد بررسی می‌باشد. نقطه شکست به دست آمده در سری زمانی دامنه دمای شبانه‌روزی در ایستگاه‌های اهواز، دزفول، فسا و شهرکرد تقریباً هم‌زمان با حداقل دما بود، که نشان می‌دهد با شروع نوسان در دمای حداقل، دامنه دمای شبانه‌روزی نیز دچار تغییر شده است (شکل a۱، c، d و g). شمس و موسوی بایگی (۱۳۹۵) نیز در مطالعه‌ای اظهار داشتند که با تغییر در روند دمای حداقل، دامنه دمای شبانه‌روزی نیز به طور واضحی تغییر نموده است، به نحوی که نقاط تغییر این دو سری دمایی با هم برابر می‌باشند (Shams & Moosavi Baygi, 2016). نقطه شکست در سری زمانی دامنه دمای شبانه‌روزی در اصفهان هم‌زمان با شروع نوسانات حداکثر دما در سال ۱۳۷۳ و در فسا بود (شکل ۱ c). لذا می‌توان نتیجه گرفت که افزایش دامنه‌ی شبانه‌روزی در این ایستگاه برخلاف سایر ایستگاه‌ها ناشی از افزایش ناگهانی حداکثر دما بود.

آنالیز سری زمانی مجموع بارش در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی نشان داد که مجموع بارش در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه به جز کرمان روند معنی‌داری نداشت (شکل ۲). اگر چه این روند معنی‌دار نبود، اما مقدار مجموع بارش در طول دوره رشد دوره ۴۷ ساله برای تمام ایستگاه‌ها به جز دزفول و یزد روندی کاهشی داشته است. برخلاف سایر مناطق، مجموع بارش کرمان با شیبی در حدود ۰/۱۹- میلی‌متر در سال دارای روندی منفی و معنی‌داری در سطح آماری پنج درصد بود (شکل f۲). علاوه بر این، بندرعباس، دزفول و اهواز به ترتیب با مجموع بارشی معادل ۷۹/۵، ۴۶/۳ و ۲۹/۸ میلی‌متر به دلیل طول دوره رشد متفاوت گوجه‌فرنگی در این مناطق دارای بیشترین مجموع بارش نسبت به سایر مناطق بودند (شکل ۲). قهرمان و تقوایی (2008) Ghahraman & Taghvaeian نیز روند معنی‌داری در بارش سالانه ایستگاه‌های مرکز ایران مشاهده نکردند. همچنین سماگوش و همکاران (2013) Ghodoosi et al., بیان داشتند که در

۹۳ درصد از ۶۷ ایستگاه مورد مطالعه با دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۱۴-۱۹۸۵)، روند کاهشی یا افزایشی معنی‌داری در سری زمانی بارش فصلی مشاهده نشد. نتایج آزمون پتیت نیز حاکی از عدم وجود نقطه شکست در سری‌های زمانی مجموع بارش در تمامی ایستگاه‌های به جز یزد بود.

آنالیز سری زمانی نیاز آبی گوجه‌فرنگی

نتایج حاصل از آنالیز سری زمانی نیاز آبی حاکی از آن بود که نیاز آبی گوجه‌فرنگی در بندرعباس مشابه با ایستگاه‌های اهواز، فسا، کرمان و یزد دارای روند معنی‌داری نبود (شکل ۳). این در حالی است که نیاز آبی گوجه‌فرنگی در دزفول، شیراز و اصفهان دارای روند منفی و معنی‌داری بود. دزفول با شیبی در حدود ۵/۴۲- میلی‌متر در سال و اصفهان با شیبی در حدود ۱/۵۶- میلی‌متر در سال به ترتیب بیشترین و کمترین، روند کاهشی را دارا بودند. از آن‌جا که نیاز آبی گیاه از ضرب تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از روش پنمن-مانیتث در ضرب گیاهی به دست آمده است، روند نیاز آبی گوجه‌فرنگی تقریباً مشابه روند تبخیر و تعرق در طول دوره رشد گیاه است نه دما. که روند تبخیر و تعرق نیز تابعی از تغییرات هم‌زمان پارامترهای مختلف اقلیمی از جمله رطوبت و تعداد ساعات آفتابی و دما و ... است. در شرایط تغییر اقلیم، روند کاهشی تبخیر و تعرق در مناطق مختلفی از جهان مشاهده شد (Irmak et al., 2012; Huo et al., 2013; McVicar et al., 2012; Yang et al., 2013). برخلاف سایر مناطق، نیاز آبی گوجه‌فرنگی در شهرکرد با شیبی در حدود ۳/۳۷ میلی‌متر در سال دارای روند مثبت و معنی‌داری در سطح آماری یک درصد بود (شکل g۳). بیشترین میانگین نیاز آبی گوجه‌فرنگی به ترتیب در یزد و دزفول (به ترتیب ۱۱۳۵ و ۱۱۳۱ میلی‌متر) و کمترین میانگین نیاز آبی گوجه‌فرنگی به ترتیب در شهرکرد و اهواز (به ترتیب ۶۰۲ و ۷۰۲ میلی‌متر) مشاهده شد (شکل a۴ و b). علاوه بر این، نیاز آبیاری گوجه‌فرنگی نیز در بندرعباس، اهواز، فسا و کرمان و یزد برخلاف سایر مناطق مورد مطالعه، دارای روند معنی‌داری نبود. همچنین، نیاز آبیاری گوجه‌فرنگی دزفول، اصفهان و شیراز به ترتیب با شیبی معادل ۵/۸-، ۱/۵- و ۳/۲- میلی‌متر در سال، دارای روند منفی معنی‌داری بودند.



شکل ۲- آنالیز روند بارش تجمعی در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی بر اساس آزمون من کندال (MK) و پتیت (P) در مناطق مختلف کشور
Fig. 2- Trend analysis of average precipitation during the growing season of tomatoes based on the Mann Kendall (MK) and Pettitt (P) in the different regions of country

***, **, * and ns: are significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$ and no significant, respectively.

تغییر روند را به کوتاه بودن دوره مطالعاتی در مقایسه با سری زمانی های طولانی‌تر (۶۰ سال) نسبت دادند. که می‌توانند تأییدی بر اهمیت طول دوره در آنالیزهای سری زمانی باشد.

نتایج آزمون تی-استیودنت برای مقایسه نیاز آبی و نیاز آبیاری گوجه‌فرنگی نشان داد که، میزان نیاز آبی برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری با میزان نیاز آبیاری نداشت (شکل ۳). عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین دو متغیر به‌دلیل میانگین بارش مؤثر پایین در مناطق بود (شکل ۴). مجموع بارش مؤثر در طول دوره رشد گوجه‌فرنگی در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌جز کرمان روند

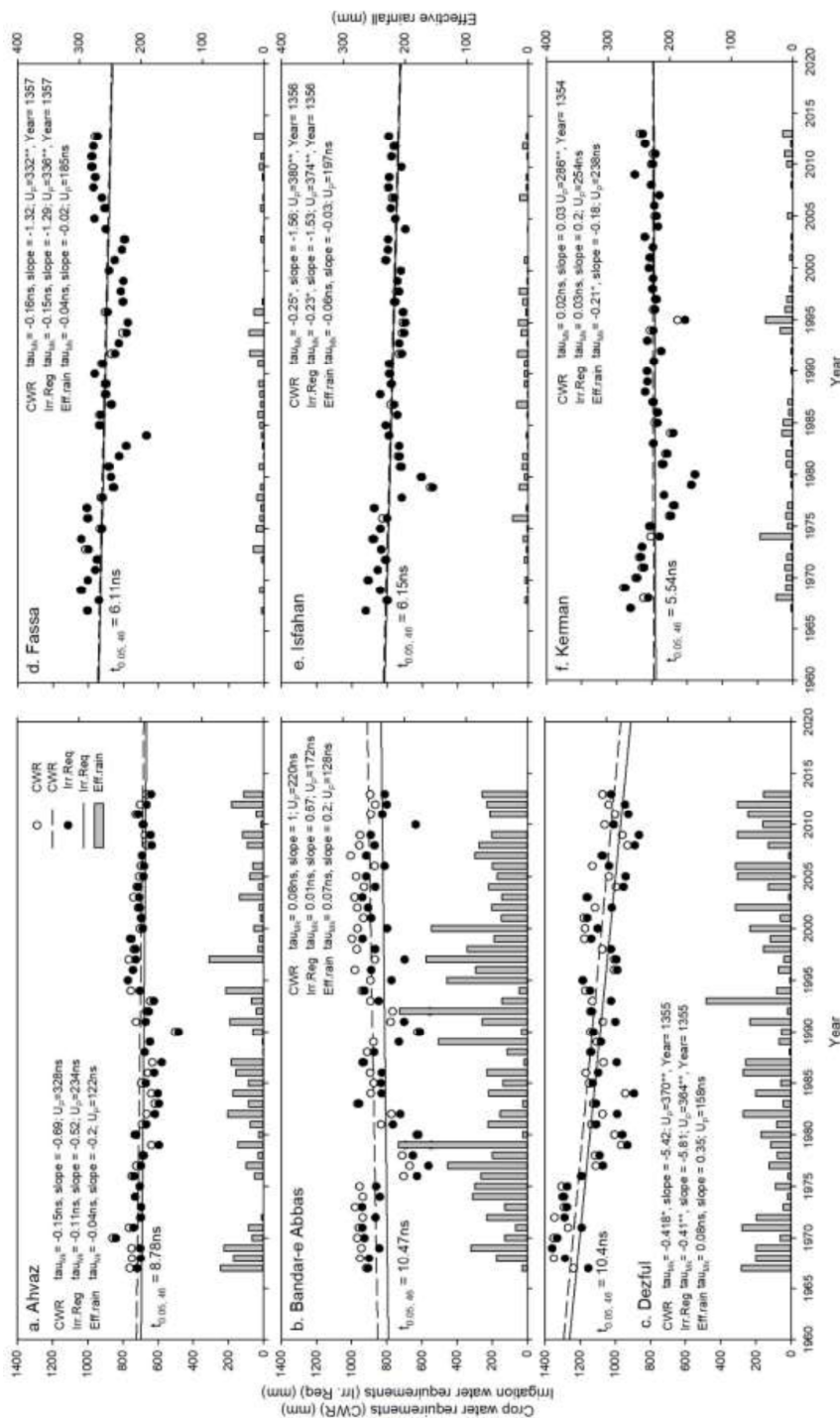
در حالی که نیاز آبیاری گوجه‌فرنگی شهرکرد روندی مثبت و معنی دار در سطح آماری یک در صد با شیب ۳/۴۷ میلی‌متر در سال دارد (شکل ۳g). بیشترین و کمترین میانگین نیاز آبیاری گوجه‌فرنگی نیز به‌ترتیب به یزد و دزفول (به‌ترتیب ۱۱۲۳ و ۱۰۸۶ میلی‌متر) و شهرکرد و اهواز (به‌ترتیب ۵۹۳ و ۶۸۱ میلی‌متر) اختصاص یافت (شکل ۴a و b). ژا نگ و هم‌کاران (Zhang et al., 2009) نیز در مطالعه‌ای دریافته‌اند که تبخیر و تعرق و به طبع آن نیاز آبی گیاه زراعی در ۵۰ تا ۶۰ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره ۴۰ ساله (۱۹۶۱ تا ۲۰۰۰ میلادی)، روندی افزایشی و یا هیچ روند معنی‌داری نداشتند. آن‌ها این

دمای هوا و تعداد ساعات آفتابی و در فصل‌های سردتر به سرعت باد حساس‌تر است (Estevez et al., 2009). به‌طور کلی، تبخیر و تفرق پاسخ‌های متفاوتی به متغیرهای آب‌وهوایی در مناطق مختلف و شرایط آب‌وهوایی داشت.

اختلاف کم نیاز آبی و آبیاری گوجه‌فرنگی در اهواز با اقلیم گرم و نیمه‌مرطوب، با شهرکرد با اقلیم معتدل سرد و تابستان‌های گرم خشک به‌دلیل فصل رشد متفاوت گوجه‌فرنگی در این دو ایستگاه است (جدول ۲، شکل ۴a و b). به‌عبارتی، کشت گوجه‌فرنگی در تبر و برداشت آن در بهمن شرایطی مشابه با کشت تابستانه گوجه‌فرنگی در شهرکرد را داشت. پس از اهواز، بندرعباس با طول دوره رشد و فصل رشد مشابه اهواز، پایین‌ترین نیاز آبی و آبیاری گوجه‌فرنگی را به خود اختصاص داد. حداکثر دمای مشابه (۳۰ درجه سانتی‌گراد) این مناطق و حداقل دمای پایین‌تر اهواز نسبت به بندرعباس و میزان بارش مؤثر بیشتر بندرعباس نسبت به شهرکرد در طول دوره رشد منجر به اختلاف کم تبخیر از سطح خاک و تفرق از سطح گیاه شده است. به‌طور کلی، می‌توان اظهار داشت که کشت پاییزه گوجه‌فرنگی در اهواز و بندرعباس به‌دلیل کاهش تبخیر و تفرق صرفه اقتصادی بیشتری نسبت به کشت تابستانه دارد. علاوه‌براین، دو شهر مرکزی اصفهان و کرمان با فصل رشد مشابه به‌دلیل حداکثر و حداقل دمای پایین‌تر نسبت به دزفول، فسا، شیراز و یزد، میزان تبخیر از سطح خاک و تفرق از سطح گیاهی و در نتیجه، نیاز آبی و آبیاری گوجه‌فرنگی کمتری داشته‌اند (جدول ۲، شکل ۲ و ۴). فن و همکاران (Fan et al., 2016) نیز اظهار داشتند که روند تبخیر و تفرق در چین در طی ۶۰ سال گذشته به‌طور قابل توجهی تغییر کرده است، تغییرات شامل روندی کاهش با شیب کم و روند افزایشی معنی‌دار است. روند افزایشی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به همراه بارندگی محدود در فصل بهار و زمستان رخ داده است که منجر به افزایش نیاز آبی گیاه شد. در حالی که در مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب با کاهش تبخیر و تفرق، نیاز آبی و آبیاری گیاه زراعی کاهش یافت که می‌تواند به حفظ منابع آب کمک کند. بنابراین، با آنالیز سری زمانی تبخیر و تفرق متغیرهای آب‌وهوایی و حساسیت‌های گیاه به دمای حداقل و حداکثر به‌منظور سبز شدن و رشد می‌توان در مورد کشت گیاه در منطقه‌ای خاص تصمیم‌گیری کرد، به‌گونه‌ای که بتوان بیشترین عملکرد را با حفظ بیشتر منابع آب منطقه به‌دست آورد.

معنی‌داری نداشت. اگرچه روند مجموع بارش مؤثر معنی‌دار نبود، اما مقدار مجموع بارش مؤثر در طول دوره رشد ۴۷ ساله برای بندرعباس (۰/۲ میلی‌متر در سال) و دزفول (۰/۳۵ میلی‌متر در سال) روندی افزایشی بود (شکل ۳). علاوه‌براین، بیشترین مقدار بارش مؤثر که در بندرعباس به‌دلیل طول دوره رشد متفاوت گوجه‌فرنگی رخ داده است، تنها ۷/۷ درصد نیاز آبی گوجه‌فرنگی را تأمین می‌کند (شکل ۴). پس از بندرعباس، دزفول و اهواز به‌ترتیب ۳/۸ و ۳/۵ درصد نیاز آبی گوجه‌فرنگی را از طریق بارش مؤثر تأمین می‌کنند. به‌عبارتی، تمامی آب مورد نیاز گوجه‌فرنگی در این مناطق باید از طریق آبیاری تأمین شود.

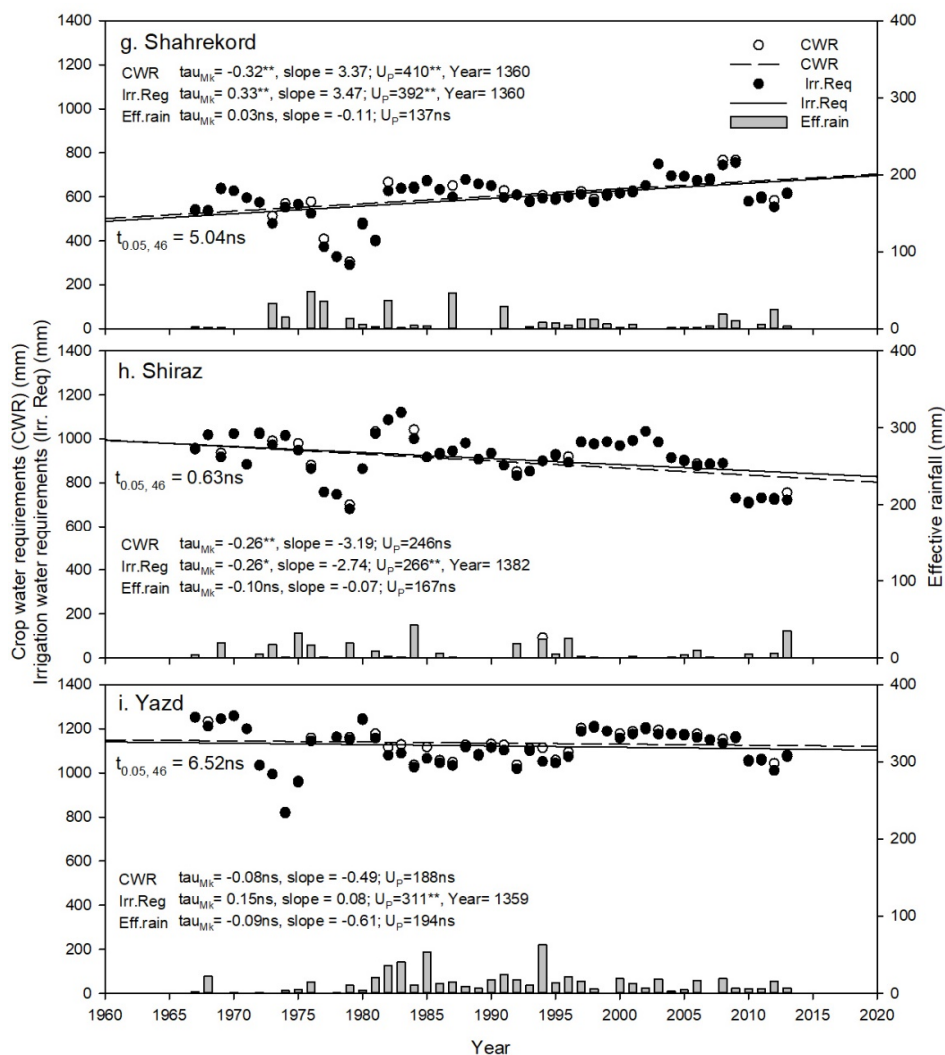
از سوی دیگر، بالا بودن نیاز آبی و آبیاری گوجه‌فرنگی در دزفول و یزد را می‌توان به افزایش میزان تبخیر از سطح خاک و تفرق از سطح گیاه به‌دلیل بیشتر بودن میانگین حداکثر (به‌ترتیب ۳۹ و ۳۶/۷ درجه سانتی‌گراد) و حداقل (به‌ترتیب ۲۰/۸ و ۲۱/۳ درجه سانتی‌گراد) دما و همچنین تعداد ساعات آفتابی این دو منطقه در طول دوره رشد در مقایسه با سایر مناطق است. اگرچه در سطح جهانی، رطوبت و تعداد ساعات آفتابی از حساس‌ترین متغیرهای تبخیر و تفرق است، اما با توجه به نتایج این مطالعه و سایر مطالعات (Gong et al., 2006; Estevez et al., 2009) می‌توان اظهار داشت که تبخیر و تفرق علاوه‌بر حساسیت به رطوبت و تعداد ساعات آفتابی، به حداقل دما نیز حساس است. لی و همکاران (Liu et al., 2010) نیز بیان داشتند که افزایش دما تأثیر معنی‌داری بر افزایش تبخیر و تفرق دارد. کوچکی و همکاران (Koochaki et al., 2018) نیز در مطالعه‌ای نیاز آبی گوجه‌فرنگی برای استان خراسان رضوی را در حدود ۸۵۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر برآورد کردند. آن‌ها همچنین دریافتند که مناطقی با عملکرد پایین گوجه‌فرنگی در مقابل تغییرات دما حساسیت بیشتری داشته‌اند، به‌طوری که با افزایش سه درجه سانتی‌گراد میانگین دما، عملکرد گوجه‌فرنگی ۲۰ درصد کاهش یافت. به‌عبارتی، با افزایش دما به تبع تبخیر و تفرق پتانسیل و همچنین میزان تنش خشکی افزایش یافته و در نتیجه، کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی نیز کاهش یافت. علاوه‌بر دما و ساعات آفتابی، عدم بارش مناسب و افزایش سرعت باد در شرایط خشک و نیمه‌خشک نیز منجر به افزایش تبخیر و تفرق و در نتیجه، نیاز آبی گیاه زراعی می‌شود (Alijani, 2002). تبخیر و تفرق در نواحی ساحلی بیشتر به تعداد ساعات آفتابی (Ye et al., 2014) و در صد رطوبت (Wang et al., 2007) و در فصول گرم به



شکل ۳- آتالیز روند نیاز آبی (CWR) و نیاز آبیاری گوجه‌فرنگی (Irr.Reg) و میزان بارش موثر (Eff.Rain) در دوره رشد گوجه‌فرنگی بر اساس آزمون من کندال (MK) و پتیت (P) در مناطق مورد مطالعه

Fig. 3- Trend analysis of crop water requirement (CWR) and irrigation requirement (Irr.Reg) of tomato and effective rainfall (Eff.Rain) during the growing season of tomatoes based on the Mann Kendall (MK) and Pettitt (P) tests in the studied areas

***, **, * and ns: are significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$ and no significant, respectively.
 داری معنی داری
 ***، **، * و ns: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی داری



ادامه شکل ۳- آنالیز روند نیاز آبی (CWR) و نیاز آبیاری گوجه‌فرنگی (Irr.Reg) و میزان بارش مؤثر (Eff.Rain) در دوره رشد گوجه‌فرنگی بر اساس آزمون من‌کندال (MK) و پتیت (P) در مناطق مورد مطالعه

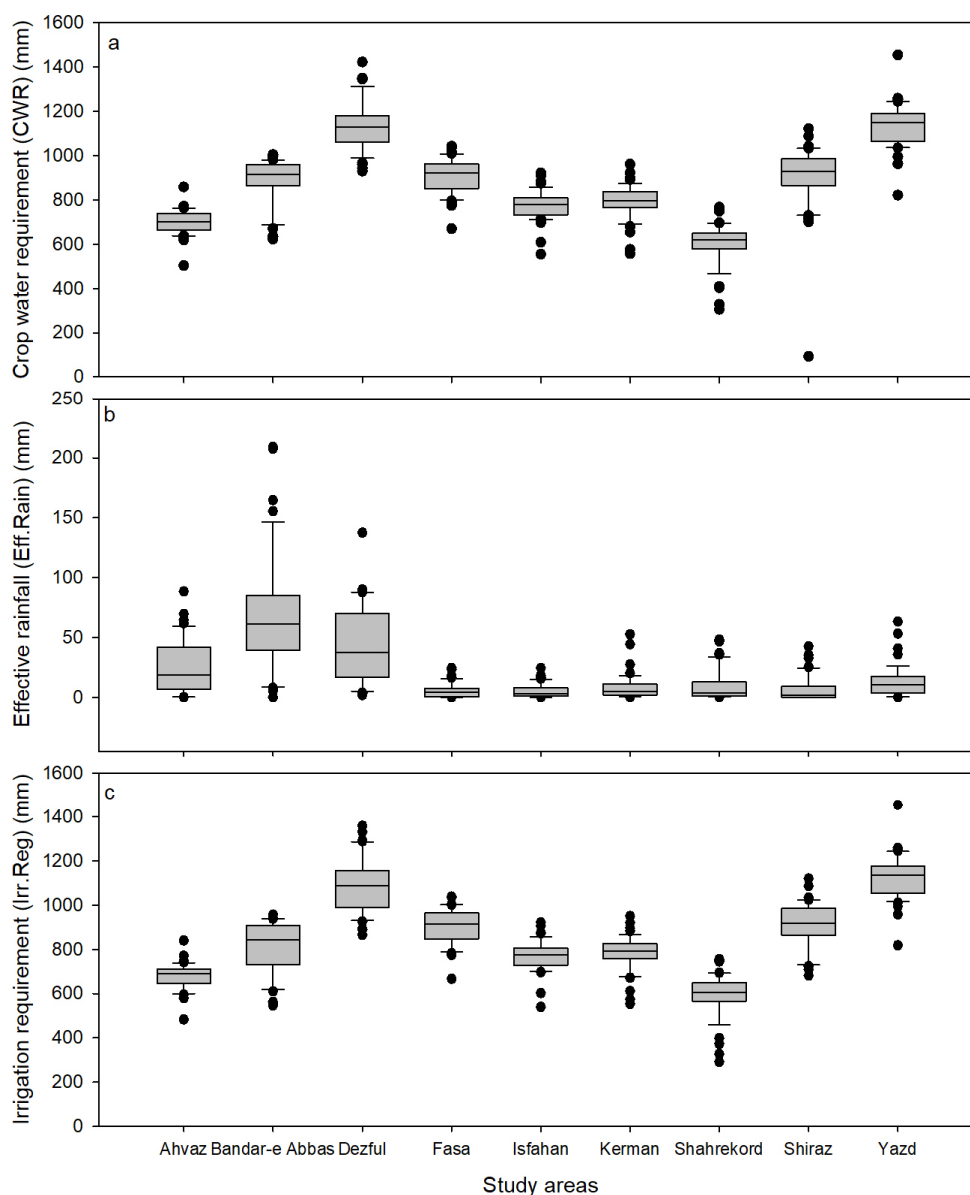
Fig. 3- Trend analysis of crop water requirement (CWR) and irrigation requirement (Irr.Reg) of tomato and Continue effective rainfall (Eff.Rain) during the growing season of tomatoes based on the Mann Kendall (MK) and Pettitt (P) tests in the studied areas

***, **, * و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌داری
 **, *, * and ns: are significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$ and no significant, respectively.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه آنالیز سری زمانی مجموع بارش، میانگین حداکثر و حداقل درجه حرارت در طول فصل رشد گوجه‌فرنگی و نیاز آبی گوجه‌فرنگی در یک دوره بلندمدت ۴۷ ساله برای بندرعباس و هشت ایستگاه منتخب هم‌جوار آن با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال و آزمون پتیت انجام شد.

علاوه‌براین، با توجه به تغییرات مداوم آب‌وهوایی و اهمیت امنیت غذایی ایران با شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک، پذیرش و صرف هزینه برای راهکارهای مناسب به‌منظور تطبیق سیستم‌های کشت محصولات زراعی به شرایط آب‌وهوایی گرم‌تر و خشک‌تر و سیستم‌های آبیاری جدید امری ضروری و مهم است.



شکل ۴- نمودار جعبه‌ای نیاز آبی (CWR) و نیاز آبیاری گوجه‌فرنگی (Irr.Reg) و میزان بارش مؤثر (Eff.Rain) در دوره رشد گوجه‌فرنگی در مناطق مورد مطالعه

Fig. 4- Box plot of crop water requirement (CWR) and irrigation requirement (Irr.Reg) of tomato and effective rainfall (Eff.Rain) during the growing season of tomatoes in the studied areas

مناطق است که نیاز آبی پایین‌تری نسبت به سایر استان‌های هم‌جوار خود به دلیل تاریخ کاشت متفاوت گوجه‌فرنگی دارد. اگرچه استان هرمزگان با اقلیم خشک و همچنین تلفات آب در بخش کشاورزی دچار بحران جدی در طی دو دهه اخیر شده است، اما کشت

در این میان یزد و دزفول با میانگین نیاز آبی در حدود ۱۱۳۰ میلی متر و شهرکرد و اهواز با میانگین نیاز آبی در حدود ۶۰۲ و ۷۰۲ میلی متر به ترتیب دارای بیشترین و کمترین نیاز آبی گوجه‌فرنگی بودند. بندرعباس نیز بعد از اهواز با میانگین نیاز آبی در ۸۸۱ میلی‌متر جزء

پاییز و زمستان دارای بارش مناسب و حداقل دمای مناسب گوجه‌فرنگی هستند، می‌تواند با کاهش نیاز آبی و همچنین نیاز آبیاری گوجه‌فرنگی به حفظ منابع آبی و تولید این گیاه کمک کند. به‌طور کلی، برای مدیریت آب مصرفی بخش کشاورزی در آینده باید تغییرات تبخیر و تعرق را به‌دلیل تغییرات آب‌وهوایی مداوم و همچنین تأثیر کلیدی آن بر افزایش تقاضای آب گیاه زراعی، مورد توجه خاص قرار داد.

سپاسگزاری

هزینه‌های مورد نیاز جهت انجام این طرح توسط معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه هرمزگان و در قالب طرح تحقیقاتی مصوب با کد ۹۶/۶۹۷۶ مورخ ۱۳۹۶/۱۰/۰۹ تأمین شده است که بدین‌وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه تشکر و سپاسگزاری می‌گردد.

گوجه‌فرنگی در نه شهرستان استان هرمزگان در خارج از فصل موجب کاهش نیاز آبی گیاه از یک سو و کاهش میزان آبیاری از سوی دیگر شده است. به‌گونه‌ای که با نیاز آبی ۸۸۱ میلی‌متر، مقام سوم را بعد از شهرکرد و اهواز از نظر نیاز آبی پایین گوجه‌فرنگی به خود اختصاص داده است. در واقع، در شرایطی که بتوان میزان آب مصرفی گوجه‌فرنگی را در این منطقه بدون صدمه به منابع طبیعی و به خطر انداختن محیط زیست تأمین کرد، طبیعتاً کشت این گیاه در استان نسبت به دزفول، یزد و اصفهان به صرفه‌تر است. از سوی دیگر، می‌توان علاوه بر راهکار بسیار مناسب تغییر فصل کاشت گوجه‌فرنگی در این استان، با راهکارهای دیگری ازجمله مدیریت آبیاری و افزایش راندمان مصرف آب در صورت عدم تغییر شرایط آب‌وهوایی در این اقلیم، همچنان به کشت گوجه‌فرنگی در این اقلیم مباردت ورزید. علاوه بر این با توجه به عملکرد و کیفیت بالای گوجه‌فرنگی خارج فصل در این استان، استفاده از این راهکار برای استان‌های که فصل

References

- Alijani, B., 2002. Variation of 500 hPa flow patterns over Iran and surrounding areas and their relationship with the climate of Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 72: 41–54.
- Alizadeh, A., 2015. *Principles of Applied Hydrology*. 41st Edition. Imam Reza University Press, Mashhad, Iran. p. 942. (In Persian)
- Alizadeh, A., and Kamali, G.A., 2007. *Crops Water Requirements*. Imam Reza University Press, Mashhad, Iran. 807 p. (In Persian)
- Alizadeh, A., Sayari, N., Hesami Kermani, M.R., Bannayan Aval, M., and Farid Hossaini, A., 2010. Assessment of climate change potential impacts on agricultural water use and water resources of Kashaf rood basin. *Journal of Water and Soil* 24: 815–835. (In Persian with English Summary)
- Allen, R.G., 2003. Crop Coefficients. B.A. Stewart and T.A. Howell (Eds.), *Encyclopedia of Water Science*. Marcel Dekker Publishers, New York. p. 87-90.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M., 1998. *FAO Irrigation and drainage paper No. 56*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 56(97): e156.
- Asadi, S., Bannayan, M., and Monti, A., 2018. The association of crop production and precipitation: A comparison of two methodologies. *Arid Land Research and Management* 33(1): 1–22.
- Asakereh, H., 2011. *Fundamentals of Statistical Climatology*. Zanjan University publishing, Zanjan, Iran. 550 p. (In Persian)
- Bhojaraja, B.E., Hegde, G., Pruthviraj, U., Shetty, A., and Nagaraj, M.K., 2015. Mapping age wise discrimination of arecanut crop water requirement using hyperspectral remote sensing. *Aquatic Procedia* 4: 1437–1444.
- Entz, M.H., and Fowler, D.B., 1990. Differential agronomic responses of winter wheat cultivars to preanthesis environmental stress. *Crop Science* 30: 1119-1123.
- Estévez, J., Gavilán, P., and Berengena, J., 2009. Sensitivity analysis of a Penman-Monteith type equation to estimate reference evapotranspiration in southern Spain. *Hydrol. Process* 23: 3342–3353.
- Ford, T.W., and Quiring, S.M., 2014. *In situ* soil moisture coupled with extreme temperatures: A study based on the Oklahoma Mesonet. *Geophysical Research Letters* 41: 4727–4734.
- Ghahraman, B., and Taghvaeian, S., 2008. Investigation of annual rainfall trends in Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology* 10: 93–97.
- Ghodoosi, M., Morid, S., and Delavar, M., 2103. Comparison of detrending methods for the temperature and

- precipitations time series. *Journal of Agricultural Meteorology* 1(2): 32–45.
- Gilbert, N., 2012. Water under pressure. *Nature* 483: 256–257.
- Gong, L., Xu, C., Chen, D., Halldin, S., and Chen, Y.D., 2006. Sensitivity of the Penman-Monteith reference evapotranspiration to key climatic variables in the Changjiang (Yangtze River) basin. *Journal of Hydrology* 329: 620–629.
- Huo, Z., Dai, X., Feng, S., Kang, S., and Huang, G., 2013. Effect of climate change on reference evapotranspiration and aridity index in arid region of China. *Journal of Hydrology* 492: 24–34.
- Irmak, S., Kabenge, I., Skaggs, K.E., and Mutiibwa, D., 2012. Trend and magnitude of changes in climate variables and reference evapotranspiration over 116-yr period in the Platte River Basin, central Nebraska–USA. *Journal of Hydrology* 420: 228–244.
- Karl, T.R., Kukla, G., Razuvayev, V.N., Changery, M.J., Quayle, R.G., Heim, Jr. R.R., David, R., Easterling, D.R., and Fu, C.B., 1991. Global warming: evidence for asymmetric diurnal temperature change. *Geophysical Research Letters* 18: 2253–2256.
- Kendall, M.G., 1962. *Rank Correlation Methods*. Hafner Publishing Company: New York.
- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Asadi, S., and Zareh, H., 2018. Evaluation of spatial crop water use efficiency in Khorasan Razavi province. *Journal of Agroecology*. In Press (In Persian with English Summary)
- Li, Y.L., Cui, J.Y., Zhang, T.H., and Zhao, H.L. 2003. Measurement of evapotranspiration of irrigated spring wheat and maize in a semi-arid region of North China. *Agricultural Water Management* 61: 1–12.
- Liu, C., Zhang, D., Liu, X., and Zhao, C., 2012. Spatial and temporal change in the potential evapotranspiration sensitivity to meteorological factors in China (1960–2007). *Journal of Geographical Sciences* 22(1): 3–14.
- Lobell, D.B., 2007. Changes in diurnal temperature range and national cereal yields. *Agricultural and Forest Meteorology* 145: 229–238.
- Mavi, H.S., and Tupper, G.J., 2004. *Agrometeorology: Principles and Applications of Climate Studies in Agriculture*. CRC Press. 447 p.
- Mann, H.B., 1945. Non parametric tests against trend. *Econometrica* 13: 245–259.
- Marengo, J.A., and Camargo, C.C., 2008. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960–2002. *International Journal of Climatology* 28: 893–904.
- McVicar, T.R., Roderick, M.L., Donohue, R.J., Li, L.T., Van Niel, T.G., Thomas, A., Grieser, J., Jhajharia, D., Himri, Y., Mahowald, N.M., Mescherskaya, A.V., Kurger, A.C., Rehman, S., and Dinpashoh, Y., 2012. Global review and synthesis of trends in observed terrestrial near-surface wind speeds: implications for evaporation. *Journal of Hydrology* 416: 182–205.
- Onoz, B., and Bayazit, M., 2003. The power of statistical tests for trend detection. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences* 27: 247–251.
- Pettitt, A.N., 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics* 28(2): 126–135.
- Shams, S.H., and Mosavi Baygi, S.M., 2016. Investigation of breakpoint and trend of daily air temperature range for Mashhad, Iran. *Journal of Water and Soil* 30(5): 1673–1685. (In Persian with English Summary)
- Tubiello, F., Rosenzweig, C., Goldberg, R., Jagtap, S., and Jones, J., 2002. Effects of climate change on US crop production: simulation results using two different GCM scenarios. Part I: Wheat, potato, maize, and citrus. *Climate Research* 20: 259–270.
- Wang, Y., Jiang, T., Bothe, O., and Fraedrich, K., 2007. Changes of pan evaporation and reference evapotranspiration in the Yangtze River basin. *Theoretical and Applied Climatology* 90: 13–23.
- Yang, J., Qin, L., Mei, X., Yan, C., Hui, J.U., and Xu, J., 2013. Spatiotemporal characteristics of reference evapotranspiration and its sensitivity coefficients to climate factors in Huang-Huai-Hai Plain, China. *Journal of Integrative Agriculture* 12(2): 2280–2291.
- Ye, X., Li, X., Liu, J., Xu, C.Y., and Zhang, Q., 2014. Variation of reference evapotranspiration and its contributing climatic factors in the Poyang Lake catchment, China. *Hydrological Processes* 28(25): 6151–6162.
- Yea, Q., Yang, X., Dai, S., Chen, G., Lie, Y., and Zhang, C., 2015. Effects of climate change on suitable rice cropping areas, cropping systems and crop water requirements in southern China. *Agricultural Water Management* 159: 35–44.
- Zhang, W., Yan, Y., Zheng, J., Li, L., Dong, X., and Cai, H., 2009. Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. *Global and Planetary Change* 69: 35–47.
- Zhang, X., Ren, Y., Yin, Z.Y., Lin, Z., and Zheng, D., 2009. Spatial and temporal variation patterns of reference

- evapotranspiration across the Qinghai-Tibetan Plateau during 1971-2004. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 114: D15105.
- Fan, J., Wu, L., Zhang, F., Xiang, Y., and Zheng, J., 2016. Climate change effects on reference crop evapotranspiration across different climatic zones of China during 1956–2015. *Journal of Hydrology* 542: 923–937.



Comparison of water Requirement of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Fields of Hormozgan Province with other Southern Regions of Iran Using Time Series Analysis

F. Abdollahi^{1*}, L. Jafari¹ and S. Asadi²

Submitted: 12-09-2018

Accepted: 03-02-2019

Abdollahi, F., Jafari, L., and Asadi, S., 2021. Comparison of water requirement of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fields of Hormozgan province with other southern regions of Iran using time series analysis. Journal of Agroecology 12(4):685-702.

Introduction

Determining the precise water use efficiency is a critical issue in crop production temperature, precipitation, and evapotranspiration play an essential role in the hydrological cycle and crop production and as well as in assessing hydro climatological studies, plants water balance, water use efficiency, and water requirements measurements (Alizadeh, 2015). The purpose of this study was to evaluate the water requirement of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants in Hormozgan province and compare it with other southern regions that are adjacent to this province, including Ahvaz, Dezful, Fasa, Isfahan, Kerman, Shiraz, and Yazd, in a 47-year long period from 1967 to 2013, using time series analysis.

Material and Methods

In order to compare the water requirement of tomatoes in Hormozgan Province and other southern regions adjacent to the province, crop water requirement (CWR) and irrigation requirement (Irr.Reg) of Tomato was estimated in Bandar Abbas, Ahvaz, Dezful, Fasa, Isfahan, Shahrekord, Kerman, Shiraz, and Yazd. The CWR was acquired by estimating two components: reference evapotranspiration (ET_o) and crop coefficient (K_c). ET_o was calculated via the Penman-Monteith method (Allen, 2003). Time series analysis of total precipitation, average maximum temperature (T_{max}) and minimum (T_{min}) and diurnal temperature range (DTR) during the growing season of Tomato was calculated by using the non-parametric Mann-Kendall test (Mann, 1945; Kendall, 1975) in the studied areas during a 47-year long period from 1346 to 1392. The Pettitt test's presence of change-point in the series was also studied (Pettitt, 1979). It should be noted that ET_o and CWR were calculated using the Ref ET and CROPWAT 8 software and the Man-Kendall and Petti test with r software.

Results and Discussion

The results showed no significant trend observed in crop water requirement (CWR) and irrigation requirement (Irr.Reg) of Tomato in Bandar Abbas, similar to Ahvaz, Fasa, Kerman, and Yazd. In comparison, the highest and lowest decreasing trend of crop water requirement was recorded in Dezful (with slope -5.42 mm) and Isfahan (with slope -1.56 mm), respectively. Also, the highest average tomato water requirement was observed in Yazd and Dezful (1135 and 1131 mm, respectively), while the lowest average tomato water requirement was observed in Shahrekord and Ahvaz (602 and 702 mm, respectively). On the other hand, high water requirement and irrigation of tomatoes in Dezful and Yazd can be attributed to an increase in the evaporation rate from the soil surface and transpiration from the plant surface due to the higher mean of the maximum (39 and 36.7 °C, respectively) and the

1- Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Iran.

2- Ph.D. at Agro-ecology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(* Corresponding author email: fabdollahi@hormozgan.ac.ir)

Doi:10.22067/jag.v12i4.77267

minimum temperature (20.8 and 21.3 °C, respectively) and the sunshine hours of these two areas during the growing season compared with other areas. Bandar Abbas has the lowest water requirement and irrigation requirement of Tomato with the length of a growing season and growing season, similar to Ahwaz. In general, it can be stated that planting fall tomatoes in Ahwaz and Bandar Abbas is more cost-effective than summer planting due to reduced evapotranspiration. The t-student test results for comparing water requirement with irrigation requirement of Tomato showed that there was no significant difference between the amount of water requirement of tomatoes for all stations compared to the amount of irrigation requirement of Tomato due to the average low rainfall in these areas.

Conclusion

By analyzing the time series of evapotranspiration and climate variables and plant sensitivities to the minimum and maximum temperature for germination and growing, it is possible to decide about crop planting in a particular region, so the highest crop yield was achieved by maintaining more water resources in the region. In addition, due to climate change and the importance of Iran's food security in a warm and dry climate, acceptance and spending on appropriate strategies to adapt crop planting systems to warmer and more humid climates and new irrigation systems are essential.

Acknowledgment

Funding for this research was supported by Hormozgan University (Research Grant 96/6976).

Keywords: Effective rainfall, Mann-Kendall test, Penman-Monteith method



مقاله علمی - پژوهشی

ارزیابی برخی صفات کمی ارقام گندم نان (*Triticum aestivum* L.) در تاریخ‌های مختلف کاشت

لیلا گرشاسبی^۱، فرزاد پاک‌نژاد^{۲*}، سید شهریار جاسمی^۳، محمدنبی ایلکایی^۴ و سارا سنجانی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۳

گرشاسبی، ل.، پاک‌نژاد، ف.، جاسمی، س.ش.، ایلکایی، م. و سنجانی، س.، ۱۳۹۹. ارزیابی برخی صفات کمی ارقام گندم نان (*Triticum aestivum* L.) در تاریخ‌های مختلف کاشت. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۴): ۷۰۳-۷۲۱.

چکیده

تاریخ کاشت ارقام مختلف گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از عوامل زراعی تعیین‌کننده عملکرد بهینه در هر منطقه است. این تحقیق به منظور بررسی اثر تاریخ کاشت بر برخی صفات کمی هشت رقم گندم نان به مدت دو سال زراعی (۹۶-۱۳۹۴) در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح، تهیه نهال و بذر در کرج به اجرا درآمد. هشت رقم گندم نان شامل بهاران، سیوند، سیروان، مهرگان، چمران ۲، حیدری، زارع و پیشگام در چهار تاریخ کاشت ۲۰ مهر، پنج آبان، ۲۰ آبان و پنج آذر به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که اثر تاریخ کاشت بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع و شاخص برداشت معنی‌دار بود. به طوری که تاریخ کاشت ۲۰ مهر بالاترین عملکرد را داشت. اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر عملکرد دانه و بیولوژیک، همچنین برخی از اجزای عملکرد معنی‌دار بود. بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب برای رقم حیدری در تاریخ کاشت ۲۰ مهر با مقدار ۹۵۲۹ کیلوگرم در هکتار و رقم چمران در تاریخ کاشت ۵ آذر با مقدار ۵۴۷۴ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. همچنین تأخیر در کاشت نسبت به تاریخ کاشت ۲۰ مهر، منجر به کاهش عملکرد دانه بین ۱۶ تا ۳۶ درصد گردید. اثرات متقابل تاریخ کاشت و رقم بر طول مراحل پنجه‌زنی، ساقه‌دهی، گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیکی معنی‌دار بود. به نظر می‌رسد که تاریخ کاشت ۲۰ مهر به دلیل بهره‌گیری بهتر از شرایط محیطی که شامل دمای مطلوب‌تر، طولانی‌تر بودن فصل رشد، محتوای رطوبتی بیشتر خاک و استقرار مناسب گیاه است، بهترین تاریخ کاشت در منطقه مورد مطالعه باشد. اما در شرایط محدودیت از نظر زمان کشت محصول در تاریخ کاشت‌های پنج آبان لغایت پنج آذر ارقام مهرگان و سیوند توصیه می‌شود تا کمترین میزان افت محصول به واسطه عدم کشت گیاه در زمان مناسب به وجود آید.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، مراحل فنولوژی

مقدمه

گندم نان (*Triticum aestivum* L.) گذشته از جنبه تجارتی مهم آن در دنیا، سلاحی کارآمد در مناسبات سیاسی و جهانی است که روز به روز بر اهمیت کاربردی آن افزوده می‌شود. گندم به عنوان مهم‌ترین گیاه زراعی جهان بوده، بالاترین سطح زیر کشت و تولید را در بین دیگر غلات به خود اختصاص داده و به عنوان سلطان غلات

- ۱- دانشجوی دکتری زراعت، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.
- ۲- استاد، گروه زراعت، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.
- ۳- استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
- ۴- دانشیار، گروه زراعت، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.
- ۵- استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

شناخته می‌شود (Suleiman et al., 2014; Costa et al., 2013). با اینکه جمعیت ایران در حدود یک درصد جمعیت جهان است، ولی در حدود ۲۵ درصد گندم جهان را مصرف می‌کند که اندازه‌ای خارج از تعادل سطوح استاندارد بین‌المللی است و تا حدود زیادی خبر از ضایعات بالا و مصرف آن به‌وسیله دام و طیور می‌دهد. گندم همانند انرژی، کالایی راهبردی شناخته می‌شود و از شاخص‌های مهم کشاورزی محسوب می‌گردد. سطح زیر کشت گندم در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ برابر با حدود ۵/۵ میلیون هکتار گزارش شد که ۴۹/۴۶ درصد زمین‌های زراعی کشور را به خود اختصاص داده بود. میزان عملکرد گندم در کل کشور ۱۲/۵ میلیون تن گزارش شد (Ministry of Agriculture-Jahad, 2018). عملکرد دانه غلات از دو جزء اصلی عملکرد یعنی تعداد دانه و وزن دانه حاصل می‌شود که تعداد دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در واحد سطح می‌باشد. این دو جزء در زمان‌های متفاوتی از فصل رشد شکل می‌گیرند و در نتیجه، تحت تأثیر شرایط مختلف محیطی می‌باشد (Guarda et al., 2004).

از جمله مهم‌ترین عوامل مدیریتی جهت انطباق مرحله رشد و نمو گندم و استفاده هرچه بیشتر از عوامل اقلیمی، انتخاب تاریخ کاشت مناسب و ارقام پرمحصول و سازگار به منطقه می‌باشد (Sharafizadeh et al., 2000). هدف از تعیین تاریخ کاشت بهینه، یافتن زمان مناسب کاشت رقم یا گروهی از ارقام مشابه یک گیاه است. به‌طوری‌که مجموعه عوامل محیطی موجود در آن زمان برای سبز شدن، استقرار و بقای گیاه مناسب باشد (Hore et al., 2002). زمان کشت مراحل فنولوژیکی گیاه و تولید زیست‌توده کل را کنترل می‌کند و در کارایی تبدیل زیست‌توده به عملکرد مؤثر است (Khichar & Niwas, 2006). کاشت به‌موقع گندم در کنترل علف‌های هرز نیز مؤثر است (Oweis et al., 1998). در کشت بهنگام مراحل رشد و نمو گیاه با شرایط مطلوب محیطی همراه می‌باشد که این امر به‌دلیل بهبود فتوسنتز و رشد موجب افزایش توان رقابتی گندم با علف‌های هرز خواهد شد. معمولاً تاریخ کاشت‌هایی، مطلوب در نظر گرفته می‌شوند که بیشترین عملکرد را تولید می‌کنند و رهیافت سنتی تعیین تاریخ کاشت مطلوب، انجام آزمایش‌های مستقیم مزرعه‌ای با گستره‌ای از تاریخ‌های کاشت است (Rane et al., 2004). جعفرنژاد (Jafarnejad, 2009) طی مطالعه‌ای دوساله روی تعیین مناسب‌ترین تاریخ کاشت برای ارقام مختلف گندم نان دارای

تیپ‌های متفاوت رشد در نیشابور گزارش نمودند که اثر تاریخ کاشت بر تعداد سنبله در مترمربع، وزن تک دانه، ارتفاع بوته و تعداد روز تا ظهور سنبله معنی‌دار بود، ولی اثر آن بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود که علت اصلی آن به شرایط آب‌وهوایی متفاوت طی سال‌های مطالعه نسبت داده شد. نتایج مطالعه‌ای روی بررسی تأثیر زمان کاشت بر طول مراحل فنولوژیکی گندم و رابطه آن با میزان تولید در منطقه گرگان نشان داد که زمان کاشت به‌دلیل تأثیر بر سازگارپذیری مراحل مهم نمو گیاه با مناسب‌ترین متغیرهای محیطی (همچون تشعشع دریافتی و دما)، به‌طور معنی‌داری بر میزان تولید محصول اثرگذار است (Ahmadi et al., 2012). طی مطالعه‌ای روی اثر تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه دو رقم گندم نان در گرگان نشان داده شد که کلیه صفات به‌جز تعداد دانه در سنبله به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار گرفتند. همچنین تأخیر در کاشت به‌علت مواجه شدن گیاه با گرمای آخر فصل کاهش صفات را به دنبال داشت (Calate arabi et al., 2010).

یکی از عوامل دستیابی به عملکرد بالا در واحد سطح، درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها و استقرار گیاهچه‌های حاصل از بذرها کشت شده است. به‌طور طبیعی هرچه سرعت جوانه‌زنی و درصد بذرها جوانه زده در مزرعه بیشتر باشد، استفاده از منابع رشدی نظیر نور، آب و عناصر غذایی بهتر خواهد بود و تاریخ کاشت به‌هنگام سبب می‌شود بذرها زودتر جوانه بزنند (Foti et al., 2002). سلامت (Salamat, 2009) با بررسی تاریخ کاشت در ۱۰ ژنوتیپ و رقم گندم در اهواز، عنوان کرد که با تأخیر در تاریخ کاشت عملکرد افزایش یافت. محققان با بررسی اثر تاریخ کاشت بر محدودیت منبع ژنوتیپ-های گندم پس از گل‌دهی اظهار داشتند که محدودیت منبع با تأخیر در کاشت به‌نحو چشمگیری افزایش یافت (Askari et al., 2002). پژوهشگران در بررسی اثر تاریخ کاشت روی عملکرد دانه و اجزای وابسته به آن در گندم، تأخیر در تاریخ کاشت را علت کاهش در اکثر صفات وابسته به عملکرد و در نهایت، کاهش در عملکرد دانه معرفی کردند (Jain et al., 1992).

برخی از محققان با بررسی اثر تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه دو رقم گندم در گرگان، اظهار داشتند که تاریخ کاشت مناسب یکی از عوامل مهم تعیین‌کننده عملکرد دانه گندم در منطقه گرگان به‌شمار می‌رود و دمای بالا در هنگام گرده‌افشانی اثر منفی قابل توجهی بر تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه

گندم به منظور استفاده هر چه بیشتر از عوامل اقلیمی و دستیابی به سطح مطلوبی از عملکرد، انتخاب تاریخ کاشت مناسب و انتخاب ارقام سازگار و پر محصول می‌باشد (Salamat, 2009). تصمیم‌گیری در مورد زمان کاشت مطلوب یک گیاه زراعی بسیار با اهمیت بوده و از عوامل مهم جهت دستیابی به حداکثر پتانسیل عملکرد در گیاهان می‌باشد. تأثیر عوامل محیطی بر مراحل فیزیولوژیکی گیاه باعث می‌شود که تاریخ کاشت در مناطق مختلف اقلیمی بسته به اختلاف ژنتیکی میان ارقام، متفاوت باشد.

با توجه به اهمیت گیاه گندم و لزوم افزایش عملکرد در واحد سطح، و توجه به تاریخ مناسب کاشت در شرایط ناپایدار محیطی، شناخت ارقام با عادت‌های رشدی مختلف در یک مکان در تاریخ‌های مختلف کشت، جهت آگاهی کارشناسان کشاورزی و همچنین کشاورزان منطقه لازم و ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین این آزمایش با اهداف: بررسی چگونگی واکنش ارقام با گروه‌های رسیدگی متفاوت در هر تاریخ کاشت، بررسی تاریخ کشت بهینه برای هر یک از ارقام در منطقه و بررسی امکان معرفی ارقام سازگار با کشت تأخیری در منطقه طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال‌های زراعی ۹۶-۱۳۹۴ به مدت دو سال زراعی در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در منطقه کرج با طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه شمالی و با ارتفاع ۱۳۲۱ متر از سطح دریا اجرا شد. بدین منظور عامل تاریخ کاشت در چهار سطح ۲۰ مهر، پنج آبان، ۲۰ آبان، و پنج آذر در کرت‌های اصلی و تیمارهای ژنوتیپ هشت رقم جدید گندم نان شامل پیشگام، زارع، حیدری، سیوند، بهاران، سیروان، مهرگان و چمران ۲ در کرت‌های فرعی به صورت آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بررسی شد. خصوصیات ارقام مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. لازم به ذکر است مبنای انتخاب ارقام جدید بودن و همچنین متفاوت بودن طول دوره رشدی آن‌ها جهت مقایسه در تاریخ کاشت‌های مختلف بوده است.

زمین انتخاب شده برای آزمایش در سال زراعی قبل از انجام آزمایش تحت آیش بود. قبل از آماده‌سازی زمین از عمق ۳۰-۰ سانتی متری خاک نمونه برداری انجام شد و خصوصیات آن مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲).

داشت (Arabic Kalateh et al., 2011). نتایج آزمایش محققین نشان داد که تأخیر در کشت منجر به کوتاه شدن طول مراحل نمو به‌ویژه در مرحله رشد رویشی شد (Ashna, 2015). محققان با بررسی اثر سه تاریخ کاشت (یک تاریخ کاشت به‌هنگام و دو تاریخ کاشت دیر هنگام) بر ۱۳ ژنوتیپ گندم بهاره در شرایط مکزیکی بیان داشتند که با تأخیر در کاشت، تعداد روز تا گرده‌افشانی، تعداد روز تا رسیدگی، ماده خشک، عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در مترمربع و وزن هزار دانه کاهش، ولی شاخص برداشت افزایش یافت (Ayeneh et al., 2002). به‌طور کلی، تأخیر در کاشت و مواجهه مرحله رشد زایشی و مرحله پر شدن دانه با تنش گرمای انتهای فصل باعث تسریع نمو و کاهش کلی اندازه گیاه می‌شود، همچنین موجب کاهش فتوسنتز، افزایش تنفس، کاهش تعداد سنبله در گیاه، کاهش تعداد دانه در سنبله، بازداری سنتز نشاسته در دانه‌های در حال رشد، کاهش وزن دانه و در نهایت، تسریع پیری گیاه می‌شود که همه این تغییرات فیزیولوژیک و مورفولوژیک منجر به کاهش عملکرد در شرایط تنش انتهای فصل می‌شود (Ayeneh et al., 2002). در شرایط شمال عراق، کشت زود، زمان بهینه کاشت گندم است و به‌ازای هر هفته تأخیر در کاشت ممکن است تا ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار افت عملکرد ایجاد شود (Adary et al., 2002). از طرف دیگر، کاشت زودهنگام نیز باعث می‌شود که گیاهان قبل از رسیدن سرما بیش از اندازه رشد نموده و با توجه به شروع رشد زایشی، احتمال هم‌زمان شدن وقوع دماهای پایین با این مرحله حساس افزایش یابد. در کاشت زودهنگام، پائین بودن دمای خاک و صدمات ناشی از بروز یخبندان موجب استقرار ضعیف گیاهان در بهار می‌گردد (Yousefi Moghaddam et al., 2018). داداشی و خواجه‌پور (Dadashi & Khajehpour, 2004) خاطر نشان ساختند که بهترین رقم برای کشت در هر منطقه رقمی است که مراحل رشدی خود را در زمان مناسب تکمیل نماید و هنگامی که در مورد نوع رقم و زمان کاشت تصمیم‌گیری می‌شود، خطرات احتمالی پیش رو نیز در نظر شود. چون گندم گیاهی روز بلند است، تأخیر در کاشت و وجود روزهای بلند باعث کاهش طول دوره مراحل نمو می‌شود که به دلیل عدم تکمیل مراحل نمو و وارد شدن زودهنگام بوته به مرحله زایشی، در نتیجه کمبود منابع فتوسنتزی را به دنبال دارد (Roustaii, 1997). از جمله مهم‌ترین عوامل زراعی جهت انطباق مراحل رشد و نمو

جدول ۱- برخی از خصوصیات ارقام مورد مطالعه گندم

Table 1- Some characteristics of studied wheat cultivars

رقم Cultivar	تیپ رشد Growth type	مناطق مناسب رشد Suitable growth regions	گروه رسیدگی Maturity group	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)
پیشگام Pishgam	بینابین Facultative	اقلیم سرد Cold climate	نسبتاً زودرس Relatively early maturity	46
زارع Zare	زمستانه Winter	اقلیم سرد Cold climate	دیررس Late maturity	40
حیدری Heydari	بینابین Facultative	اقلیم سرد Cold climate	دیررس Late maturity	41
سیوند Sivand	بهاره Spring	اقلیم معتدل Moderate climate	متوسط‌رس Moderate maturity	37
بهاران Baharan	بهاره Spring	اقلیم معتدل Moderate climate	متوسط‌رس Moderate maturity	40
سیروان Sirvan	بهاره Spring	اقلیم معتدل Moderate climate	متوسط‌رس Moderate maturity	45
مهرگان Mehregan	بهاره Spring	اقلیم گرم و خشک Warm and dry climate	زودرس Early maturity	40
چمران ۲ Chamran2	بهاره Spring	اقلیم گرم و خشک Warm and dry climate	زودرس Early maturity	41

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2- Physical and chemical characteristics of study area soil

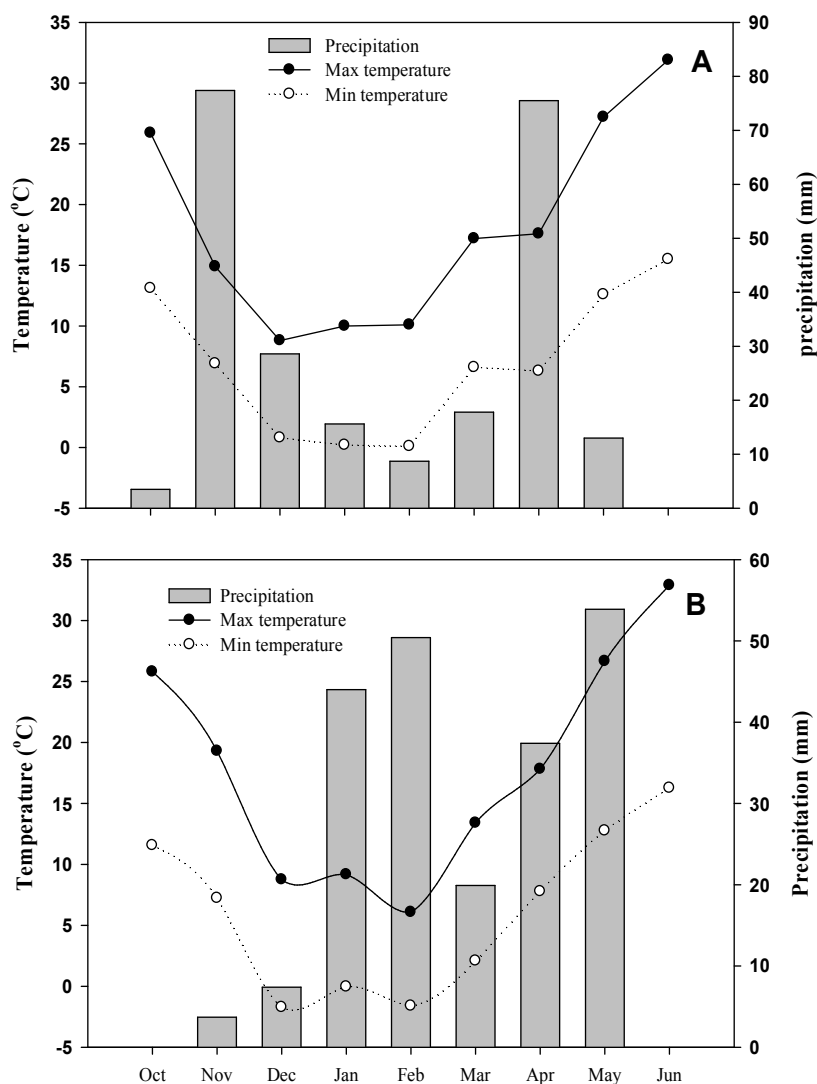
پتاسیم قابل جذب Available K (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب Available P (mg.kg ⁻¹)	کربن آلی Organic C (%)	نیترژن کل Total N (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m-1)	بافت Texture
206	11.6	0.51	0.05	7.9	2.12	لوم Loam

رشد گیاه به‌ویژه در زمان کاشت و سبز شدن نیاز رطوبتی مزرعه از طریق بارندگی و آبیاری تأمین شد. آمار هواشناسی مربوط به دما و مجموع بارندگی در طی ماه‌های مختلف در طول دوره رشد در شکل ۱ ارائه شده است.

قبل از کشت و به‌عنوان کود پایه ۱۰۰ کیلوگرم کود پتاس، ۲۰۰ کیلوگرم کود فسفات و ۵۰ کیلوگرم کود اوره به زمین داده شد. سپس در اسفند ماه و اواخر فروردین ماه ۱۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار به‌صورت سرک استفاده شد.

کشت بذر در کرت‌ها با تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع برای هر کرت در تاریخ کاشت مورد نظر توسط بذرکار آزمایشی وینترشتایگر^۱ (Plotman 2100) انجام شد. هر کرت شامل چهار پشته (فاصله پشته‌ها ۶۲ سانتی‌متر بود) و روی هر پشته سه خط کاشت بود. بین کرت‌های اصلی دو پشته نکاشت و بین کرت‌های فرعی یک پشته نکاشت فاصله در نظر گرفته شد. کنترل شیمیایی علف‌های هرز باریک‌برگ و پهن‌برگ با اختلاط علف‌کش‌های تربینورون متیل (گران‌استار) به‌میزان ۲۵ گرم در هکتار و کلودینافوپ پروپارژیل (تاپیک) به‌میزان یک لیتر در هکتار در اسفند ماه انجام شد. طی دوره

1- Wintersteiger



شکل ۱- دمای حداکثر و حداقل و مجموع بارندگی طی دوره کاشت تا برداشت (A: سال اول، B: سال دوم)

Fig. 1- Maximum and minimum temperature and total precipitation during planting to harvest (A: first year, B: second year)

سنبله، وزن هزار دانه و همچنین عملکرد بیولوژیکی اندازه‌گیری شد. همچنین پس از حذف نیم متر ابتدا و انتهای هر کرت، توسط کمباین وینتراشتاگر مخصوص آزمایشات (مدل ۲۰۱۵) از شش خط وسط برداشت نهایی با مساحت شش مترمربع جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه صورت گرفت. شاخص برداشت از نسبت عملکرد اقتصادی (دانه) به عملکرد بیولوژیک محاسبه گردید. محاسبات آماری داده‌ها با

تعداد روز تا مرحله پنجه‌زنی، ساقه رفتن، گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیکی برای کلیه ارقام و در هر تاریخ کاشت به صورت جداگانه طی بازدیدهای مکرر در طول فصل رشد تعیین و ثبت شد. به منظور تعیین صفات اجزای عملکرد از هر کرت به طور جداگانه نمونه‌ای به مساحت نیم مترمربع توسط کوادرات برداشت و به آزمایشگاه منتقل و صفات اجزای عملکرد شامل تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در

استفاده از نرم افزار SAS نسخه نه و مقایسه میانگین ها به روش چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. رسم شکل ها با استفاده از نرم افزار Sigmaplot v.12 انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

بررسی نتایج جدول تجزیه مرکب نشان داد که اثر سال، تاریخ کاشت و رقم و همچنین اثر متقابل رقم در تاریخ کاشت بر عملکرد دانه معنی دار ($p \leq 0.01$) بود (جدول ۳). مقایسه میانگین عملکرد دانه در دو سال زراعی نشان داد که تاریخ کاشت ۲۰ مهر ماه با ۸۹۰۱ کیلوگرم در هکتار بیشترین و تاریخ کاشت پنج آذر با ۵۷۷۵ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد دانه را داشتند (جدول ۴). به نظر می رسد دلیل برتری تاریخ کاشت ۲۰ مهر نسبت به سایر تاریخ های کاشت، داشتن زمان کافی برای گذراندن مراحل مختلف رشد ارقام در این تاریخ می باشد. نتایج سایر محققین نیز نشان داده است که گرمای پایان فصل رشد عامل محدود کننده رشد و عملکرد است و در شرایط گرم گیاه زودرس تر شده و به خصوص در مراحل پایانی رشد موجب کاهش دوره زایشی و پر شدن دانه ها می گردد و در نتیجه، عملکرد دانه کاهش می یابد (Subedi et al., 2007). سایر بررسی ها مؤید تأثیر معنی دار تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم می باشند؛ به طوری که کاشت در تاریخ های به هنگام در اوایل فصل رشد، افزایش عملکرد دانه را موجب می گردد. مقایسه میانگین ارقام آزمایش نشان داد که رقم سیوند با ۷۷۰۸ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را نشان داد که با ارقام حیدری و مهرگان در یک گروه آماری قرار گرفت. در حالی که رقم زارع با ۶۶۰۳ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد دانه را نشان داد. رقم زارع نسبتاً دیررس است. رقم سیوند از جنبه رسیدگی در گروه ارقام متوسط رس قرار دارد (جدول ۱). با توجه به خصوصیات رقم سیوند و میانگین عملکرد آن، احتمال دارد این رقم در شرایط گوناگون تاریخ کاشت، خود را بهتر سازگار کرده است. به نظر می رسد متوسط رس بودن آن دلیلی برای عملکرد بالا در دو سال زراعی بین ارقام مختلف باشد. اثر متقابل تاریخ کاشت در رقم بر عملکرد دانه آزمایش معنی دار بود. مقایسه میانگین دو ساله اثر متقابل تاریخ کاشت در رقم صفت مذکور نشان داد که ارقام سیروان، سیوند، مهرگان، چمران ۲ و بهاران که همگی در تاریخ ۲۰ مهر کشت شده اند، به ترتیب با ۹۴۱۶، ۹۲۲۲، ۹۰۹۹، ۹۰۵۱ و ۹۰۰۸ کیلوگرم در

هکتار دانه بالاترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داده و در کلاس آماری جداگانه a قرار گرفتند (جدول ۵). از طرف دیگر، دو رقم زارع و چمران ۲ که در تاریخ کاشت پنج آذر کاشته شده بودند با عملکرد دانه به میزان ۵۵۹۶ و ۵۴۷۴ کیلوگرم دانه در هکتار پایین ترین عملکرد دانه را در بین تیمارهای آزمایش به خود اختصاص دادند (جدول ۳). فتیحی و همکاران (Fathi et al., 2001) کاهش عملکرد دانه گندم را با تأخیر در کاشت از ۱۵ مهر تا ۱۵ آبان گزارش کردند. ظاهراً شدت تأثیر شرایط نامناسب ناشی از تأخیر در کاشت به میزانی است که روابط جبرانی بین اجزای عملکرد دانه نمی تواند این اثر نامطلوب را جبران نماید. فلوورز و همکاران (Flowers et al., 2006) در مطالعه اثر تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم گندم گزارش کردند که تاریخ کاشت اثر زیادی بر عملکرد داشته و تأخیر در تاریخ کاشت، عملکرد دانه را ۲۴ درصد کاهش داد. سوبدی و همکاران (2007 Subedi et al.) در مطالعه خود گزارش دادند که در تاریخ کاشت دیر هنگام پر شدن دانه در گندم با گرمای آخر فصل مواجه می شود و در نتیجه، باعث کاهش دوره پر شدن دانه و کاهش عملکرد می شود. دونمز و همکاران (Donmes et al., 2001) نیز طی مطالعه ای روی ارقام جدید گندم دریافتند که وجود تغییرات ژنتیکی بین واریته های مختلف منجر به بروز اختلافی در عملکرد دانه شد. با توجه به نتایج به نظر می رسد در صورت تأخیر در کاشت در منطقه، رقم مهرگان که رقمی زودرس می باشد، جایگزین مناسبی نسبت به سایر ارقام باشد.

عملکرد بیولوژیکی

نتایج تجزیه مرکب داده ها نشان داد عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر معنی دار ($p \leq 0.01$) اثر اصلی سال، تاریخ کاشت و اثر متقابل سال در تاریخ کاشت و رقم در تاریخ کاشت بود (جدول ۳). مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیکی تاریخ های مختلف کاشت و ارقام نشان داد که تاریخ کاشت ۲۰ مهر با عملکردی معادل ۲۶۲۰۴ کیلوگرم در هکتار بالاترین مقدار را داشت و تاریخ کاشت پنج آذر با عملکردی معادل ۱۹۱۴۵ کیلوگرم در هکتار کمترین مقدار را نشان داد. رقم سیوند با مقدار ۲۴۵۱۵ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد بیولوژیک را دارا بود که با ارقام حیدری، زارع، سیروان، چمران ۲ در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۴). مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیکی اثرات متقابل تیمارهای آزمایش در دو سال زراعی نشان داد رقم سیوند در تاریخ کاشت ۲۰ مهر با مقدار ۳۰۲۹۹ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که وزن هزار دانه تحت تأثیر اثرات اصلی سال و رقم و اثر متقابل دوگانه سال در رقم قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین وزن هزار دانه با تیمارهای اصلی در دو سال زراعی نشان داد که تمام تاریخ‌های کاشت در یک گروه آماری قرار گرفتند و تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد (جدول ۴). اما در بین ارقام بالاترین وزن هزار دانه مربوط به رقم چمران ۲ با مقداری معادل ۳۷/۲ گرم بود که با ارقام سیروان، بهاران، مهرگان، از نظر آماری تفاوتی نداشته و در یک گروه قرار گرفت. کمترین وزن هزار دانه مربوط به رقم سیوند با مقداری معادل ۳۰/۳ گرم بود. مقایسه میانگین وزن هزار دانه اثرات متقابل تیمارهای آزمایش در دو سال زراعی نشان داد که رقم سیروان در تاریخ کاشت ۲۰ مهر با وزن هزار دانه ۴۲/۳ گرم بالاترین مقدار را نشان داد. که با ارقام مهرگان تاریخ کاشت ۲۰ مهر تفاوت معنی‌داری نداشته و در یک گروه قرار گرفت؛ و رقم سیوند در تاریخ کاشت پنج آذر کمترین وزن هزار دانه را با مقداری معادل ۲۷/۶ گرم داشت که با ارقام زارع تاریخ کاشت ۲۰ مهر و زارع، سیوند، تاریخ کاشت پنج آبان و پیشگام تاریخ کاشت ۲۰ آبان در یک گروه قرار گرفت (جدول ۵). دلیل کاهش وزن هزار دانه در تاریخ کاشت چهارم به‌خصوص ارقام دیررس مانند زارع، عمدتاً به‌خاطر کاهش طول دوره هر یک از مراحل رشدی مخصوصاً از مرحله گرده‌افشانی تا رسیدن و در این بین از همه مهم‌تر طول دوره پر شدن دانه به‌دلیل عدم داشتن فاصله زمانی مناسب از مرحله بعد از گرده‌افشانی تا رسیدن و برخورد طول این دوره در تاریخ‌های کاشت دیر هنگام (سوم و چهارم) با دمای بسیار بالا در نیمه خرداد به بعد باعث گردید طول دوره پر شدن دانه کاهش و سرعت پر شدن دانه افزایش یابد و به دنبال آن دانه‌ها چروکیده و لاغر شوند و در نهایت، وزن هزار دانه در تاریخ‌های کاشت دیر هنگام نسبت به زود هنگام کاهش یابد.

سبحان و همکاران (Subhan et al., 2004) با مطالعه اثر تاریخ کاشت بر گندم گزارش کردند که تأخیر در تاریخ کاشت گندم بیشترین اثر را در میان اجزای عملکرد بر روی وزن هزار دانه گندم دارد که با نتایج این آزمایش همسو می‌باشد، به‌طوری‌که در این بررسی بیشترین وزن هزار دانه در تاریخ کاشت اول و کمترین آن در تاریخ کاشت چهارم به‌دست آمد (جدول ۴). ارقام چمران، سیروان، بهاران، و

بیولوژیک را داشت که با ارقام حیدری، پیشگام، سیروان، چمران ۲ در تاریخ کاشت ۲۰ مهر و زارع در تاریخ کاشت پنج آبان تفاوت معنی‌داری نداشته و در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۵). کمترین مقدار عملکرد بیولوژیک مربوط به رقم پیشگام در تاریخ کاشت پنج آذر بود که با ارقام حیدری در تاریخ کاشت پنج آبان، پیشگام، زارع، سیروان، بهاران، مهرگان در تاریخ کاشت ۲۰ آبان و همه ارقام در تاریخ کاشت پنج آذر تفاوت معنی‌داری نداشته و در یک گروه قرار گرفت. کمترین مقدار عملکرد بیولوژیک مربوط به رقم پیشگام در تاریخ کاشت پنج آذر بود که با ارقام حیدری در تاریخ کاشت پنج آبان و پیشگام، زارع، سیروان، بهاران، مهرگان در تاریخ کاشت ۲۰ آبان و همه ارقام در تاریخ کاشت پنج آذر تفاوت معنی‌داری نداشته و در یک گروه قرار گرفت. همان‌طور که از نتایج این بررسی مشخص است، عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر رقم و تاریخ کاشت قرار گرفته، به‌طوری‌که عملکرد بیولوژیک در همه ارقام مورد بررسی با تأخیر در تاریخ کاشت خصوصاً تاریخ کاشت پنج آذر روند کاهشی را نشان داده است. کاهش عملکرد بیولوژیک در ارقام تاریخ کاشت مذکور عمدتاً به‌علت تأخیر در تاریخ کاشت بود، به‌طوری‌که بذور با تأخیر زیاد سبز شده و در همان مرحله وارد مرحله رزت شدند و با شروع مجدد گرما به‌دلیل کافی نبودن زمان لازم با حداقل رشد هر مرحله مرفولوژیکی و با حداقل عملکرد بیولوژیک خود را به رسیدگی فیزیولوژیک رساندند. به نظر می‌رسد ارقام مورد بررسی در تاریخ‌های کاشت زود هنگام توانستند مدت زمان بیشتری از منابع محیطی استفاده نمایند و با تأخیر در کاشت عملکرد بیولوژیک کاهش یافت. به تأخیر افتادن سبز شدن محصول در اثر تأخیر در تاریخ کاشت موجب کاهش دوره مواجه شدن گیاه با سرما و به‌طور کلی، کاهش طول فصل رشد می‌شود که این امر نیز موجب افت تعداد پنجه و تراکم محصول می‌گردد (Sharifi & Rahimian Mashhadi, 2004). با تأخیر در کاشت ارقام با تیپ رشدی زمستانه یا بینابین مانند ارقام حیدری و پیشگام بیشتر با کاهش دوره مواجه شدن با سرما و کاهش طول دوره رشد مواجه شده و همان‌طور که نتایج این آزمایش نشان داد، بیشتر تحت تأثیر قرار می‌گیرند. ممتازی و امام (Momtazi & Emam, 2006) با مطالعه اثر تاریخ کاشت بر رشد و عملکرد ارقام گندم گزارش نمودند که انتخاب تاریخ مناسب کاشت به‌دلیل برخورد با شرایط مساعدتر محیطی برای رشد رویشی بوته‌های مادری، تولید و تجمع ماده خشک و به تبع آن عملکرد بیولوژیکی بهبود یافت.

تعداد سنبله در مترمربع

نتایج تجزیه مرکب دو ساله تعداد سنبله در مترمربع نشان داد که تعداد سنبله در مترمربع تحت تأثیر سال و اثرات تاریخ کاشت و رقم قرار گرفت (جدول ۳). به نحوی که مقایسه میانگین تاریخ‌های کاشت نشان داد، تاریخ کاشت ۲۰ مهر بیشترین تعداد سنبله در مترمربع با مقدار معادل ۸۶۸ و کمترین تعداد دانه در سنبله را تاریخ کاشت پنج آذر با مقدار معادل ۵۵۸ سنبله در مترمربع داشت. رقم زارع بیشترین تعداد سنبله در مترمربع را با مقدار معادل ۸۱۹ داشت که با ارقام سیروان، سیوند تفاوت معنی‌داری نداشته و در یک گروه قرار گرفتند. رقم چمران ۲ با مقدار معادل ۶۵۸ سنبله در مترمربع کمترین تعداد را نشان داد که با ارقام حیدری، پیشگام، بهاران و مهرگان در یک گروه بود (جدول ۴).

یکی از اجزای عملکرد که در عملکرد نقش دارد، تعداد سنبله در مترمربع است. در نتیجه، انتظار داریم هرچه تعداد سنبله بارور در واحد سطح افزایش یابد، بر میزان عملکرد نیز افزوده شود. نقش تاریخ کاشت در تولید پنجه بارور و در نتیجه، عملکرد گندم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از طرفی، عملکرد گندم تا حدود زیادی وابسته به پنجه بارور است و روزهای کوتاه و خنک باعث تحریک تعداد پنجه خواهد شد (Koocheki & Sarmannia, 2000).

مقایسه میانگین تعداد سنبله در مترمربع اثرات متقابل تیمارهای آزمایش در دو سال زراعی نشان داد رقم زارع با ۱۰۴۲ در تاریخ کاشت ۲۰ مهر بیشترین تعداد در مترمربع را داشت که با ارقام حیدری و سیوند در تاریخ کاشت ۲۰ مهر و زارع در تاریخ کاشت پنج آبان تفاوت معنی‌داری نشان نداد و در یک گروه آماری رتبه‌بندی شدند (جدول ۵). تولید پنجه تحت تأثیر ژنتیک گیاه و عوامل محیطی قرار می‌گیرد (Koocheki & Sarmannia, 2000). تاریخ کاشت از عوامل محیطی است که بر تعداد سنبله اثر دارد. رقم زارع رقمی دیررس و زمستانه است که در شرایط مناسب تاریخ کاشت عملکرد خود را با سبز شدن کامل بذر و تراکم مناسب، افزایش می‌دهد. اما در تاریخ کاشت پنج آذر احتمالاً به دلیل تاریخ کشت دیر هنگام و سبز نشدن یکنواخت بذور، تراکم مناسب را با افزایش تعداد سنبله در واحد سطح که صفتی ژنتیکی برای این رقم محسوب می‌شود، به دست آورده است. به همین دلیل از نظر آماری رقم زارع ۲۰ مهر با ۵ آذر در یک گروه و بالاترین قرار گرفته‌اند. رقم پیشگام در تاریخ کاشت پنج

مهرگان بالاترین وزن هزار دانه را نشان دادند. این ارقام بهاره بوده و رشد خود را زودتر از سایر ارقام به انتها رساندند و به همین دلیل با کاشت در تاریخ ۲۰ مهر با داشتن رشد مناسب رویشی وارد فاز زایشی شده و با زمان کافی دانه‌ها پر شده‌اند. این در حالی است که با تأخیر در کاشت (پنج آذر) ارقام مهرگان و چمران ۲ که ارقامی زودرس و سازگار با اقلیم گرم و خشک هستند (جدول ۱)، بالاترین وزن هزار دانه را نشان دادند (جدول ۵) که به نظر می‌رسد با توجه به زودرس بودن این ارقام در زمان مناسبی پر شدن دانه صورت گرفته است.

تعداد دانه در سنبله

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که تاریخ کاشت، رقم اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در سنبله داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین تعداد دانه در سنبله تیمارهای اصلی آزمایش در دو سال زراعی نشان داد که تاریخ کاشت پنج آذر بیشترین تعداد دانه را با مقدار معادل ۳۳/۳ دانه داشت که با تاریخ کاشت‌های ۵ آبان و ۲۰ آبان در یک گروه آماری قرار گرفت. کمترین تعداد دانه در سنبله مربوط به تاریخ کاشت ۲۰ مهر بود. همچنین رقم سیوند با تعداد ۳۳/۱ دانه در سنبل بیشترین مقدار را نشان داد که با ارقام پیشگام و حیدری در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۴). کمترین تعداد دانه مربوط به رقم بهاران با مقدار معادل ۲۶/۶ بود که با ارقام زارع، مهرگان و چمران ۲ در یک گروه قرار گرفتند.

مقایسه میانگین تعداد دانه در سنبله اثرات متقابل تیمارهای آزمایش در دو سال زراعی نشان داد که اگرچه اثر متقابل تاریخ کاشت در رقم بر صفت تعداد دانه در سنبله معنی‌دار نبود که نشان‌دهنده واکنش یکسان ارقام آزمایش در تیمارهای تاریخ کاشت آزمایش است، اما مقایسه میانگین دو ساله صفت مذکور نشان داد که رقم سیوند کشت شده در تاریخ کاشت پنج آذر با ۳۶ دانه در سنبله بالاترین و رقم زارع کشت شده در تاریخ ۲۰ مهر با ۲۱/۲ دانه در سنبله کمترین تعداد دانه سنبله را در بین تیمارهای آزمایش به خود اختصاص دادند (جدول ۵). به نظر می‌رسد رقم سیوند با حداقل زمان بیشترین مخزن را ایجاد کرده است. علت این امر رابطه جبرانی بین اجزای عملکرد دانه است، یعنی با کاهش یک جزء عملکرد و افزایش در اجزای دیگر عملکرد، تا حدودی کمبود آن جبران می‌شود، ولی با کوتاه شدن فصل رشد، توانایی جبران‌کنندگی نیز کاهش می‌یابد (Jafarnezhad et al., 2009).

مراحل فنولوژی

نتایج نشان داد که اثرات سال و تاریخ کاشت بر طول مراحل پنجه‌زنی، ساقه‌دهی، گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیکی معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود (جدول ۶). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تأخیر کاشت از ۲۰ مهر ماه تا پنج آذر ماه موجب شد که طول دوره کاشت تا پنجه‌زنی افزایش و طول مرحله کاشت تا ساقه رفتن، کاشت تا گرده‌افشانی و کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیکی کاهش یابد، اما شدت این کاهش بین مرحله ساقه رفتن تا گل‌دهی بیشتر بود (جدول ۷). نتایج هم‌چنین نشان داد که اثر رقم بر تاریخ ساقه‌رفتن و گل‌دهی معنی‌دار بود. علاوه‌براین اثرات متقابل تاریخ کاشت در رقم در تمامی مراحل پنجه‌زنی، ساقه‌دهی، گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیکی معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود (جدول ۶). به‌طوری‌که بیشترین روز تا رسیدگی با ۲۳۶ روز برای رقم بهاران در تاریخ کشت اول (۲۰ مهر) که البته تفاوت معنی‌داری با رقم حیدری (۲۳۵ روز) و رقم پیشگام (۲۳۵ روز) نداشتند و کمترین میزان با ۱۸۷ روز در تاریخ کاشت آخر (۵ آذر) برای رقم مهرگان به‌دست آمد. با مقایسه جدول ۵ و جدول ۷ به نظر می‌رسد در شرایط تاریخ کاشت بهینه، ارقام دیررس که زمان بیشتری در مزرعه هستند و می‌توانند از شرایط محیطی و منابع بهره بیشتری ببرند، عملکرد بیشتری داشتند، در حالی‌که در تاریخ کشت‌های تأخیری هر چقدر ارقام زودرس‌تر باشند، مراحل انتهایی رشد و پر شدن دانه با تنش خشکی و تنش گرمایی کم‌تری مواجه شده و عملکرد بیشتری در مقایسه با ارقام دیررس دارند. دما و فتوپریود از جمله فاکتورهای مهم اقلیمی هستند که در طول فصل رشد گیاه زراعی بر عملکرد و سایر خصوصیات گیاهی اثر معنی‌داری می‌گذارند. برای اینکه مراحل فنولوژیکی گیاه با مناسب‌ترین شرایط محیطی منطبق شود و به بیان دیگر، گیاه از پتانسیل خود و محیط با کمترین تنش محیطی حداکثر استفاده را ببرد، تعیین تاریخ کاشت برای رسیدن به تاریخ کاشت مطلوب در هر منطقه ضروری است.

تحقیقات مختلف نشان داده است که تأخیر در کاشت گندم از طریق کاهش طول مراحل رشدی و افزایش تعداد روزهای لازم برای جوانه‌زنی و برخورد مراحل حساس با دماهای بالا، در نهایت، اجزای عملکرد و عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Wysocki & Cro, 2006).

آذر با ۴۶۹ سنبله در مترمربع کمترین تعداد را داشت که با ارقام چمران ۲ در تاریخ کاشت پنج آبان و مهرگان در تاریخ کاشت ۲۰ آبان و تمام ارقام در تاریخ کاشت پنج آذر تفاوت معنی‌داری نشان نداده و در یک گروه آماری جای گرفتند. تاریخ کاشت پنج آذر زمان مناسب برای تولید پنجه و سنبله بارور را نداشته و با حداقل تعداد سنبله مرحله پنجه‌دهی را گذرانده است و وارد فاز بعدی رشد خود شده است.

شاخص برداشت

نتایج تجزیه مرکب نشان داد اثر سال و تاریخ کاشت معنی‌دار ($p \leq 0.01$) و اثر رقم و رقم در سال بر شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۳). هم‌چنین رقم و اثر متقابل دوگانه رقم در سال نیز معنی‌دار بود که نشان می‌دهد شاخص برداشت علاوه‌بر عوامل محیطی که بسیار تأثیر بر آن دارند، تحت تأثیر عوامل ژنتیکی نیز است. مقایسه میانگین شاخص برداشت تاریخ کاشت‌های مختلف در دو سال زراعی نشان داد تاریخ کاشت ۲۰ مهر با ۳۳/۲۶ بیشترین شاخص برداشت را داشت که با تاریخ کاشت پنج آبان از نظر آماری در یک گروه قرار گرفت (جدول ۴). شاخص برداشت تاریخ کاشت پنج آذر با ۲۹/۶۸ کمترین مقدار را داشت؛ که نشان می‌دهد دما و طول روز، تأخیر در کاشت شاخص برداشت را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. رقم مهرگان با ۳۴/۰۶ مقدار بیشترین شاخص برداشت را در بین ارقام داشت که با رقم حیدری در یک گروه آماری قرار گرفتند. رقم زارع با ۲۹/۵۱ مقدار کمترین شاخص برداشت را نشان داد که با سیروان، پیشگام، بهاران، سیوند و چمران ۲ در یک گروه قرار گرفتند. مقایسه میانگین شاخص برداشت اثرات متقابل تیمارهای آزمایش در دو سال زراعی نشان داد رقم حیدری تاریخ کاشت ۲۰ مهر با ۳۶/۱۲ بالاترین درصد شاخص برداشت را داشت و با اینکه از لحاظ مقدار با سایر ارقام تاریخ کاشت ۲۰ مهر و پنج آبان و ارقام حیدری، پیشگام، زارع تاریخ کاشت ۲۰ آبان تفاوت داشت، اما از لحاظ آماری در یک گروه قرار گرفت (جدول ۵). کمترین شاخص برداشت را رقم چمران ۲ با ۲۶/۸۶ درصد داشت که با سایر ارقام تاریخ کاشت پنج آذر در یک گروه آماری قرار گرفت. نواب‌پور و همکاران (Navabpur et al., 2012) نیز اختلاف شاخص برداشت در ارقام مختلف گندم را گزارش کردند و تفاوت شاخص برداشت را به‌دلیل اختلاف در خصوصیات موفولوژیکی، ارقام گندم و عوامل محیطی نسبت دادند.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مرکب اثر تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم طی دو سال زراعی (۱۳۹۴-۹۶)

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	عملکرد دانه 1000-grain weight	وزن هزار دانه Number of seeds per spike	تعداد سنبه بارور در مترمربع Number of spikes per square meter	شاخص برداشت Harvest index
سال (Y) Year (Y)	1	3489794 **	1089478212 **	210 **	31.8	116549 *	478.98 **
تکرار (سال) Replication (year)	4	3259963	92410498	28.0	560.3	118255	136.39
تاریخ کاشت (D) Planting date (D)	3	80390516 **	386486109 **	61.3	93.3 *	682355 **	85.56 **
D × Y	3	4585486	55935645 **	4.5	23.1	82985	19.96
اشتباه ۱ Error 1	12	2328252	15872332	46.1	27.5	8151	8.03
رقم Cultivar (C)	7	3088211 **	17706552	194.3 **	129.4 **	68018 **	33.70 *
C × D	21	1113646 **	30506950 **	20.0 **	29.8 ns	24749 ns	26.24 *
C × Y	7	434172	1765613	22.0 *	27.7	15925	10.49
C × D × Y	21	437518	10476422	10.3	16.6	149060	20.90
اشتباه ۲ Error 2	112	12883392	8.5	28.1	18273	12.94	461966
ضریب تغییرات CV (%)		9.3	15.7	8.5	17.9	18.6	11.36

* و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد
* and **: are significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم تحت تأثیر تاریخ‌های مختلف کاشت در دو سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۴
Table 4- Comparison of mean yield and yield component wheat cultivar affected by different planting date in two years (2015-2017)

تیمارها Treatments	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیکی Biological yield (kg.ha ⁻¹)	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	تعداد دانه در سنبه Number of seeds per spike	تعداد سنبه در مترمربع Number of spikes.m ⁻²	شاخص برداشت Harvest index
۲۰ مهر Oct. 20	8901 ^{a*}	26204 ^a	36.1 ^a	27.9 ^b	868 ^a	33.26 ^a
۵ آبان Nov.5	7513 ^b	23224 ^b	34.2 ^a	29.8 ^{ab}	762 ^b	32.03 ^{ab}
۲۰ آبان Nov.20	6998 ^b	22465 ^b	33.9 ^a	29.4 ^{ab}	719 ^b	31.15 ^b
۵ آذر Dec.5	5775 ^c	19145 ^c	33.6 ^a	31.3 ^a	558 ^c	30.16 ^c
چیدری Heydari	7510 ^a	22778 ^{ab}	34.0 ^b	31.4 ^{abc}	711 ^{bcd}	32.152 ^{ab}
پیشگام Pishgam	7442 ^{ab}	22054 ^b	32.5 ^{bc}	31.6 ^{ab}	683 ^{cd}	31.62 ^{bc}
زارع Zare	6603 ^c	22233 ^{ab}	31.3 ^{cd}	26.9 ^d	819 ^a	29.51 ^c
سیروان Sivaran	7477 ^{ab}	22806 ^{ab}	37.1 ^a	28.2 ^{cd}	756 ^{abc}	31.44 ^{bc}
بهاران Baharan	7083 ^b	21731 ^b	36.5 ^a	26.6 ^d	724 ^{bcd}	31.46 ^{bc}
سیوند Sivand	7708 ^a	24515 ^a	30.3 ^d	33.1 ^a	784 ^{ab}	31.67 ^{bc}
مهرگان Mehregan	7572 ^a	22128 ^b	37.1 ^a	29.8 ^{bcd}	674 ^{cd}	34.22 ^a
چمران ۲ Chamran2	7076 ^b	23617 ^{ab}	37.2 ^a	29.6 ^{bcd}	658 ^d	31.32 ^{bc}

* میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون و برای هر جزء در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

* Means with similar letters in each column and for each component are not significantly different at 5% level of probability (DMRT).

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد اثرات متقابل تیمارهای آزمایش در دو سال زراعی (۱۳۹۶-۱۳۹۴)
Table 5- Comparison of mean yield and yield component of interaction effects in two years (2015-2017)

تیمارها Treatments	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیکی Biological yield (kg.ha ⁻¹)	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike	تعداد سنبله در مترمربع Number of spikes.m ⁻²	شاخص برداشت Harvest index
۲۰ مهر Heydari	9529 a*	25744 a-f	34.8 c-j	30.8 abc	896 a-d	36.12 a
Oct. 20 Pishgam	8843 a	27093 a-d	35.0 c-i	32.4 ab	757 c-f	36.01 ab
زارع Zare	7036 c-f	22193 d-l	31.1 i-l	21.2 ef	1042 a	35.42 a-c
سیروان Sirvan	9416 a	27307 abc	42.3 a	23.0 de	927 abc	34.93 a-d
بهاران Baharan	9008 a	24605 b-i	37.6 bc	27.9 b-e	815 b-e	34.50 a-e
سیوند Sivand	9222 a	30299 a	31.7 h-k	30.2 a-d	934 abc	34.28 a-e
مهرگان Mehregan	9099 a	25329 b-g	39.4 ab	28.6 a-d	770 cde	34.22 a-e
چمران ۲ Chamran2	9051 a	26495 a-e	37.3 bc	29.2 a-d	801 b-e	33.82 a-f
۵ آبان Heydari	7187 b-e	20015 i-m	32.8 f-k	30.3 a-d	664 e-i	33.26 a-f
Nov.5 Pishgam	7775 bcd	23462 b-k	31.9 h-k	31.4 ab	782 cde	33.18 a-f
زارع Zare	7186 b-e	26383 a-e	29.5 kl	27.5 b-e	978 ab	32.9 a-g
سیروان Sirvan	7754 b-d	25186 b-h	38.3 bc	30.3 a-d	818 b-e	32.73 a-g
بهاران Baharan	7383 b-e	22225 d-l	37.3 bc	26. b-d	748 c-h	32.54 a-g
سیوند Sivand	7844 bc	24150 b-j	30.3 kl	34.5 ab	756 c-f	32.37 a-g
مهرگان Mehregan	8018 b	21798 e-l	36.8 b-f	29.4 a-d	721 d-h	31.72 a-g
چمران ۲ Chamran2	6951 c-f	22350 c-l	36.9 b-e	29.2 a-d	642 e-j	31.58 a-g
۲۰ آبان Heydari	7226 b-e	26148 a-f	35.4 b-h	32.4 ab	722 d-h	31.27 a-g
Nov.20 Pishgam	6872 def	19869 i-m	30.8 jkl	27.6 b-e	710 d-h	31.27 a-h
زارع Zare	6592 efg	20333 h-m	31.5 h-k	29.0 a-d	658 e-i	31.08 a-g
سیروان Sirvan	6834 ef	18514 klm	32.7 g-k	28.9 a-d	721 d-h	30.95 b-h
بهاران Baharan	6213 fgh	21308 f-m	36.2 b-g	23.5 cde	753 c-g	30.65 c-h
سیوند Sivand	7874 bc	23355 b-k	31.7 h-k	32.2 ab	792 cde	30.62 c-h
مهرگان Mehregan	7238 b-e	21376 f-m	37.0 bcd	31.6 ab	646 e-j	29.96 d-h

چمران ۲ Chamran2	6828 ^{ef}	27700 ^{ab}	36.1 ^{b-g}	30.3 ^{a-d}	735 ^{d-h}	29.95 ^{d-h}
۵ آذر Heydari	5796 ^{gh}	19239 ^{j-m}	32.9 ^{e-k}	32.2 ^{ab}	564 ^{hij}	29.82 ^{e-h}
۵ Dec Pishgam	5878 ^{gh}	16757 ^m	32.2 ^{g-k}	34.7 ^{ab}	469 ^j	29.76 ^{e-h}
زارع Zare	5596 ^h	20400 ^{g-m}	33.0 ^{d-k}	29.8 ^{a-d}	564 ^{hij}	29.52 ^{e-h}
سیروان Sirvan	5904 ^{gh}	19738 ^{i-m}	34.9 ^{c-i}	30.4 ^{a-d}	566 ^{g-j}	29.10 ^{f-h}
بهاران Baharan	5728 ^{gh}	18865 ^{klm}	35.0 ^{c-i}	28.9 ^{a-d}	580 ^{f-j}	27.87 ^{g-h}
سیوند Sivand	5893 ^{gh}	20195 ^{i-m}	27.6 ^l	36.0 ^a	658 ^{e-i}	27.86 ^{g-h}
مهرگان Mehregan	5930 ^{gh}	19953 ^{i-m}	35.2 ^{c-h}	29.6 ^{a-d}	572 ^{f-j}	26.86 ^h
چمران ۲ Chamran2	5474 ^h	17924 ^{lm}	38.5 ^{bc}	29.3 ^{a-d}	484 ^{ij}	26.86 ^h

* میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون و برای هر جزء در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

* Means with similar letters in each column and for each component are not significantly different at 5% level of probability (DMRT).

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مرکب اثر تاریخ کاشت بر مراحل فنولوژی ارقام گندم طی دو سال زراعی (۹۶-۱۳۹۴)
Table 6- Analysis of variance (mean squares) for the effect of planting date on phenological stages of wheat cultivar during two years (2015-2017)

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	تعداد روز تا پنجه‌زنی No. of days till tillering	تعداد روز تا ساقه رفتن No. of days till stem elongation	تعداد روز تا گل‌دهی No. of days' till flowering	تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژی No. of days till physiological maturity
سال (Y) Year (Y)	1	11026 **	2220 **	3798 **	1575 **
تکرار (سال) Replication (year)	4	23.1	8.9	27.2	12.1
تاریخ کاشت (D) Planting date (D)	3	30026 **	3039 **	16100 **	16586 **
D × Y	3	7915	468 **	271	50.4
اشتباه ۱ Error 1	12	18	4.5	20.1	22.9
رقم Cultivar (C)	7	2.8	80.4 **	13.6 *	13.7
C × D	21	22.5 **	6.4 *	10.9 **	27.4 **
C × Y	7	12.4	6.3	5.3	13.9
C × D × Y	21	19.1	22.4	7.4	32.1
اشتباه ۲ Error 2	112	12	3.3	4.9	11.2
ضریب تغییرات C.V. (%)		3.5	5.7	4.9	5.3

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

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

جدول ۷- مقایسه میانگین مراحل فنولوژی اثرات متقابل تیمارهای آزمایش در دو سال زراعی (۱۳۹۴-۱۳۹۶)
Table 7- Comparison of mean yield and yield component of interaction effects in two years (2015-2017)

تیمارها Treatments	تعداد روز تا پنجه زنی No. of days till tillering	تعداد روز تا ساقه رفتن No. of days till Stem elongation	تعداد روز تا گل دهی No. of days till flowering	تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژی No. of days till physiological maturity
۲۰ مهر Heydari	40 ^{hi*}	132 ^{g-k}	206 ^a	235 ^{ab}
Oct. 20 Pishgam	41 ^{hi}	130 ^{jkl}	206 ^a	235 ^{ab}
زارع Zare	39 ⁱ	131 ^{ijk}	203 ^b	231 ^{cd}
سیروان Sirvan	41 ^{hi}	133 ^{g-j}	200 ^c	230 ^d
بهاران Baharan	40 ^{hi}	132 ^{h-k}	205 ^{ab}	236 ^a
سیوند Sivand	40 ^{hi}	130 ^{gkl}	207 ^a	232 ^{bcd}
مهرگان Mehregan	43 ^h	128 ^l	203 ^b	230 ^d
چمران ۲ Chamran2	43 ^h	128 ^l	203 ^b	230 ^d
۵ آبان Heydari	83 ^{efg}	150 ^a	193 ^d	219 ^e
Nov.5 Pishgam	83 ^{efg}	150 ^a	192 ^d	213 ^g
زارع Zare	85 ^{d-g}	150 ^a	191 ^d	219 ^e
سیروان Sirvan	85 ^{d-g}	147 ^{ab}	192 ^d	218 ^{ef}
بهاران Baharan	83 ^{efg}	150 ^a	191 ^d	212 ^{gh}
سیوند Sivand	85 ^{d-g}	146 ^b	190 ^d	218 ^{ef}
مهرگان Mehregan	83 ^{efg}	146 ^b	187 ^{de}	212 ^{gh}
چمران ۲ Chamran2	83 ^{efg}	147 ^{ab}	188 ^{de}	212 ^{gh}
۲۰ آبان Heydari	86 ^{def}	140 ^c	179 ^{ef}	208 ⁱ
Nov.20 Pishgam	87 ^d	137 ^{def}	179 ^{ef}	208 ⁱ
زارع Zare	86 ^{de}	138 ^{cde}	179 ^{ef}	210 ^{hi}
سیروان Sirvan	83 ^{efg}	135 ^{fgh}	179 ^{ef}	208 ⁱ
بهاران Baharan	87 ^d	140 ^{cd}	178 ^{ef}	208 ⁱ
سیوند Sivand	82 ^{fg}	134 ^{fgh}	179 ^{ef}	211 ^{gh}
مهرگان Mehregan	82 ^g	136 ^{efg}	176 ^f	207 ⁱ

چمران ۲ Chamran2	82 g	135 fgh	178 ef	207 i
۵ آذر Heydari	101 a	133 g-j	163 fg	190 j
Dec. 5 Pishgam	96 c	131 ijk	161 fg	190 j
زارع Zare	100 ab	133 g-j	164 fg	188 j
سیروان Sirvan	98 abc	131 ijk	160 fg	189 j
بهاران Baharan	97 bc	134 f-i	161 fg	189 j
سیوند Sivand	100 ab	130 kl	160 fg	189 j
مهرگان Mehregan	100 ab	130 kl	159 g	187 j
چمران ۲ Chamran2	101 ab	130 kl	162 fg	188 j

* میانگین‌های دارای حروف یکسان در هر ستون و برای هر جزء در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

* Means with similar letters in each column and for each component are not significantly different at 5% level of probability (DMRT).

نتیجه‌گیری

در نتیجه کاهش عملکرد دانه در اثر تأخیر در کاشت گندم را به دنبال دارد. نتایج نشان داد که تاریخ کاشت و رقم اثر معنی‌داری بر مراحل پنجه‌زنی، ساقه‌دهی، گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیکی داشتند. به‌طوری‌که بیشترین روز تا رسیدگی را رقم بهاران داشت که تفاوت معنی‌داری با رقم حیدری و پیشگام نشان نداد و کمترین آن مربوط به رقم مهرگان بود. بررسی مقایسه‌های میانگین عملکرد دانه ارقام گندم نشان داد رقم سیوند از منطقه معتدل، رقم مهرگان از منطقه گرم و رقم حیدری از منطقه سرد بالاترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. به نظر می‌رسد که معنی‌دار بودن اثر تاریخ کاشت در رقم یکی از مؤلفه‌های ایجاد چنین نتیجه‌ای بوده است. به عبارت دیگر، در هر تاریخ کاشت یک رقم به‌خصوص حداکثر عملکرد دانه را داشته است و برآیند این نتایج سبب شده که ارقام مخصوص اقلیم‌های مختلف حداکثر عملکرد دانه را در میان تاریخ کاشت‌های مختلف داشته باشند. بر اساس این نتایج برای تولید حداکثر عملکرد دانه توصیه می‌شود ارقام حیدری و یا سیروان در منطقه کرج و مناطق اقلیمی مشابه در تاریخ ۲۰ مهر ماه کشت گردد، اما در شرایط محدودیت از نظر زمان کشت محصول (مناسب نبودن شرایط اقلیمی، کمبود ادوات کشت و...) در تاریخ کاشت‌های پنج آبان لغایت پنج آذر ارقام مهرگان و سیوند توصیه می‌شود تا کمترین میزان افت محصول به‌واسطه عدم کشت گیاه در زمان مناسب به‌وجود آید.

نتایج نشان داد که تاریخ کاشت مناسب برای حصول حداکثر عملکرد دانه در منطقه کرج و شرایط اقلیمی مشابه ۲۰ مهر می‌باشد، به‌طوری‌که تأخیر در کاشت نسبت به مناسب‌ترین تاریخ کاشت (۲۰ مهر)، در نتیجه کاهش طول دوره زایشی و پر شدن دانه، منجر به کاهش عملکرد دانه بین ۱۶ تا ۳۶ درصد گردید. مهم‌ترین جزء عملکرد که باعث برتری این تاریخ گردید تعداد سنبله بارور در واحد سطح بود به‌عبارتی دیگر، کشت در تاریخ مناسب سبب می‌شود تا گیاه فرصت کافی برای پنجه‌زنی مناسب، افزایش تعداد سنبله بارور در واحد سطح و افزایش عملکرد دانه را در اختیار داشته باشد. با توجه به خصوصیات ژنتیکی هر رقم، برای تشکیل اجزای عملکرد دانه دوره زمانی خاص نیازمند است تا حد بهینه هر جزء عملکرد تولید گردد. طول دوره‌های زمانی لازم برای تشکیل اجزای عملکرد دانه اگرچه یک صفت ژنتیکی است، اما تحت تأثیر شرایط رشد گیاه و تنش‌های محیطی به‌خصوص پارامترهای آب‌وهوایی به‌ویژه دمای محیط قرار می‌گیرند. در شرایط آب‌وهوایی کرج، دوره‌های رشد و نمو گندم تحت تأثیر افزایش ناگهانی دما از نیمه دوم اردیبهشت ماه قرار می‌گیرند، به‌نحوی که زمان رسیدگی فیزیولوژیکی گندم متناسب با تأخیر در کاشت به تأخیر نمی‌افتد، به عبارت دیگر، فشار عامل محیطی دما، طول دوره‌های رشد و نمو و در نتیجه، کل دوره رشد گندم را کوتاه،

References

- Adary, A., Hachum, A., Oweis, T., and Pala, M., 2002. Wheat productivity under supplemental irrigation in Northern Iraq. On-Farm Water Husbandry Research Report Series, No. 2, International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria.
- Ahmadi, M., Kamkar, B., Soltani, A., Zenali, E., and Abrabameri, R., 2012. The effect of planting date on duration of phenological phases in wheat cultivars and its relation with grain yield. *Journal of Plant Production* 17(2): 109-122. (In Persian with English Summary)
- Ashna, M., Kafi, M., Jafar Nejad, A., and Sharifi, H., 2016. Effect of planting date and nitrogen on developmental stages of wheat cultivars and its relationship with yield and yield components in Neishabour area. *Journal of Crops Production* 8(4): 143-162.
- Ayeneh, G., Van-Ginkel, M., Reynolds, M., and Ammar, K., 2002. Comparison of leaf, spike, peduncle and canopy temperature depression in wheat under heat stress. *Field Crops Research* 79: 173-184. (In Persian with English Summary)
- Askari, A., Hashemi Dezfouli, A., and Dariush, M., 2003. Effect of planting date on source limitation of genotypes of wheat after flowering. *Seedling and Seed* 18(4): 394-404. (In Persian with English Summary)
- Calateh Arabi, M., Sheikh, F., Soghi, H., and Hiuehchi, J., 2010. Effects of sowing date on grain yield and its components of two bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in Gorgan. *Seed and Plant Improvement Journal* 27(3): 285-296. (In Persian with English Summary)
- Chen, C., Payne, W.A., Smiley, R.W., and Stoltz, M.A., 2003. Yield and water use efficiency of eight wheat cultivars planted on seven dates in Northeastern Oregon. *Agronomy Journal* 95: 836-843.
- Costa, R., Pinheiro, N., Ameid, A.S., Gomes, C., Coutinho, J., Coco, J., Costa, A., and Nacas, B., 2013. Effect of sowing date and seeding rate on bread wheat yield and test weight under mediterranean conditions. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 25: 951-961.
- Dadashi, N., and Khajepour, M.R., 2004. Effect of sowing date and cultivar on growth, yield and yield of components safflower in Isfahan. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 8(3): 14-27. (In Persian with English Summary)
- Elhani, S., Martos, V., Rharrabi, Y., Royo, C., and Garcia Del Moral, L.F., 2007. Contribution of main stem and tillers to durum wheat (*Triticum aestivum* L. var. durum) grain yield and its components grown in Mediterranean environments. *Field Crops Research* 103: 25-35.
- Fathi, G., Siadat, S.A., Rossbe, N., Abdali-Mashhadi, A.R., and Ebrahimpoor, F., 2001. Effect of planting date and seed density on yield components and grain yield of wheat Dena cultivar in Yassoj conditions. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 8(3): 23-31. (In Persian with English Summary)
- Flowers, M., James, C., Petrie, S., Machado, S., and Rhinhart, K., 2006. Planting date and seeding rate effects on the yield of winter and spring wheat varieties results from the 2005-2006 cropping year. *Agricultural Research* 12(2): 72-74.
- Foti, S., Cosentino, S.L., Patane, C., and Agosta, G.M.D., 2002. Effects of osmoconditioning upon seed germination of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) Moench under low temperatures. *Seed Science and Technology* 30: 521-533.
- Hiltbrunner, J., Streit, B., and Lidgens, M., 2007. Are seeding densities an opportunity to increase grain yield of winter wheat in a living mulch of white clover. *Field Crops Research* 102: 163-171.
- Hore, D., and Rathi, R.S., 2002. Collection, cultivation and characterization of buckwheat in North-eastern region of India. *Fagopyrum* 19: 11-15.
- Jafarnezhad, A., 2009. Determination of optimum sowing date for bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars with different flowering habits in Neishabour. *Seed and Plant Production Journal* 25(2): 117-135. (In Persian with English Summary)
- Jain, M.P., Dixit, P.V., and Khan, R.A., 1992. Effect of sowing date on wheat varieties under late sown irrigated conditions. *Indian Journal of Agricultural Science* 62: 669-671.
- Johnson, J.W., Hargrove, W.L., and Moss, R.B., 1988. Optimizing row spacing and seeding rate for soft red winter wheat. *Agronomy Journal* 80: 164-166.
- Khan, M.B., Gurchani, M., Hussain, M., and Mahmood, K., 2010. Wheat seed invigoration by pre-sowing chilling

- treatments. Pakistan Journal of Botany 42: 1561–1566.
- Koocheki, A.R., and Sarmadnia, G.H., 2000. Plant Physiology. Mashhad University Publication, Mashhad, Iran. (In Persian)
- Khichar, M.L., and Niwas, R., 2006. Microclimatic profiles under different sowing environments in wheat. Journal of Agrometeorology 8: 201-209.
- Ministry of Agriculture- Jahad., 2018. Available at <https://www.maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub65/Amarnamehj194-95-site.pdf> (In Persian)
- Moradi Aghdam, A., Daneshian, J., Zakerin, H., Ghafari, M., Haji Hassani Asl, N., Moradi Aghdam, M., and Valine Jad, H., 2012. Planting date effect on phenology and some agronomic characteristics of sun flower cultivars in Khoy. Journal of Crop Ecophysiology 3(3): 205-215. (In Persian with English Summary)
- Navabpur, S., Latifi, N., Hosseini, H., and Kazemi, G., 2012. The study of grain yield, yield components and growth indices in wheat. Journal of Crop Production 4(3):157-173. (In Persian with English Summary)
- Ortiz Monasterio, J.I.R., Dhillon, S.S., and Fischer, R.A., 1994. Date of sowing effects on grain yield and yield components of irrigated spring wheat cultivars and relationships with radiation and temperature in Ludhiana, India. Field Crops Research 37: 169-184.
- Oweis, T., Pala, M., and Ryan, J., 1998. Stabilizing rainfed wheat yields with supplemental irrigation and nitrogen in a Mediterranean climate. Agronomy Journal 90: 672-681.
- Radmehr, M., Ayeneh, G.A., and Mamaghani, R., 2005. Response of late, medium and early maturity bread wheat cultivars to different sowing dates. 1: Effect of sowing date on phenological, morphological and grain yield of four bread wheat cultivars. Journal of Plant and Seed 21: 175-189.
- Rane, J., and Nagarajan, S., 2004. High temperature index for field evaluation of heat tolerance in wheat cultivars. Agricultural System 79: 243-255.
- Roustaii, M., 1997. Tolerance of winter wheat cultivars to cold stresses and its relationship to morpho-physiological traits. M.Sc. Thesis, Tabriz University Tabriz, Tabriz, Iran. (In Persian with English Summary)
- Salamat, N., 2009. Effect of planting date on yield and yield components of late wheat cultivars. Specialized Journal of Plant Growth Physiology, Islamic Azad University, Ahvaz Branch 37-50.
- Seyed Ahmadi, A.R., Gharineh, M.H., Bakhshandeh, A.M., Fathi, G., and Naderi, A., 2012. Study of phenological and growth of canola cultivars to thermal unit accumulation in three planting dates Ahvaz climate. Journal of Plant Production 19(4): 97-116. (In Persian with English Summary)
- Sharafzadeh, M., Fathi, G., Siadat, A., and Raadmehr, M., 2000. Evaluation the effect of planting date on seed yield and rembolization of barely storage materials. Journal of Agriculture Science 11: 13-21. (In Persian with English Summary)
- Sharifi, H.R., and Rahimian Mashhadi, H., 2004. Determining vernalization requirement of dryland wheat cultivars of Sardari and Sabalan. Journal of Agriculture Sciences and Natural Resources 11(1): 83-96. (In Persian with English Summary)
- Studer, C., and Erskine, W., 1999. Integrating germplasm improvement and agricultural management to achieve more efficient water use in dry area crop production. Proc. of Intl. Conference on Water Resources Conversation and Management in Dry Areas, 3-6 December 1999, Amman, Jordan.
- Subedi, K.D., Ma, B.L., and Xue, A.G., 2007. Planting date and nitrogen effects on grain yield and protein content of spring wheat. Crop Science 47: 36-44.
- Subhan, F., Khan, M., and Jamro, G.H., 2004. Effect of different planting date, seeding rate and weed control method on grain yield and yield components in wheat. Sarhad Journal of Agriculture 20(1): 51-55.
- Suleiman, A.A., Nganya, J.F., and Ashraf, M.A., 2014. Effect of cultivar and sowing date on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) Khartoum, Sudan. Journal of Forest Products and Industries 3(4): 198-203.
- Toklu, F., and Yagbasanlar, L., 1996. A research on determination wheat cultivars under Cukrova climatic conditions. In The Proceedings of the 5th International Wheat Conference. Ankara, Turkey. p. 287.
- Wysocki, D., and Cro, M., 2006. Using seed size, planting date, and expected yield to adjust dryland winter wheat seeding rates. p. 103-110 In Oregon Agricultural Experiment Station Special Report 1068.
- Yousefi Moghaddam, R., Khorramdel, S., Bannayan Aval, M., and Nassiri Mahallati, M., 2018. Comparison of old and new dryland wheat cultivars in response to different planting dates. Journal of Applied Research in Field Crops 31(2): 46-72. (In Persian with English Summary)



Evaluation of Quantitative Traits of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars in Different Planting Dates

L. Garshasbi¹, F. Paknejad^{2*}, S.S. Jasemi³, M. Nabi Ilkaee⁴ and S. Sanjani⁵

Submitted: 21-01-2019

Accepted: 05-10-2019

Garshasbi, L., Paknejad, F., Jasemi, S.S., Nabi Ilkaee, M., and Sanjani, S., 2021. Evaluation of quantitative traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in different planting dates. Journal of Agroecology 12(4):703-721.

Introduction

Besides its commercial importance in the global wheat market, bread wheat (*Triticum aestivum*) is an efficient weapon in political and international relations. Its practical importance is increasing by the day. The planting date is an essential factor in crop production because meteorological parameters vary with the planting date changes. Singly or in combination, temperature, sunlight, and other meteorological factors influence plant growth and production. Planting date controls plant phenological total biomass production and influences the efficient conversion of biomass into economic yield (Khichar and Niwas, 2006). The purpose of determining planting date is to find the right time for a cultivar or a group of similar plant cultivars so that the set of environmental factors are suitable for seed germination and seedling establishment survival (Hore et al., 2002). It seems that planting various wheat cultivars by considering the high importance of wheat with different growth habits is necessary for agricultural experts and farmers to observe the different cultivars' responses to various planting dates and weather conditions. Various cultivars, each compatible with weather conditions in a specific part of the country, were selected for this experiment. This experiment intended to determine how cultivars responded to each planting date by taking its yield potential and temperature changes into account, identifying the optimum planting date for each cultivar, and introducing the suitable cultivar in the late planting date.

Materials and Methods

The split-plot experiment was conducted based on a complete randomized block design with three replications on the research farm of the Seed and Plant Improvement Research Institute in Karaj in two years (2015-2017). The bread wheat cultivars Baharan, Sivand, Sirvan, Mehregan, Chamran 2, Heidari, Zare, and Pishgam, formed the main plot factor and the various planting dates (12 October, 27 October, 11 November, and 26 November) the subplot factor. Yield and yield components such as the number of fertile spike per m², number of grain per spike, number of grain per m², 1000-kernel weight were measured at the end of the growing season to evaluate responses of the cultivars to the various planting dates. Also, the phenological stage was recorded during the growing season.

Results and Discussion

Results indicated that planting dates had significant effects on grain yield, biological yield, number of seeds per spike, number of spikes per m², and harvest index. The highest yield was 12 November among the planting dates, and the Sivand cultivar had the highest grain yield (7708 kg.ha⁻¹). The interaction effects of planting date and cultivar were significant on grain yield, biological yield, and some yield components. The highest grain yield (9529 kg.ha⁻¹) was observed in the Heidari cultivar planted on 12 October and the lowest (5474 kg.ha⁻¹) in the

1- Ph.D. Student of Agronomy, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

2- Professor, Department of Agronomy, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

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

4- Associate Professor, Department of Agronomy, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

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

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

Doi:10.22067/jag.v12i4.78712

Chamran cultivar planted on 26 November. Delays in planting reduced grain yield by 16-36% compared to the most suitable planting date (12 October) because of the reduced vegetative and grain-filling periods.

Conclusion

The highest grain yield at each of the planting dates was achieved for one of the cultivars. Therefore, the cultivars adapted to different climates exhibited their highest yields at different planting dates. Based on results, it is recommended that the Heidari and/or Sirvan cultivars be planted in Karaj and regions with climates to Karaj on 12th October. In cases of limitations concerning planting dates (unfavorable weather conditions, insufficient planting equipment, etc.), the recommended dates for planting the Mehregan and Sivand cultivars are from 27 October to 26 November to minimize yield loss caused. It seems that 12 October is the best planting time for the study region because it allows better use of the environmental conditions, including more desirable temperature, more extended growing season, higher soil moisture content, and suitable seedling establishment.

Keywords: Biological yield, Grain yield, Phenological stage, Yield components



مقاله علمی - پژوهشی

تأثیر غلظت مصرف کائولین و مراحل فنولوژیکی گیاه بر عملکرد، اجزای عملکرد و جمعیت شته کلزا (*Brevicoryne brassicae* L.) به همراه دشمنان طبیعی آن

مریم معرفى^{۱*}، ثمین صدیق^۲ و علی همراهی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۳۱

م. معرفى، صدیق، ث. و همراهی، ع.، ۱۳۹۹. تأثیر غلظت مصرف کائولین و مراحل فنولوژیکی گیاه بر عملکرد، اجزای عملکرد و جمعیت شته کلزا (*Brevicoryne brassicae* L.) به همراه دشمنان طبیعی آن. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۴): ۷۲۳-۷۴۰.

چکیده

کلزا (*Brevicoryne brassicae* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان دانه روغنی است که به دلیل سازگاری با شرایط اقلیمی ایران کشت آن بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق تأثیر غلظت‌های مختلف کائولین در مراحل مختلف رشدی گیاه کلزا بر تغییرات جمعیتی شته *Brevicoryne brassicae* دشمنان طبیعی غالب آن و همچنین عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کلزا مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در مزرعه‌ای واقع در ماهدشت کرج در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ روی رقم Hyola 401 کلزا به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل غلظت‌های کائولین (صفر، ۳، ۶ و ۹ درصد) و مراحل فنولوژیکی کلزا (سبز شدن، رزت، غنچه‌دهی و گل‌دهی) در نظر گرفته شد. نتایج این بررسی نشان داد که استفاده از غلظت ۶ درصد کائولین در مرحله رزت کلزا باعث افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک به ترتیب با میانگین ۱۸۸۸/۸۷ و ۳۰۳۸ کیلوگرم در هکتار و در مرحله غنچه‌دهی باعث افزایش شاخص برداشت با متوسط ۶۶/۷۷ درصد می‌شود. همچنین بیش‌ترین میزان وزن هزار دانه در صورت استفاده از کائولین سه درصد در مرحله رزت با متوسط ۴/۹۵ گرم به دست آمد. غلظت کائولین و مراحل مختلف فنولوژیکی گیاه بر روی جمعیت شته افزایش معنی‌داری داشت، به طوری که کم‌ترین میزان آن در مرحله سبز شدن در غلظت نه درصد با میانگین ۳۱/۳۳ شته بود. همچنین نتایج بررسی روی دشمنان طبیعی غالب این آفت نشان داد که افزایش غلظت کائولین باعث کاهش کفشدوزک‌های *Coccinella septempunctata* L. و *Hippodamia variegata* Goeze و لارو بالتوری *Chrysoperla carnea* Stephens می‌شود که کم‌ترین میزان آن‌ها در غلظت ۹ درصد و مرحله گل‌دهی به ترتیب ۰/۵، ۱/۵ و ۰ بوده است.

واژه‌های کلیدی: بالتوری سبز، شاخص برداشت، عملکرد دانه، کفشدوزک هفت نقطه، *Hippodamia variegata*

مقدمه

گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) از خانواده چلیپاییان (*Brassicaceae*) است که پس از کشت موفق در جهان در ایران نیز به عنوان یکی از امیدهای قطع وابستگی به واردات روغن مورد توجه بسیار قرار گرفته است (Asadi & Faraji, 2009). علاوه بر تولید روغن، برگ‌ها و ساقه‌های این گیاه به دلیل دارا بودن فیبر کم و پروتئین زیاد، علوفه‌ای با کیفیت خوب تولید کرده و می‌تواند در غذای حیوانات استفاده شود (Banuelos et al., 2002). کلزا بعد از سویا بیش‌ترین میزان تولید روغن گیاهی را در جهان به خود اختصاص داده

۱- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.
۲- استادیار، گروه گیاهپزشکی، واحد ورامین - پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه گیاهپزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
(*) نویسنده مسئول: (Email: Maryam.moarefi@gmail.com
Doi:10.22067/jag.v12i4.84982

است. در سال ۲۰۰۸ از حدود ۳۹۲ میلیون تن دانه‌های روغنی تولید شده در جهان، ۵۷/۸۶ میلیون تن بذر کلزا در مساحت حدود ۳۰/۳۰ میلیون هکتار تولید شد (FAO, 2008). طبق آمار سال ۹۷-۱۳۹۶ میزان تولید محصول کلزا در ایران ۳۲۹۸۴۳ تن می‌باشد (Anonymous, 2018).

شته *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera:Aphididae) از جمله آفات است که در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری باعث ایجاد خسارت‌های زیادی می‌شود (Fidelis et al., 2019). تغذیه این شته باعث کلروزه شدن و پیچ‌خوردگی برگ‌ها و ایجاد اختلال در رشد (خسارت مستقیم) و انتقال ویروس‌ها (خسارت غیرمستقیم) می‌شود (Colette et al., 2008; Jahan et al., 2013; Sattari Nasab et al., 2019). این حشره از روی میزبان‌های مختلفی مانند کلزا، کلم، تربچه، شلغم و چلیپاییان وحشی گزارش شده است (Rezvani, 2001). ولی تحقیقات جدید نشان می‌دهد کلم قرمز میزبان نامناسبی برای این آفت نسبت به بقیه میزبان‌ها می‌باشد (Razmjoo et al., 2019).

در ارتباط با تأثیر کائولین روی خصوصیات اکوفیزیولوژیکی گیاهان بررسی‌های زیادی انجام شده است و نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که این ماده تأثیر سوء روی گیاهان ندارد (Hassanzadeh et al., 2014). کائولین یک ماده معدنی، غیرسمی، سفید رنگ گاهی اوقات قرمز، آبی یا قهوه‌ای، با مقداری ناخالصی است. همچنین، کائولینیت در روش‌های مدیریت پایدار در کشاورزی به‌صورت محلول‌پاشی برای جلوگیری از آسیب حشرات به محصولات زراعی، جلوگیری از آفتاب‌سوختگی محصول و ممانعت از تنش‌های گرمایی نیز به‌کار می‌رود (Melgarejo et al., 2004; Glenn & Puterka, 2005; Wand et al., 2006). Puterka, 2005; Glenn & Puterka, 2005). این ماده با فرمول شیمیایی آن $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$ حاوی سیلیکات آلومینیوم و قابل حل در آب می‌باشد (Knight et al., 2000; Nakano & Uehara, 1996). این ماده از نظر شیمیایی در گستره وسیعی از pH بدون تغییر می‌ماند (Glenn & Puterka, 2005). از سایر ویژگی‌های این ماده نرمی و غیرسایشی بودن آن، دارا بودن ویژگی پوششی بسیار خوب، قابلیت اندک هدایت جریان الکتریسته و گرما، قیمت ارزان، بی‌اثر بودن از نظر شیمیایی، قطر کم‌تر از دو میکرومتر، ایجاد تغییر در رفتار حشرات و عوامل بیماری‌زا و حذف آسان از روی فراورده‌ها با شستشوی ساده می‌باشد (Glenn & Puterka, 2005). کائولین

قدرت پراکندگی بالایی داشته و می‌تواند پوشش یکنواختی روی سطح برگ‌ها ایجاد کند. پوشش ایجاد شده توسط این ماده منفذدار بوده، در تبادل گازی برگ اختلالی به‌وجود نمی‌آورد، به‌طوری‌که اشعه فعال فتوسنتزی را از خود عبور داده، اما تا حدی مانع از عبور اشعه‌های فروسرخ و فرابنفش می‌شود (Saour, 2005). استفاده از کائولین باعث کاهش نرخ تعرق حتی بیش‌تر از فتوسنتز می‌شود، زیرا این عمل دمای برگ را از طریق افزایش سطح بازتاب برگ کاهش می‌دهد (Nakano & Uehara, 1996).

بررسی برگ‌های درختان پسته (*Pistacia vera* L.) در منطقه شمال غربی سوریه نشان داد که درصد سبزی‌نگی در درختان محلول‌پاشی شده با کائولین دو ماه دیرتر از سایر درختان شروع به کاهش کرد (Saour, 2005). فعالیت پسپیل پسته (*Agonosceana pistaciae* Burckharat & Lauterer) باعث ضعف عمومی درختان پسته، ایجاد لکه‌های قهوه‌ای، ریزش برگ‌ها و جوانه‌ها، ایجاد دانه‌های کوچک، کاهش وزن مغز و افزایش درصد دهان بستگی میوه‌ها می‌شود (Mehrnejad, 2002). بر اساس نتایج به‌دست آمده از باغ‌های پسته ایران، میزان کلروفیل در درختان پسته محلول‌پاشی شده با کائولین پنج درصد، با تفاوت معنی‌داری بیش‌تر از درختان محلول‌پاشی نشده بود. علاوه‌براین، کاربرد کائولین موجب افزایش وزن و درصد خندانی میوه‌ها، کاهش اونس دانه و درصد پوکی در مقایسه با شاهد به‌دلیل کنترل پسپیل پسته گردید (Hassanzadeh et al., 2014). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که کائولین دمای برگ را پایین آورده، از مقدار تعرق زیتون (*Olea europaea* L.) کاسته، مقدار آب گیاه را افزایش داده و باعث کاهش هدایت روزنه‌ای در فصل رشد می‌شود (Burme et al., 2011). کاربرد کائولین در مرکبات در هنگام ظهر، هدایت روزنه‌ای و بیش‌ترین مقدار فتوسنتز (A_{max}) را بهبود بخشیده، اما در صبح این افزایش مشاهده نشده است (Jifon & Syvertsen, 2003). کائولین باعث افزایش فتوسنتز و بهره‌وری مصرف آب در گریپ‌فروت می‌شود (Jifon & Syvertsen, 2001). کاربرد کائولین روی درختان سیب (*Malus domestica* Borkh) در شرایط اشباع نوری باعث افزایش کارایی فتوسنتز برگ‌ها، به‌وسیله کاهش دمای سطح برگ می‌شود (Glenn et al., 2002). در تاک‌های تیمار شده با کائولین بسته شدن روزنه‌ها و افزایش پتانسیل آب برگ، به آن‌ها در حفظ آب و افزایش راندمان مصرف آب کمک می‌کند (Glenn et al., 2010). اثر مثبت کائولین

کاهش یافت (Moshiri et al., 2011). ذرات کائولین اسپری شده، روی پنجه پای حشرات چسبیده و امکان حرکت و جابجایی را در آن‌ها کم کرده و روند تغذیه و تخم‌گذاری آن‌ها را دچار اختلال می‌نمایند و این روند تا نابودی حشرات ادامه پیدا می‌کند (Glenn & Puterka, 2005). این مکانیسم تأثیر، در کاربرد کائولین در درختان پسته روی پسیل نیز مشاهده گردید. به‌طوری‌که میزان بازدارندگی تخم‌ریزی پسیل در درختان پسته محلول‌پاشی شده با کائولین پنج و سه درصد به‌ترتیب، ۹۳ و ۸۲ درصد به‌دست آمد (Hassanzadeh et al., 2014). علت دیگر تأثیر کائولین مربوط به اثر دورکنندگی کائولین به‌صورت فیزیکی است. چرا که قرار گرفتن یک لایه نازک کائولین روی بافت گیاه و ایجاد رنگ سفید و انعکاس نور باعث کاهش جلب‌کنندگی درخت نسبت به آفت می‌گردد (Glenn & Puterka, 2005).

تحقیقات حاکی از مؤثر بودن کائولین در کاهش جمعیت شته‌های بال‌دار در مزارع گوجه‌فرنگی و در نتیجه، کاهش انتقال بیماری‌های ویروسی توسط شته‌ها بود (Marco, 2008). مطالعات مختلف نشان داده که پاشیدن لایه نازکی از ذرات ریز کائولین روی درختان سیب باعث مرگ و میر شته *Aphis spiraeicola* Patch. گردید (Glenn et al., 1999). کاربرد کائولین روی جمعیت آفات مختلف تأثیرگذار خواهد بود. طبق تحقیقات استفاده از کائولین ۵ درصد به‌خوبی توانست جمعیت پسیل پسته را کنترل کند (Saour, 2005). همچنین کاربرد کائولین ۳ درصد روی درختان گلابی در آمریکا موجب کاهش جمعیت پوره پسیل گلابی به‌میزان ۵۹ تا ۸۲ درصد گردید (Puterka et al., 2005). محلول‌پاشی با کائولین ۳ درصد در باغات گلابی سوئیس موجب کاهش تعداد تخم و پوره پسیل اروپایی گلابی (*C. pyri* L.) در مقایسه با تعدادی از حشره‌کش‌ها مانند اسپینوساد، پیرترین، نیم و روتنون شد (Claudia & Wyss, 2004). کاربرد کائولین روی بوته‌های سیب‌زمینی در شرایط آزمایشگاهی و صحرایی، موجب دور کردن پسیل سیب‌زمینی *Bactercera cockerelli* Sulc. و در نتیجه، کاهش میزان تخم‌ریزی و تغذیه آن شد (Peng et al., 2010). نکته قابل توجه در این تحقیق آن است که استفاده از کائولین در مرحله گل‌دهی باعث افزایش میزان شته‌ها می‌شود که بیش‌ترین آن در غلظت ۹ درصد می‌باشد. بررسی‌های شولر و آرمسترانگ (Showler & Armstrong, 2007) نشان داد که کائولین می‌تواند سبب افزایش *Aphis gossypii* در روی پنبه (*Gossypium hirsutum*)

برای کاهش آفتاب‌سوختگی و بهبود رنگ میوه، به‌عنوان نتیجه‌ای از بالا بردن بازتاب پرتوی خورشیدی و در نتیجه، کاهش در دمای میوه، به‌طور گسترده برای سیب (Glenn et al., 2001; Weerakkody et al., 2010)، انار (*Punica granatum* L.) (Ehteshami et al., 2010; Wunsche et al., 2004; Melgarejo et al., 2004; 2011) و گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) (Cantore et al., 2009) گزارش شده است. همچنین کاهش آسیب آفتاب‌سوختگی تا ۵۰ درصد نیز در سایر میوه‌ها بیان شده است (Glenn & Puterka, 2005).

کاربرد کائولین روی گیاهان زراعی نیز باعث افزایش کارایی مصرف آب، کاهش یک الی شش درجه‌ای حرارت برگ و افزایش فتوسنتز تحت شرایط تنش آبی (Moftah & Al-Humail, 2005)، افزایش تعداد سنبله گندم (*Triticum aestivum* L.) (Ranjita et al., 2007)، افزایش عملکرد بیولوژیکی گندم (Gaballah & Moursy, 2004)، افزایش عملکرد نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) (Patil et al., 2009) و افزایش عملکرد بیولوژیکی ذرت (Yadav & Kumar, 1998) شده است. طبق تحقیقات کاربرد کائولین ۲/۵ درصد در شرایط قطع آبیاری روی گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) باعث افزایش عملکرد دانه، درصد و عملکرد پروتئین می‌شود (Toryourian et al., 2018). نتایج بررسی‌های انجام شده روی گندم نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان عملکرد دانه در غلظت ۳/۷۵ در ۱۰ اردیبهشت و بیش‌ترین مقدار عملکرد بیولوژیکی در غلظت ۱/۲۵ در اول خرداد بوده است (Nateghi et al., 2014).

کائولین علیه آفات و بیماری‌های مختلف مؤثر عمل کرده است. کارایی این ترکیب طبیعی در مبارزه با پسیل گلابی، *Cacopsylla pyri* L. مگس میوه زیتون، *Bactrocera oleae* (Rossi)، پسیل *Agonoscena targionii* Lichtenstein و مگس میوه مدیترانه *Ceratitidis capitata* (Wiedemann)، روی درختان هلو (*Prunus persica* L.)، سیب و خرمالو به اثبات رسیده است (Pasquaalini et al., 2002; Mazor & Erez, 2004; Saour & Makee, 2003; 2005). در مطالعات انجام شده در باغات انار، با افزایش غلظت کائولین، میزان خسارت کرم گلوگاه (*Ectomyelois ceratoniae* Zeller) نیز کاهش یافته و مقدار خسارت در غلظت کائولین ۵ درصد به ۴/۵ درصد در مقایسه با شاهد (۹/۳ درصد)

(L. شود. همچنین بررسی‌های مارکو و همکاران (Marko et al., 2008) نشان داد که استفاده از کائولین در باغ‌های سیب باعث افزایش جمعیت *Eriosoma lanigerum* Hausman می‌شود. مطالعه اثرات جانبی کائولین با غلظت پنج درصد روی دشمنان طبیعی در باغ‌های زیتون نشان داد که کاربرد کائولین موجب تلفات در بالتوری *C. carnea*، کفشدوزک *Chilocorus nigritus* (F.) و پارازیتوئید *Psytalia concolor* (Szepligeti) نمی‌گردد و لذا تأثیر سویی روی دشمنان طبیعی ندارد (Bengochea et al., 2010). تعدادی از مطالعات گذشته نیز نشان داده است که استفاده از کائولین می‌تواند روی دشمنان طبیعی و وضعیت زندگی آن‌ها اثر منفی داشته و اخلال ایجاد کند (Marko et al., 2008; Showler et al., 2004). نتایج بررسی‌های ساکت و همکاران (Sackett et al., 2007) نشان داد که کائولین می‌تواند فراوانی نسبی بعضی از شکارگرهای عمومی از جمله کفشدوزک‌های *Coccinellidae* و سن‌های *Reduviidae* را کاهش دهد. همچنین برخی از گزارشات حاکی از آن است که کائولین می‌تواند پارازیتوئیدها را نیز تحت تأثیر قرار داده و میزان پارازیتسم را کاهش دهد (Ulmer et al., 2006). با توجه به اهمیت افزایش تولید روغن در کشور، و نظر به نقش کائولین در فعالیتهای رویشی گیاه و کنترل آفات، در این مطالعه تأثیر غلظت‌های مختلف و زمان مصرف کائولین بر تغییرات شته کلزا و دشمنان طبیعی آن و همچنین عملکرد و اجزای عملکرد آن، مورد

بررسی قرار گرفت تا بهترین شرایط برای استفاده از کائولین روی کلزا تعیین گردد.

مواد و روش‌ها

شرایط مزرعه

آزمایش در مزرعه‌ای واقع در ماهدشت کرج در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. عملیات کاشت در ۱۶ اسفند ماه ۱۳۹۶ انجام شد. مقدار بذر مصرف شده بر مبنای ۱۱۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد و بذرهای به‌طور یکسان برای کلیه تیمارها توزین گردیدند. در این آزمایش از بذرهای رقم Hyola 401 کلزا استفاده شد که در عمق ۲-۳ سانتی‌متری خاک قرار داده شدند. اولین آبیاری دو روز بعد از کاشت انجام شد و سپس آبیاری به‌فاصله هفت روز یک‌بار انجام شد. کود فسفات بر اساس نتایج آزمون خاک که در جدول ۱ آورده شده است، به‌میزان ۸۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت به خاک اضافه گردید. به‌منظور تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه ۱۶۰ کیلوگرم کود اوره به سه قسمت مساوی تقسیم و در سه مرحله (قبل از کاشت، ابتدای رشد ساقه و اوایل گل‌دهی) همراه آب آبیاری به کلیه تیمارها اضافه گردید. در این بررسی برای از بین بردن علف‌های هرز، روش وجین دستی به کار گرفته شد.

جدول ۱- مشخصات خاک محل آزمایش قبل از کاشت (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر)

Table 1- Soil chemical characteristics before planting time (0-30 cm depth)

شن	سیلت	رس	پتاسیم	فسفر	نیتروژن کل	اسیدیته
Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	K (mg.kg ⁻¹)	P (mg.kg ⁻¹)	Total N (%)	pH
28.6	40	4.31	132	21.2	0.08	7.14

بین تیمارهای آزمایش سه متر فاصله در نظر گرفته شد. کائولین فرآوری شده (wp) حاوی سیلیکات آلومینیوم با pH کمتر از ۱۰ میکرون از شرکت کیمیا سبزآور تهیه شد. به‌منظور ایجاد غلظت‌های مورد نظر در آزمایش، پودر کائولین به‌میزان مورد نظر توسط ترازو وزن شد. سپس به‌طور جداگانه، پودر به همراه دو لیتر آب درون سمپاش پستی ریخته و به‌خوبی مخلوط گردید. برای جلوگیری از ته‌نشین شدن آن، در طول محلول‌پاشی از سمپاش دارای همزن استفاده شد. جهت تأمین نیاز آبی کلزا، هر هفته یک‌بار آبیاری به‌صورت کرتی

شرایط و فاکتورهای آزمایش

آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام گردید. فاکتورهای آزمایش شامل محلول‌پاشی با غلظت‌های مختلف کائولین در چهار سطح (صفر، ۳، ۶ و ۹ درصد) و مراحل فنولوژیکی گیاه کلزا در چهار سطح (سبز شدن، رزت، غنچه‌دهی و گل‌دهی) بود. در نهایت، ۶۴ کرت آزمایشی در نظر گرفته شد. در هر کرت هفت ردیف شش متری با فاصله ۴۰ سانتی-متر از یکدیگر قرار داشت. بین تکرارهای مختلف آزمایش چهار متر و

آلودگی طبیعی انجام شد و به‌طور دستی هیچ‌یک از حشرات به تیمارها جهت آلوده‌سازی اضافه نشد.

تجزیه و تحلیل آماری

در این بررسی تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌کمک نرم‌افزار آماری SAS 9.4 (SAS Institute Inc, 2013) انجام شد و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار آماری Design Expert 10 ترسیم گردید.

نتایج و بحث

در این بررسی اثر محلول‌پاشی با کائولین بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و وزن هزار دانه گیاه کلزا اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده از این بررسی با سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود.

مقایسه میزان تأثیر تیمارها بر عملکرد دانه

طبق تجزیه و تحلیل‌های آماری انجام گرفته و بر اساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) میزان تأثیر هر یک از فاکتورها تعیین گردید. طبق جدول ANOVA فاکتورهای غلظت کائولین و مراحل فنولوژیکی مختلف گیاه اثر معنی‌داری بر میزان عملکرد دانه کلزا داشتند.

در این بررسی بیش‌ترین میزان عملکرد دانه هنگام استفاده از غلظت شش درصد کائولین در مرحله رزت مشاهده شد. در این مطالعه اثر متقابل غلظت کائولین و مراحل فنولوژیکی گیاه معنی‌دار بود که در شکل ۱ نمایش داده شده است. در مرحله گل‌دهی افزایش میزان غلظت کائولین باعث کاهش میزان عملکرد دانه می‌شود، به‌طوری‌که کم‌ترین میزان عملکرد هنگام استفاده از غلظت نه درصد در مرحله گل‌دهی با متوسط ۶۵۶/۱۷ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید. اما در سایر مراحل رشدی افزایش غلظت باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود که بیش‌ترین آن نیز در مرحله رزت با متوسط ۱۸۸۸/۸۷ کیلوگرم در هکتار مشاهده می‌شود (شکل ۱).

مقایسه میزان تأثیر تیمارها بر روی عملکرد بیولوژیک

طبق تجزیه و تحلیل‌های آماری انجام گرفته و بر اساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) فاکتورهای غلظت کائولین و مراحل فنولوژیکی مختلف گیاه اثر معنی‌داری بر میزان عملکرد بیولوژیک

انجام شد. در طول فصل رشد هیچ‌گونه علف‌کشی در مزرعه آزمایشی استفاده نشد و علف‌های هرز به‌صورت مستمر با دست وجین شدند. پس از خشک شدن دانه‌های کلزا و زرد شدن مزرعه در تاریخ ۱۰ تیر ماه برداشت انجام شد.

اندازه‌گیری میزان عملکرد

جهت تعیین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک (خشک) بعد از حذف اثر حاشیه‌ای از هر کرت چهار مترمربع برداشت گردید. غلاف‌ها به‌مدت یک هفته در هوای آزاد قرار داده شدند تا خشک شده و رطوبت آن‌ها به ۱۲ درصد برسد. سپس دانه‌ها به‌روش دستی از غلاف جدا شدند. دانه‌های برداشت شده هر کرت به‌طور جداگانه توزین و داده‌ها به هکتار تعمیم داده شده و عملکرد کل دانه محاسبه گردید. به‌منظور تعیین وزن هزار دانه، نمونه ۱۰۰ تایی از هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و وزن آن‌ها محاسبه گردید. سپس میانگین آن‌ها در عدد ۱۰ ضرب شد و وزن هزار دانه به‌دست آمد. در این بررسی همچنین شاخص برداشت نیز اندازه‌گیری گردید. جهت محاسبه شاخص برداشت از نسبت عملکرد دانه به عملکرد اقتصادی استفاده شد.

نمونه‌برداری از جمعیت آفت و دشمن طبیعی

جهت بررسی تأثیر کائولین بر جمعیت آفت و دشمنان طبیعی نمونه‌برداری‌های متعدد از آفت غالب و دشمنان طبیعی آن انجام گرفت. شناسایی نمونه‌ها با استفاده از کلید شناسایی بورر (Borror, 1989) انجام شد. نمونه‌برداری با استفاده از روش موسوی انزایی و همکاران (Mousavi Anzabi et al., 2009) و بهمنی و همکاران (Bahmani et al., 2012) با کمی تغییر از ردیف‌های میانی و با فاصله مناسب از حاشیه کرت انجام شد. در هر بار نمونه‌برداری از سطح مزرعه، با توجه به مرحله فنولوژیکی گیاه، ۱۵ بوته (به‌شرط آن که به آن مرحله فنولوژیکی مورد نظر رسیده باشند) انتخاب و علامت‌گذاری شدند. سپس یک روز قبل از اعمال تیمارها و از روز سوم بعد از اعمال تیمارها هر هفته یک بار نمونه‌برداری از حشرات مورد نظر در تمام اندام‌های هوایی گیاه اعم از برگ، ساقه و ... انجام و در جداول مربوطه ثبت شد، به‌طوری‌که آخرین نمونه‌برداری یک هفته قبل از برداشت انجام گرفت. از میانگین داده‌ها برای آنالیز استفاده گردید. برای تطبیق با شرایط مزرعه، این تحقیق در شرایط

به طوری که بیشترین عملکرد بیولوژیک کلزا هنگام استفاده از غلظت شش درصد کائولین و در مرحله رزت با متوسط ۳۰۳۸ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. غلظت‌های بالاتر از شش درصد کائولین میزان عملکرد بیولوژیک را کاهش داد و در مرحله رزت استفاده از غلظت نه درصد کائولین میزان عملکرد بیولوژیک را به طور معنی‌داری با متوسط ۲۸۴۵/۲۷ کیلوگرم در هکتار کاهش داد (شکل ۲).

در این بررسی اثر متقابل غلظت کائولین و مراحل فنولوژیکی گیاه نیز معنی‌دار بود که در شکل ۲ نمایش داده شده است. افزایش غلظت کائولین در مراحل غنچه‌دهی و گل‌دهی تأثیری بر عملکرد بیولوژیک کلزا نداشته و تفاوت معنی‌داری ایجاد نکرد. اما در سایر مراحل رشدی افزایش غلظت تا شش درصد باعث افزایش عملکرد بیولوژیک شد،

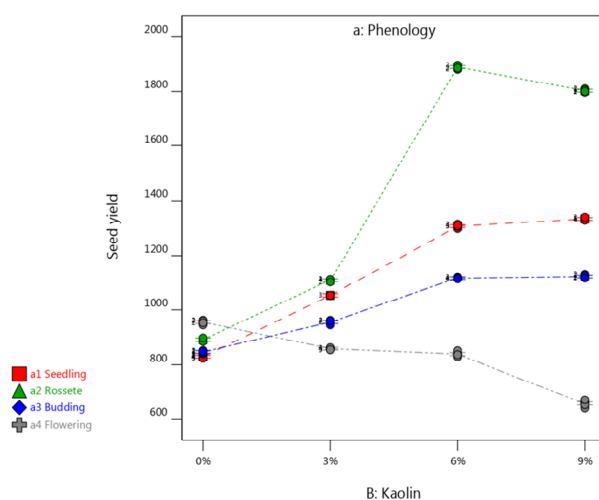
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس عملکرد گیاه کلزا هنگام استفاده از کائولین

Table 3- Analysis of variance of canola yield when using kaolin

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean squares							
		عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	وزن هزار دانه	شته مومی کلم	کفشدوزک	کفشدوزک هفت نقطه	بالتوری سبز
		Seed yield	Biological yield	Harvest index	1000-seed weight	<i>B. brassicae</i>	<i>H. variegata</i>	<i>C. septempunctata</i>	<i>C. carnea</i>
تکرار Replication (R)	3	714.243 ^{ns}	8286.581 ^{ns}	9.327219 ^{ns}	0.01135573 ^{ns}	7.8542 ^{ns}	0/9375000 ^{ns}	1.7083333 ^{ns}	0.1875000 ^{ns}
غلظت کائولین Kaolin concentration (a)	3	993968.544**	1414409.239**	317.449277**	3.74174740**	107456.1875**	6.1875000 ^{ns}	13.3750000**	20.3541667**
مرحله رشدی گیاه Plant growth stage (b)	3	593790.028**	1061233.654**	66.237706**	1.64272240**	3057.2292**	55.6875000**	36.7916667**	88.8541667**
a × b	9	252590.179**	460996.670**	184.358483**	0.84783767**	3796.6319**	5.3125000 ^{ns}	6.7777778**	17.5902778**
خطا Error	45	528.112	10406.97	11.671610	0.01213128	22.6986**	2.5375000	1.5416667**	2.78750000

ns و **: به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد هستند.

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

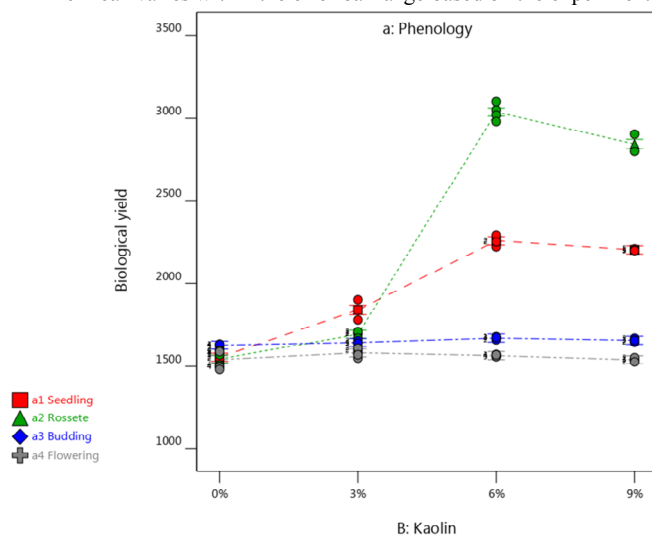


شکل ۱- اثر متقابل غلظت کائولین و مراحل فنولوژیکی گیاه بر عملکرد دانه کلزا

Fig. 1- Interaction between kaolin concentration and phenological stages on canola seed yield (kg.ha⁻¹)

میانگین بر اساس خطای آزمایش در محدوده خط نشان‌دار تغییرات دارد.

The mean varies within the error bar range based on the experimental error.

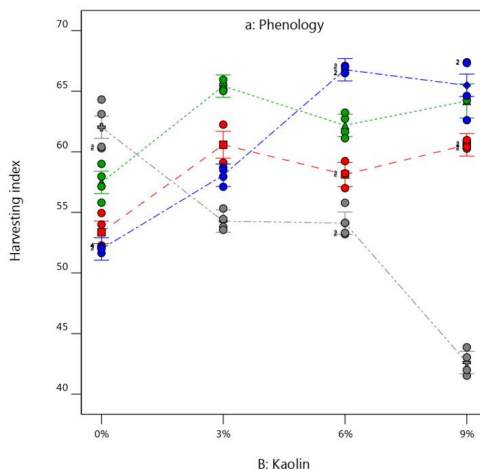


شکل ۲- اثر متقابل غلظت کائولین و مراحل فنولوژیکی گیاه بر عملکرد بیولوژیک کلزا
Fig. 2- Interaction between kaolin concentration and phenological stages on canola biological yield (kg.ha⁻¹)
 میانگین بر اساس خطای آزمایش در محدوده خط نشان‌دار تغییرات دارد.

The mean varies within the error bar range based on the experimental error.

تجزیه واریانس (جدول ۲) فاکتورهای غلظت کائولین و مراحل فنولوژیکی مختلف گیاه اثر معنی‌داری بر میزان شاخص برداشت داشتند.

مقایسه میزان تأثیر تیمارها بر شاخص برداشت
 طبق تجزیه و تحلیل‌های آماری انجام گرفته و بر اساس جدول

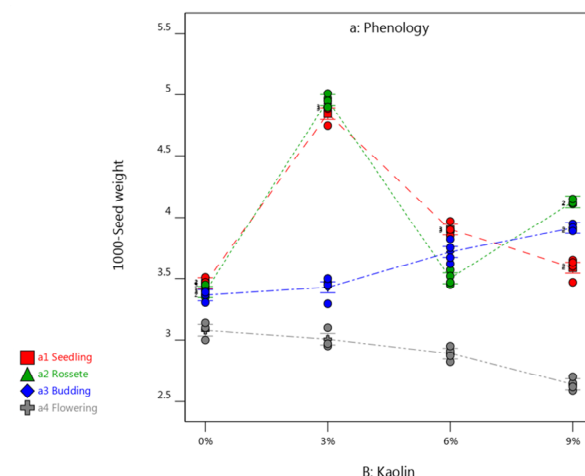


شکل ۳- اثر متقابل غلظت کائولین و مراحل فنولوژیکی گیاه بر شاخص برداشت کلزا
Fig. 3- Interaction between kaolin concentration and phenological stages on canola harvest index
 میانگین بر اساس خطای آزمایش در محدوده خط نشان‌دار تغییرات دارد.
 The mean varies within the error bar range based on the experimental error.

اثر متقابل غلظت کائولین و مراحل فنولوژیکی گیاه نیز بر شاخص برداشت کلزا اثر معنی‌داری داشت. در این بررسی کم‌ترین میزان

مقایسه میزان تأثیر تیمارها بر وزن هزار دانه کلزا
طبق تجزیه و تحلیل‌های آماری انجام گرفته و بر اساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) فاکتورهای غلظت کائولین و مراحل فنولوژیکی مختلف گیاه اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه کلزا داشتند.

شاخص برداشت کلزا هنگام استفاده از غلظت نه درصد کائولین در مرحله گل‌دهی با متوسط ۴۲/۶ درصد مشاهده شد، در حالی که بیش‌ترین میزان شاخص برداشت هنگام استفاده از غلظت شش درصد کائولین در مرحله غنچه‌دهی با متوسط ۶۶/۷۷ درصد مشاهده شد که البته این میزان با غلظت سه درصد کائولین در مرحله رزت با متوسط ۶۵/۴۱ درصد تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۳).



شکل ۴- اثر متقابل غلظت کائولین و مراحل فنولوژیکی گیاه بر وزن هزار دانه کلزا

Fig. 4- Interaction between kaolin concentration and phenological stages on canola 1000-seed weight

میانگین بر اساس خطای آزمایش در محدوده خط نشان‌دار تغییرات دارد.

The mean varies within the error bar range based on the experimental error.

که با مرحله سبز شدن نیز تفاوت معنی‌داری نداشت. در این مطالعه اثر متقابل غلظت کائولین و مراحل فنولوژیکی گیاه نیز معنی‌دار بود که در شکل ۴ نمایش داده شده است. در صورت استفاده از کائولین صفر و سه درصد در مراحل سبز شدن و رزت تفاوت معنی‌داری در میزان وزن هزار دانه مشاهده نشد، اما در سایر مراحل رشدی تفاوت‌ها معنی‌دار بود.

کاربرد کائولین در روی گیاهان زراعی باعث افزایش کارایی مصرف آب، کاهش یک الی شش دمای برگ و افزایش فتوسنتز تحت شرایط تنش آبی شده مفتاح و ال هومیل (Moftah & Al-Humail, 2005) و باعث افزایش رشد گیاه و در نتیجه، شاخص‌های زراعی می‌شود.

نتایج بررسی‌های انجام شده روی گندم نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان عملکرد دانه در غلظت ۳/۷۵ در ۱۰ اردیبهشت و بیش‌ترین مقدار عملکرد بیولوژیک در غلظت ۱/۲۵ در اول خرداد بوده

غلظت‌های مختلف کائولین در مراحل مختلف تأثیرات متفاوتی روی وزن هزار دانه کلزا داشتند، به‌طوری‌که در صورت استفاده از غلظت صفر درصد تفاوت معنی‌داری تا مرحله سبز شدن مشاهده نشد. اما در صورت استفاده از این غلظت در مرحله گل‌دهی، وزن هزار دانه کاهش می‌یابد. هنگام استفاده از غلظت سه درصد کائولین تفاوت معنی‌داری بین مراحل سبز شدن و رزت مشاهده نشد، اما بیش‌ترین وزن هزار دانه در مرحله رزت و کم‌ترین آن در مرحله گل‌دهی بود. بیش‌ترین میزان وزن هزار دانه هنگام استفاده از غلظت شش درصد کائولین و در مرحله سبز شدن با متوسط ۳/۹۰ گرم و کم‌ترین آن مربوط به مرحله گل‌دهی با متوسط ۲/۹۱ گرم بود. در شرایط استفاده از کائولین نه درصد نیز بیش‌ترین میزان وزن هزار دانه در صورت استفاده از کائولین در مرحله رزت دیده شد. به‌طور کلی، در این آزمایش بیش‌ترین میزان وزن هزار دانه کلزا هنگام استفاده از غلظت سه درصد کائولین در مرحله رزت با متوسط ۴/۹۵ گرم مشاهده شد

کاتولین باعث کاهش میزان عملکرد دانه می‌شود، همچنین ناطقی و همکاران (Nateghi et al., 2014) عنوان کرده‌اند که هر چه غلظت کاتولین بالاتر می‌رود، میزان بیوماس کاهش پیدا می‌کند. بنابراین، به نظر می‌رسد که اگر غلظت کاتولین از یک میزان بالاتر رود و یا در مرحله‌ای خاص استفاده شود، روی فتوسنتز و حتی گرده‌افشانی تأثیر گذاشته و باعث کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک شود. گرده افشانی در کلزا به میزان خیلی زیادی وابسته به حشراتی مانند زنبور عسل است. زمانی که کاتولین در مرحله گل‌دهی استفاده شود روی گل‌ها با کاتولین پوشانده می‌شود و گرده افشانی به صورت ناقص رخ می‌دهد و این خود باعث کاهش عملکرد دانه خواهد شد. نتایج تحقیق روی گندم نشان داد که استفاده از کاتولین بر شاخص سطح برداشت و وزن هزار دانه تأثیر مثبت گذاشته و باعث افزایش آن‌ها می‌شود (Nateghi et al., 2014). بررسی‌ها روی گلرنگ نیز نشان داد که کاتولین باعث افزایش وزن هزار دانه می‌شود و همچنین وزن برگ و طبق را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (Toryourian et al., 2018).

جمعیت آفت و دشمن طبیعی

جهت بررسی تأثیر کاتولین بر جمعیت آفت و دشمنان طبیعی نمونه‌برداری از شته *Brevicoryne brassicae* L. به عنوان آفت غالب و دشمنان طبیعی آن شامل کفشدوزک‌های *Coccinella septempunctata* L. و *Hippodamia variegata* Goeze و لارو بالتوری *Chrysoperla carnea* Stephens. انجام گرفت (جدول ۳).

است (Nateghi et al., 2014). تنش خشکی باعث کاهش اندازه گیاه، تغییر رنگ برگ‌ها، کم شدن دوام سطح برگ‌ها، کاهش ماده خشک تولید شده، کاهش فتوسنتز جاری گیاه و در نهایت، باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود (Kumar, 2000). نتایج بررسی‌های توربوریان و همکاران (Toryourian et al., 2018) نشان داد که با توجه به نقش کاتولین در کاهش دمای کانوپی و کاهش تعرق این ماده می‌تواند با افزایش تعداد دانه در طبق و وزن طبق باعث افزایش عملکرد دانه در گیاه گلرنگ شود. مشخص شده است که استفاده از کاتولین تعریق را کاهش و ذخیره آب گیاه را به مدت طولانی‌تری حفظ می‌کند (Samadi & Faramarzi, 2014). همچنین گزارش رنجیتا و همکاران (Ranjita et al., 2007) نشان داد که در صورت استفاده از کاتولین تعداد سنبله در گندم افزایش می‌یابد که این خود باعث افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک می‌شود. همچنین نتایج تحقیق ناطقی و همکاران (Nateghi et al., 2014) نیز نشان‌دهنده افزایش تعداد سنبله در گیاه گندم در صورت استفاده از کاتولین بود.

تحقیقات نشان داده که کاتولین بر عملکرد بیولوژیک گیاهان مختلف از جمله ذرت (Yadav & Kumar, 1998) و گندم (Gaballah & Moursy, 2004) مثبت بوده و باعث افزایش آن می‌شود. نتایج تحقیقات ناطقی و همکاران (Nateghi et al., 2014) روی گندم نشان داد که بالاترین عملکرد بیولوژیک با ۱۷۹۰ کیلوگرم در هکتار در غلظت پنج درصد کاتولین به دست خواهد آمد. طبق نتایج به دست آمده از این تحقیق، در مرحله گل‌دهی افزایش میزان غلظت

جدول ۳- حشرات مشاهده شده در این آزمایش

Table 3- Observed insects in this experiment

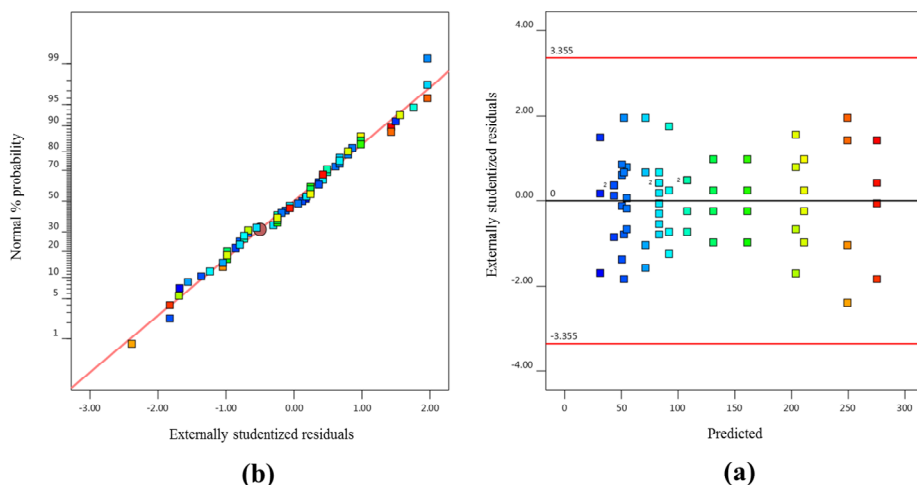
گونه Species	خانواده Family	راسته Order	نوع حشره Insect type
<i>Brevicoryne brassicae</i> L.	Aphididae	Homoptera	آفت Pest
<i>Coccinella septempunctata</i> L.	Coccinellidae	Coleoptera	دشمن طبیعی Natural enemy
<i>Hippodamia variegata</i> Goeze	Coccinellidae	Coleoptera	دشمن طبیعی Natural enemy
<i>Chrysoperla carnea</i> Stephens	Chrysopidae	Neuroptera	دشمن طبیعی Natural enemy

خطاها به علت مشاهده نشدن یک روند خاص، هم‌وارپانس‌اند. این نمودار نشان می‌دهد که پراکندگی داده‌ها از توزیع خاصی تبعیت

مقایسه میزان تأثیر تیمارها روی جمعیت شته *B. brassicae*
میزان جمعیت شته در نمودار الف شکل ۵ نشان داده شده است،

همچنین بر اساس نتایج به‌دست آمده در این بررسی مقدار بالای R^2 و نزدیک بودن آن به R^2_{adj} ، هم‌وارپانس بودن خطاها و نرمال بودن باقیمانده‌ها بیانگر قدرت بالای مدل در پیش‌بینی می‌باشد.

نکرده و در محدوده قابل قبول قرار دارند (نمودار الف و شکل ۵). همچنین بر اساس نمودار ب شکل ۵ باقیمانده‌ها در امتداد یک خط قرار دارند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که داده‌ها نرمال می‌باشند.



شکل ۵- پراکنش خطای مشاهده شده و خطای پیش‌بینی شده باقیمانده (a) روند تغییرات باقیمانده‌ها (b) در جمعیت شته *B. brassicae*
Fig. 5- Distribution of observed error and residual predicted error (a) The residual changes (b) in *B. brassicae* population

دورکننده عمل کرده و توانایی تشخیص و درک گیاهان میزبان را توسط حشره کاهش داده و همچنین مانع حرکت حشره شود (Puterka et al., 2003, 2005; Wyss & Daniel, 2004; Glenn & Puterka, 2005; Sackett et al., 2007; Barker et al., 2006). نتایج بررسی‌ها نشان داد که استفاده از کائولین می‌تواند باعث کاهش جمعیت آفت شود که با نتایج گلن و همکاران (Glenn et al., 1999) در مورد شته *A. spiraecola*، کلودیا و ویس (Claudia & Wyss, 2004) و پوترکا و همکاران (Puterka et al., 2005) در مورد پسیل گلابی مطابقت دارد. نتایج بررسی‌های دیگر نشان داد که کائولین روی پسیل آسیایی مرکبات مؤثر بوده، بنابراین، محلول‌پاشی درختان مرکبات با کائولین فرآوری شده با غلظت پنج درصد می‌تواند خسارت این آفت را کاهش دهد (Mohamadipour & Naseri, 2018). همچنین کیهانیان و عباسی مؤدهی (Keyhanian & Abbassi Mojdehi, 2018) در بررسی‌های خود دریافتند که کائولین پنج درصد می‌تواند باعث کاهش جمعیت پوره-های پسیل زیتون، که مرحله اصلی خسارت‌زنی آفت می‌باشد، شود. نکته قابل توجه در این تحقیق آن است که استفاده از کائولین در مرحله گل‌دهی باعث افزایش میزان شته‌ها شد که از جمله دلایل آن

طبق تجزیه و تحلیل‌های آماری انجام گرفته و بر اساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) فاکتورهای غلظت کائولین و مراحل فنولوژیکی مختلف گیاه اثر معنی‌داری روی جمعیت شته مومی کلزا داشتند. همچنین اثر متقابل غلظت کائولین و مراحل فنولوژیکی گیاه نیز روی جمعیت این آفت معنی‌دار بود. افزایش غلظت کائولین در مرحله گل‌دهی باعث افزایش جمعیت شته می‌شد، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان جمعیت شته در مرحله گل‌دهی و هنگام استفاده از غلظت نه درصد کائولین با متوسط ۲۷۵/۲۵ شته مشاهده گردید. در این مرحله غلظت سه درصد کائولین تفاوت معنی‌داری با شاهد ایجاد نکرد. در سایر مراحل رشدی کلزا افزایش غلظت کائولین باعث کاهش جمعیت شته مومی کلزا گردید، اما در هیچ یک از مراحل رشدی گیاه غلظت‌های شش درصد و نه درصد تفاوت معنی‌داری در جمعیت شته ایجاد نکردند. در این بررسی کم‌ترین میزان جمعیت شته با متوسط ۳۱/۳۳ شته در مرحله سبز شدن کلزا هنگام استفاده از غلظت نه درصد کائولین مشاهده شد (شکل ۶).

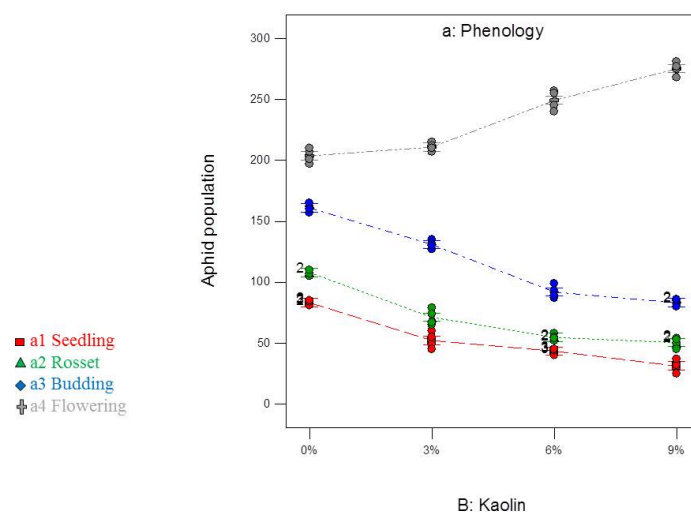
کائولین یک ترکیب مطمئن و مناسب جهت برنامه IPM می‌باشد و استفاده از آن می‌تواند کنترل بسیاری از آفات و بیماری‌ها را تسهیل کند (Glenn & Puterka, 2005). کائولین می‌تواند به‌عنوان یک

گیاه نیز روی جمعیت *C. septempunctata* معنی دار بود. افزایش غلظت کائولین در مراحل رشدی مختلف گیاه باعث کاهش جمعیت کفشدوزک هفت نقطه گردید. بیشترین میزان این کاهش در مرحله گل‌دهی مشاهده گردید. در همه مراحل رشدی گیاه غلظت‌های شش درصد و نه درصد تفاوت معنی‌داری در جمعیت *C. septempunctata* ایجاد نکرد. بیشترین میزان جمعیت این دشمن طبیعی با متوسط ۷/۵ حشره در مرحله گل‌دهی و در صورت آب‌پاشی مشاهده گردید. کمترین این میزان هم در مرحله گل‌دهی و هنگام استفاده از غلظت نه درصد کائولین با متوسط ۰/۵ حشره مشاهده گردید که البته تفاوت معنی‌داری با این غلظت در مرحله سبز شدن کلزا نداشت (شکل ۷).

می‌توان به کاهش شدید جمعیت دشمنان طبیعی اشاره کرد که با نتایج شولر و آرمسترانگ (2007, Showler & Armstrong) و مارکو و همکاران (2008, Marko et al.) مطابقت دارد.

مقایسه میزان تأثیر تیمارها روی جمعیت کفشدوزک هفت نقطه‌ای

طبق تجزیه و تحلیل‌های آماری انجام گرفته و بر اساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) فاکتورهای غلظت کائولین و مراحل فنولوژیکی مختلف گیاه اثر معنی‌داری روی جمعیت کفشدوزک هفت نقطه داشتند. همچنین اثر متقابل غلظت کائولین و مراحل فنولوژیکی



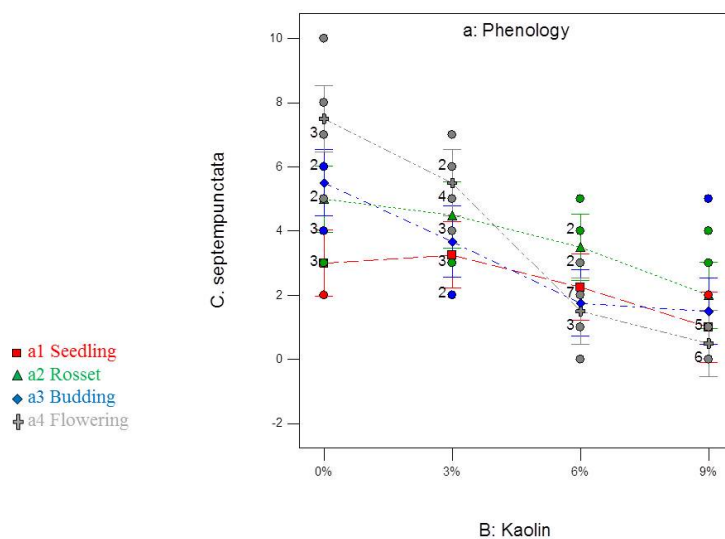
شکل ۶- اثر متقابل غلظت کائولین و مراحل فنولوژیکی گیاه روی جمعیت شته مومی کلزا *B. brassicae*
 Fig. 6- Interaction between kaolin concentration and phenological stages on cabbage aphid, *B. brassicae* population
 میانگین بر اساس خطای آزمایش در محدوده خط نشان‌دار تغییرات دارد.

The mean varies within the error bar range based on the experimental error.

در سایر مراحل رشدی، افزایش غلظت باعث کاهش جمعیت *H. variegata* شد. در مرحله سبز شدن غلظت کائولین اثر معنی‌داری در جمعیت این دشمن طبیعی ایجاد نکرد. در مراحل رزت و غنچه‌دهی نیز غلظت‌های سه درصد و شش درصد و شش درصد و نه درصد کائولین تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. در این بررسی بیشترین جمعیت کفشدوزک *H. variegata* در مرحله گل‌دهی و در شاهد با متوسط جمعیت ۸/۲۵ حشره و کمترین آن در تیمار نه درصد کائولین در مرحله گل‌دهی با متوسط ۱/۵ حشره مشاهده گردید که البته تفاوت معنی‌داری با سایر مراحل کلزا نداشت (شکل ۸).

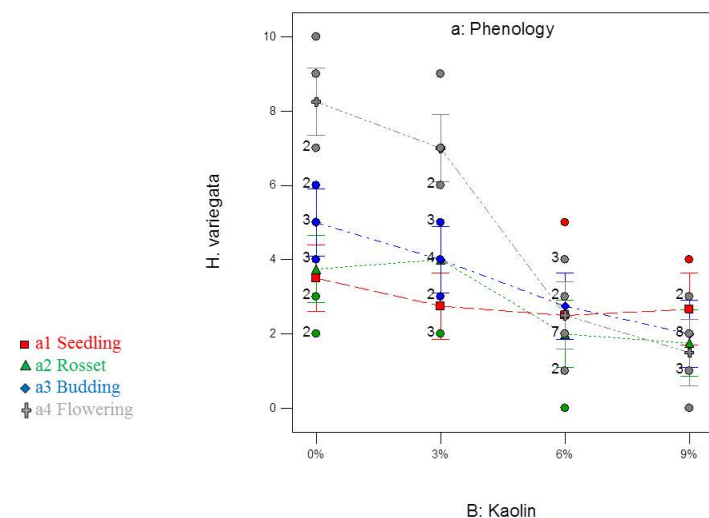
مقایسه میزان تأثیر تیمارها روی جمعیت کفشدوزک *H. variegata*

طبق تجزیه و تحلیل‌های آماری انجام گرفته و بر اساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) فاکتورهای غلظت کائولین و مراحل فنولوژیکی مختلف گیاه اثر معنی‌داری روی جمعیت کفشدوزک *H. variegata* داشتند. همچنین اثر متقابل غلظت کائولین و مراحل فنولوژیکی گیاه نیز روی جمعیت *H. variegata* معنی‌دار بود. افزایش غلظت کائولین در مرحله رزت با افزایش غلظت کائولین تا سه درصد باعث افزایش جمعیت این کفشدوزک گردید، اما پس از آن و



شکل ۷- اثر متقابل غلظت کائولین و مراحل فنولوژیکی گیاه روی جمعیت کفشدوزک هفت نقطه *C. septempunctata*
 Fig. 7- Interaction between kaolin concentration and phenological stages on seven-spotted ladybeetle, *C. septempunctata* population

میانگین بر اساس خطای آزمایش در محدوده خط نشان‌دار تغییرات دارد.
 The mean varies within the error bar range based on the experimental error.



شکل ۸- اثر متقابل غلظت کائولین و مراحل فنولوژیکی گیاه روی جمعیت کفشدوزک *H. variegata*
 Fig. 8- Interaction between kaolin concentration and phenological stages on ladybeetle *H. variegata* population

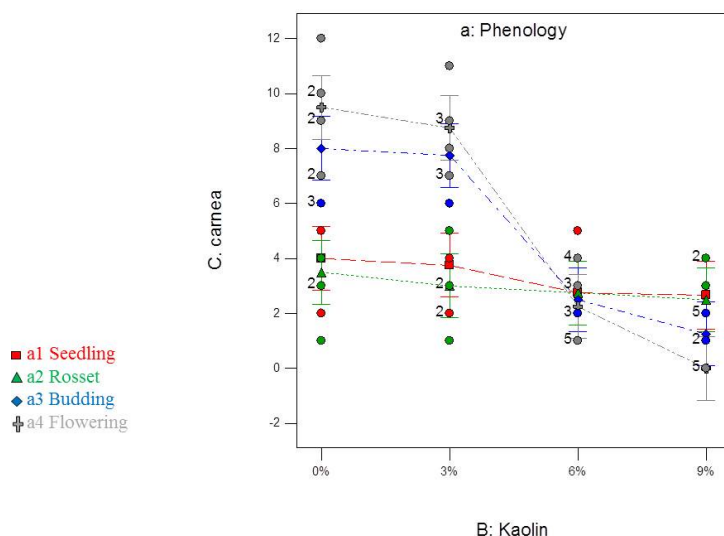
میانگین بر اساس خطای آزمایش در محدوده خط نشان‌دار تغییرات دارد.
 The mean varies within the error bar range based on the experimental error.

طبق تجزیه و تحلیل‌های آماری انجام گرفته و بر اساس جدول
 تجزیه واریانس (جدول ۲) فاکتورهای غلظت کائولین و مراحل

مقایسه میزان تأثیر تیمارها روی جمعیت لارو بالتوری
 سبز

داری بین تیمارهای با غلظت شش درصد و نه درصد کائولین مشاهده نشد. در این بررسی نیز بیشترین میزان جمعیت بالتوری سبز در شاهد و در مرحله گل‌دهی با متوسط ۹/۵ لارو بود که البته با غلظت سه درصد کائولین و تیمارهای مرحله غنچه‌دهی تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین کمترین جمعیت بالتوری سبز در مرحله گل‌دهی و غلظت نه درصد کائولین با متوسط جمعیت صفر مشاهده شد که با تیمار مرحله غنچه‌دهی نیز تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۹).

فنولوژیکی مختلف گیاه اثر معنی‌داری روی جمعیت بالتوری *C. carnea* داشتند. همچنین اثر متقابل غلظت کائولین و مراحل فنولوژیکی گیاه نیز روی جمعیت *C. carnea* معنی‌دار بود. افزایش غلظت کائولین در مرحله سبز شدن و رزت هر چند که تا حدی باعث کاهش جمعیت بالتوری سبز گردید، اما اثر معنی‌داری روی جمعیت آن نداشت. اما در مراحل غنچه‌دهی و گل‌دهی افزایش غلظت کائولین باعث کاهش جمعیت *C. carnea* شد. در این دو مرحله تفاوت معنی-



شکل ۹- اثر متقابل غلظت کائولین و مراحل فنولوژیکی گیاه روی جمعیت بالتوری *C. carnea*
 Fig. 9- Interaction between kaolin concentration and phenological stages on ladybird, *C. carnea* population

میانگین بر اساس خطای آزمایش در محدوده خط نشان‌دار تغییرات دارد.

The mean varies within the error bar range based on the experimental error.

آلوده باشد. همچنین کائولین می‌تواند با چسبیدن به بدن میزبان از تحرک آن‌ها بکاهد و در نتیجه، میزان دستیابی به منبع غذایی را با محدودیت مواجه سازد.

نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی انجام گرفته به نظر می‌آید که کاربرد کائولین می‌تواند صفات زراعی کلزا از جمله عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص سطح برداشت و وزن هزار دانه را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین، در صورت استفاده از کائولین ابتدا باید به مرحله رشدی گیاه توجه کرده و سپس بر اساس آن اقدام به پاشش کائولین نمود. از طرفی دیگر، بر اساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق به‌جز وزن

به صورت کلی، بررسی‌ها در مورد تأثیر کائولین روی دشمنان طبیعی نشان داد که این ماده می‌تواند در غلظت‌های بالا اثر سوئی بر روی آن‌ها داشته باشد. استفاده از کائولین نه درصد در مرحله گل‌دهی که معمولاً بیشترین جمعیت شکارگرها (به‌علت زیاد بودن شکار- در این تحقیق بیشترین تعداد شته‌ها در شاهد در مرحله گل‌دهی بوده است- و همچنین استفاده حشرات کامل از گرده گل‌ها) وجود دارند باعث کاهش انبوهی جمعیت آن‌ها شده است که با نتایج تحقیقات شولر و ستامو (Showler & Setamou, 2004)، المر و همکاران (Ulmer et al., 2006)، ساکت و همکاران (Sackett et al., 2007) و مارکو و همکاران (Marko et al., 2008) مطابقت دارد. کاهش جمعیت دشمنان طبیعی می‌تواند به‌دلیل تأثیر مستقیم کائولین روی دشمن طبیعی و همچنین تغذیه دشمن طبیعی از شته میزبان

جمعیت دشمنان طبیعی آفت مخصوصاً در مراحل گل‌دهی تأثیرگذار باشد. با توجه به شرایط کلی، می‌توان اظهار داشت که کائولین در غلظت شش درصد می‌تواند با افزایش شاخص‌های زراعی و کاهش جمعیت آفت تأثیر مثبتی بر تولید کلزا در ایران داشته باشد. البته باید به اثر این ماده روی دشمن طبیعی نیز توجه داشته و تحقیقات دیگری نیز در این زمینه انجام شود.

هزار دانه در کلیه موارد، استفاده از غلظت شش درصد کائولین می‌تواند نتایج ثمربخشی را به همراه داشته باشد. اما در صورتی که وزن هزار دانه گیاه مد نظر باشد باید از غلظت سه درصد کائولین استفاده گردد. همچنین کائولین می‌تواند باعث کاهش جمعیت آفت در غلظت‌های شش و نه درصد شود (غلظت شش و نه درصد اختلاف معنی‌داری نداشته و با توجه به شرایط زیست‌محیطی و هزینه‌ای غلظت شش درصد توصیه می‌شود). علاوه بر این کائولین توانسته روی

References

- Anonymous., 2018. Agricultural Statistics. Ministry of Agriculture-Jihad, Deputy of Planning and Economics of ICT Center, First volume, Crops. (In Persian)
- Asadi, E., and Faraji, A., 2009. Applied Principles of Oil Seeds Agronomy (Soybean, Cotton, Canola and Sunflower). Agricultural Science of Iran publications. Tehran, Iran. (In Persian)
- Bahmani, S., Keyhanian, A.A., and Farazmand, H., 2012. The Effect of pyriproxyfen, hexaflumuron and flufenoxuron on the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* L. (Hem., Aphididae), in canola field. Journal of Entomological Research 2: 133-141.
- Barker, J.E., Fulton, A., Evans, K.A., and Powell, G., 2006. The effects of kaolin particle film on *Plutella xylostella* behaviour and development. Pest Management Science 62: 498-504.
- Banuelos, G.S., Bryla, D.R., and Cook, C.G., 2002. Vegetative production of kenaf and canola under irrigation in central California. Industrial Crops and Products 15: 237-245.
- Bengochea, P., Hernando, S., Saelices, R., Adán, A., Budia, F., González-Núñez, M., Viñuela E., and Medina, P., 2010. Side effects of kaolin on natural enemies found on olive crops. Pesticides and Beneficial Organisms IOBC/wprs Bulletin 55: 61-67.
- Borror, D.J., Triplehorn, C.A., and Johnson, N.F., 1989. An introduction to study of Insects, Sixth Edition. Philadelphia: Saunders College Publication.
- Burne, L., Moallemi, N., and Mortazavi, S.M.H., 2011. Anti-Transpiration effect of kaolin on some physiological traits of four olive cultivars. Journal of Crop Production and Processing 1: 11-23. (In Persian with English Summary)
- Cantore, V., Pace, B., and Albrizio, R., 2009. Kaolin-based particle film technology affects tomato physiology, yield and quality. Environmental and Experimental Botany 66: 279-288.
- Claudia, D., and Wyss, E., 2004. Efficacy of different insecticides and a repellent against the European pear sucker (*Cacopsylla pyri*). 11th International Conference on Cultivation Technique and Phytopathological Problems in Organic Fruit-Growing, Weinsberg, Germany, 3-5 February 2004, p. 35-40.
- Colette, B., Erik, H.P., Greet, S., Roeland, E.V., Marcel, D., and Ben, V., 2008. Responses of *Brassica oleracea* cultivars to infestation by the aphid *Brevicoryne brassicae*: an ecological and molecular approach. Plant, Cell and Environment 31: 1592-1605.
- Ehteshami, S., Sarikhani, H., and Ershadi, A., 2011. Effect of kaolin and gibberellic acid application on some qualitative characteristics and reducing the sunburn in pomegranate fruits (*Punica granatum*) cv. 'Rabab Neiriz'. Plant Production Technology 1(11): 15-24. (In Persian with English Summary)
- Farazmand, H., 2013. Effect of kaolin clay on pomegranate fruits sunburn. Entomology and Phytopathology 80: 173-184. (In Persian with English Summary)
- Fidelis, E.G., Farias, E.S., Lopes, M.C., Sousa, F.F., Zanuncio, J.C., and Picanco, M.C., 2019. Contributions of climate, plant phenology and natural enemy to the seasonal variation of aphids on cabbage. Journal of Applied Entomology 143: 365-370.
- Food and Agriculture Organization (FAO)., 2008. The FAOSTAT Database. Production, yield, harvested area values of rapeseed. Available at Web site www.fao.org (verified 14 April, 2010).
- Gaballah, M.S., and Moursy, M., 2004. Reflectants application for increasing wheat plant tolerance against salt stress. Pakistan Journal of Biological Sciences 7(6): 956-962.
- Glenn, D.M., and Puterka, G.J., 2005. Particle films: A new technology for agriculture. Horticultural Reviews 31: 1-44.
- Glenn, D.M., Cooley, N., Walker, R., Clingeffer, P., and Shellie, K., 2010. Impact of kaolin particle film and water deficit on wine grape water use efficiency and plant water relations. Horticultural Science 45: 1178-1187.
- Glenn, D.M., Prado, E., Erez, A., Mc Ferson, J., and Puterka, G.J., 2002. A reflective, processed-kaolin particle film affects fruit temperature, radiation reflection, and solar injury in apple. Journal of the American Society for

- Horticultural Science 127: 188-193.
- Glenn, D.M., Puterka, G.J., Drake, S.R., Unruh, T.R., Knight, A.L., Baherle, P., Prado, E., and Baugher, T.A., 2001. Particle film application influences apple leaf physiology, fruit yield, and fruit quality. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 126: 175-181.
- Glenn, D.M., Puterka, G.J., Vanderzwet, T., Byers, R.E., and Feldhake, C., 1999. Hydrophobic particle films: a new paradigm for suppression of arthropod pests and plant diseases. *Journal of Economic Entomology* 92: 759-771.
- Hassanzadeh, H., Farazmand, H., Oliaei-Torshiz, A., and Sirjani, M., 2014. Effect of kaolin clay (WP 95%) on oviposition deterency of pistachio psylla (*Agonoscaena pistaciae* Burckharat & Lauterer). *Journal of Pesticides in Plant Protection Sciences* 1: 76-85. (In Persian with English Summary)
- Jahan, F., Abbasipour, H., Askarianzade, A., Hasanshahi, G., and Saeedizadeh, A., 2013. Effect of eight cauliflower cultivars on biological parameters of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassica* (L.) (Hem: Aphididae) in laboratory conditions. *Phytopathology and Plant Protection* 46: 636-642.
- Jifon, J.L., and Syvertsen, J., 2001. Effects of moderate shade on citrus leaf gas exchange, fruit yield, and quality. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 114: 177-181.
- Jifon, J.L., and Syvertsen, J.P., 2003. Kaolin particle film applications can increase photosynthesis and water use efficiency of ruby red' grapefruit leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 128: 107-112.
- Keyhanian, A.A., and Abbasi Mojdehi, M.R., 2018. Evaluation of processed kaolin clay (WP 95%) on reducing the population of olive psylla *Euphyllura straminea* Loginova. (Hem. Psyllidae). *Plant Protection* 41:1-10. (In Persian with English Summary)
- Knight, A.L., Unruh, T.R., Christlanson, B.A., Puterka, G.J., and Glenn, D.M., 2000. Effects of a kaolin-based particle film on obliquebanded leaf roller (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Economic Entomology* 93: 744-749.
- Kumar, H., 2000. Development potential of safflower in comparison to sunflower. *Sesame and Safflower Newsletter*. Institute of sustainable agriculture, Spain 15: 86- 89.
- Marko, V., Blommers, L.H.M., Bogya, S., and Helsen, H., 2008. Kaolin particle films suppress many apple pests, disrupt natural enemies and promote woolly apple aphid. *Journal of Applied Entomology* 135: 26-35.
- Mazor, M., and Erez, A., 2004. Processed kaolin fruits from Mediterranean fruit fly infestations. *Crop Protection* 23: 47-51.
- Mehrnejad, M.R., 2002. Bionomics of the common pistachio psylla, *Agonoscaena pistaciae*, in Iran. *Acta Horticulturae* 591: 535-539.
- Melgarejo, P., Martinez, J., Hernández, F., Martinez-Font, R., Barrows, P., and Erez, A., 2004. Kaolin treatment to reduce pomegranate sunburn. *Scientia Horticulturae* 100: 349-353.
- Moftah, A.E., and Al-Humaid, A.I., 2005. Effects of kaolin and pinolene film-forming photosynthetic rate of cultivated tropical plant (*Polianthes Tuberosa* L.). *Polish Journal of Ecology* 53: 165-175.
- Mohamadipour, A., and Naseri, M., 2018. Study the kaolin powder efficiency in reducing the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hem: Liviidae) population. *Plant Pest Research* 8: 13-24. (In Persian with English Summary)
- Moriana, A., Orgaz, F., Pastor, M., and Fereres, E., 2003. Yield responses of a mature olive orchard to water deficits. *Journal of American Society for Horticultural Science* 128: 425-431.
- Moshiri, A., Farazmand, H., and Vafaeishoushtari, R., 2011. The preliminary study of kaolin on damage reduction of pomegranate fruit moth, *Ectomyelois ceratoniae* (Lep.: Pyralidae) in Garmsar region. *Journal of Entomological Research* 3: 163-171.
- Mousavi Anzabi, S.H., Nouri Ghanbalani, G.H., Shojae, M., Eivazi, A., and Ranji, H., 2009. The comparison of infestation rate of 21 canola genotypes to cabbage aphid (*Brevicoryne brassicae* L.) under field conditions in Uromia region. *Journal of Plant Production* 16: 129-141.
- Nateghi, M., Paknejad, F., and Moarefi, M., 2014. Effect of concentrations and time of kaolin spraying on wheat Aphid. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences* 7: 163-168.
- Pasqualini, E., Civolani, S., and Grappadelli, L.C., 2002. Particle film technology: approach for biorational control of *Cacopsylla pyri* (Rhynchota Psyllidae) in Northern Italy. *Bulletin of Insectology* 55: 39-42.
- Patil, R.P., Chetti, M.B., and Hiremath, S.M., 2009. Influence of agrochemicals on morphophysiological characters, yield and yield components of sugarcane under moisture stress. *Karnataka Journal of Agriculture and Science* 22: 759-761.
- Peng, L., Trumble, J.T., Munyaneza, J.E., and Liu, T.X., 2011. Repellency of a kaolin particle film to potato psyllid, *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Psyllidae), on tomato under laboratory and field conditions. *Pest Management Science* 67: 815-824.
- Puterka, G., Reinke, M., Luvisi, D., Clomperik, M.A., Bartels, D., Wendel, L., and Glenn, D.M., 2003. Particle film, Surround WP, effects on glassy-winged sharpshooter behavior and its utility as a barrier to sharpshooter infestations in grape. *Plant Health Progress*. doi: 10.1094/PHP-2003-0321-01-RS.

- Puterka, G.J., Glenn, D.M., and Pluta, R.C., 2005. Action of particle films on the biology and behavior of pear psylla (Homoptera: Psyllidae). *Journal of Economic Entomology* 98(6): 2079-2088.
- Ranjita, B., Janawade, A.D., and Palled, Y.B., 2007. Effect of irrigation schedule, mulch and anti transpirant on growth, yield and economy of wheat. *Karnataka Journal of Agricultural Science* 20: 6-9.
- Razmjou, J., Jafary, M., and Borzoui, E., 2019. Host plant preference and life table of *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Crop Protection* 8: 201-214.
- Rezvani, A., 2001. Identification Key of Aphid in Iran. Agricultural research education and extention Organization Press, Tehran, Iran. (In Persian)
- Sackett, T., Buddle, C.M., and Vincent, C., 2007. Effects of kaolin on the composition of generalist predator assemblages and parasitism of *Choristoneura rosaceana* (Lep.: Tortricidae) in apple orchards. *Journal of Applied Entomology* 131(7): 478-485.
- Samadi, A., and Faramarzi, A., 2014. Effects of anti-transpiration spraying and irrigation cutting off on yield and yield components of sunflower hybrid of Farrokh as second crop at Miyaneh region, Iran. *Agroecology Journal* 10: 47-59. (In Persian with English Summary)
- Saour, G., 2005. Efficacy of kaolin particle film and selected synthetic insecticides against pistachio psyllid *Agonoscaen targionii* (Homoptera: Psyllidae) infestation. *Crop Protection* 24: 711-717.
- Saour, G., and Makee, H., 2003. A kaolin-based particle film for suppression of the olive fruit fly *Bactrocera oleae* Gmelin (Dip., Tephritidae) in olive groves. *Journal of Applied Entomology* 127: 1-4.
- SAS Institute Inc., 2013. SAS® 9.4 Statements: Reference. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Sattari Nasab, R., Pahlavan Yali, M., and Bozorg-Amirkalaei, M., 2019. Effects of humic acid and plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on induced resistance of canola to *Brevicoryne brassicae* L. *Bulletin of entomological research* 109: 479-489.
- Showler, A., and Armstrong, J.S., 2007. Kaolin particle film associated with increased cotton aphid infestations in cotton. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 124: 55-60.
- Showler, A., and Setamou, M., 2004. Effects of kaolin particle film on selected arthropod populations in cotton in the Lower Rio Grande Valley of Texas. *Southwestern Entomologist* 29: 137-146.
- Toryourian, S., Pasari, B., and Mohammadi, K., 2018. The effect of foliar application of kaolin clay and irrigation cut on the quantitative characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Crop Physiology Journal* 7: 49-63. (In Persian with English Summary)
- Ulmer, B.J., Lapointe, S.L., Peña, J.E., and Duncan, R.E., 2006. Toxicity of pesticides used in citrus to *Aprostocetus vaquitarum* (Hymenoptera: Eulophidae), an egg parasitoid of *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera: Curculionidae). *Florida Entomologist* 89: 10-19.
- Wand, S.J.E., Theron, K.I., Akerman, J., and Marais, S.J.S., 2006. Harvest and post-harvest apple fruit quality following applications of kaolin particle film in South African orchards. *Scientia Horticulturae* 107: 271-276.
- Weerakkody, P., Jobling, J., Infante, M.M.V., and Rogers, G., 2010. The effect of maturity, sunburn and the application of sunscreens on the internal and external qualities of pomegranate fruit grown in Australia. *Scientia Horticulturae* 124: 57-61.
- Wünsche, J., Lombardini, L., and Greer, D., 2004. Surround particle film applications effects on whole canopy physiology of apple. *Acta Horticulturae* 636: 565-571.
- Wyss, E., and Daniel, C., 2004. Effects of autumn kaolin and pyrethrin treatments on the spring population of *Dysaphis plantaginea* in apple orchards. *Journal of Applied Entomology* 128: 147-149.
- Yadav, R.S., and Kumar, A., 1998. Effect of some antitranspirants on water relations, NR-activity and seed yield of Rabi maize (*Zea mays* L.) under limited irrigation. *Indian Journal of Agricultural Research* 32: 57-60.



Influence of Concentration and Time of Kaolin Application on Agronomic Traits, Canola Aphid (*Brevicoryne brassicae* L.) and Its Natural Enemies

M. Moarefi^{1*}, S. Seddigh² and A. Hamrahi³

Submitted: 07-01-2020

Accepted: 21-07-2020

Mindani, F., and Saeedi, M., 2021. Influence of Concentration and time of kaolin application on agronomic traits, canola aphid (*Brevicoryne brassicae* L.) and its Natural Enemies. Journal of Agroecology 12(4):723-740.

Introduction

Canola is one of the most important sources of vegetable oil. It is a valuable oil crop plant the second-highest produced in the world, following soya. In dry farming areas with heavy cereal production, canola becomes crucial as an alternative to cereals. Due to its adaptation to Iran's climate, its cultivation has received much attention. Kaolin is a non-toxic aluminosilicate ($\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$) clay mineral that is used in organic farming as a foliar solution. Kaolin spray reduces leaf temperature through rising leaf reflectance, which decreases the transpiration rate more than the photosynthesis of plants grown at high solar radiation levels. The application of kaolin was reported to protect plants against drought stress. Kaolin efficacy in reducing temperature and mitigating environmental stresses can also affect fruit-quality parameters. Several studies also showed an increase in the yield of different crops after kaolin application, particularly under water stress conditions. It is also used to prevent crop insect damage, plant sunburn, and heat stress. Kaolin does not interfere with the leaf gas exchange by creating a porous coating. According to other research, this substance can change the insects behavior. The kaolin particles stick to the insects' tarsi, reducing their movement ability, feeding and laying eggs. Considering the importance of increasing oil production, in this study, the effect of different concentrations and time of kaolin application on canola aphid and its natural enemies and yield and yield components were examined to determine the best conditions for using kaolin on rapeseed.

Materials and Methods

The field experiment was carried out on Hydra 401 canola variety field in Mahdasht, Karaj, Iran, during 2017-2018. Canola seeds were planted in a depth of 2–3 cm. The first irrigation was done two days after planting, and then irrigation was done seven days apart. Phosphate and urea fertilizer were added to soil as required during the experiment based on the soil test results. The experiment was conducted as a factorial randomized complete block design with four replications and 16 treatments. Experimental factors were kaolin concentration (0, 3, 6, and 9 percent) and the Phenological stages of canola (germination, rosette, budding, and flowering). Field sampling was performed to determine agronomic traits, including seed yield, biological function, harvest index, and 1000-seed weight. Fifteen plants were also selected from each plot. Their pests (*Brevicoryne brassicae* L.) and natural enemies (*Coccinella septempunctata* L., *Hippodamia variegata* Goeze, *Chrysoperla carnea* Stephens.) were sampled. Samplings were performed one day before the treatments, on the third day of treatments, and once a week from insects (pests and natural enemies). This study was conducted under natural contamination conditions to adapt to field conditions. No aphids were manually added to the treatments for infection. Insects were counted and recorded in all areas of the selected plant. Mean data were used for analysis. Data analysis was done using Design Expert 10 software.

1- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Plant Protection, Varamin–Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.

3- M.Sc. Student, Department of Plant Protection, Zanjan University, Zanjan, Iran.

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

Doi:10.22067/jag.v12i4.84982

Results and Discussion

The results showed that kaolin could increase agronomic characteristics in canola. In the current study, the highest seed function, biological function, and harvest index were observed in 6% treatment about 1888.87 kg.ha⁻¹ in the rosette stage, 3038 kg.ha⁻¹ in the rosette stage, 66.77% in the budding stage, respectively. The highest 1000-seed weight was determined in 3% treatment about 3.90% in the rosette stage. Results of kaolin application on cabbage aphids revealed that this mineral could help to reduce the canola aphid population so that the lowest population was observed at the germination stage in 9% treatment with an average of 31.33 aphids. The results also showed that kaolin affects natural enemies and reduces their population.

Conclusion

The results of this study revealed that kaolin affects agronomic characteristics like seed function, biological function, harvest index, and 1000-seed weight. Kaolin was also could control the cabbage aphid population. Kaolin also had adverse effects on the studied natural enemies. It seems that using kaolin at the 6% concentration due to the canola phenological stage can increase the production of this plant in the country.

Keywords: Green lacewing, Harvest index, *Hippodamia variegata*, Seed yield, Seven-spot ladybird



مقاله علمی - پژوهشی

اثر نوع و زمان کاشت گیاه پوششی بر ساختار جمعیت علف‌های هرز و خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)

کوتر خواجه نبی^۱، آسیه سیاهمرگویی^{۲*}، محمدرضا داداشی^۳، پریسا علی‌زاده دهکردی^۴ و ابراهیم زینلی^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۳

خواجه نبی، ک، سیاهمرگویی، آ، داداشی، م، علی‌زاده دهکردی، پ، و ابراهیم زینلی ۱۳۹۹. اثر نوع و زمان کاشت گیاه پوششی بر ساختار جمعیت علف‌های هرز و خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۴): ۷۴۱-۷۶۱.

چکیده

کشت گیاهان پوششی همراه با مدیریت مناسب آن‌ها می‌تواند جایگزین پایداری برای روش‌های معمول کنترل علف‌های هرز باشد. این گیاهان علاوه بر اثرات مطلوب در کنترل علف‌های هرز، باعث افزایش ماده آلی، بهبود ساختمان، افزایش ظرفیت نگهداری آب، کنترل بیماری‌های خاک‌زاد، کاهش فرسایش خاک و افزایش عملکرد محصول می‌شوند. به منظور مطالعه تأثیر بهترین زمان کاشت گیاهان پوششی مختلف بر کنترل علف‌های هرز در آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) آزمایشی دو ساله در مزرعه‌ای واقع در شهرستان گلوگاه- استان مازندران به صورت طرح اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ و ۱۳۹۶-۹۷ اجرا شد. در این آزمایش زمان کاشت گیاه پوششی در کرت اصلی و نوع گیاه پوششی در کرت فرعی قرار گرفتند. تیمارهای آزمایشی شامل گیاهان پوششی (گندم (*Triticum aestivum* L.)، جو (*Hordeum vulgare* L.)، شبدر برسيم (*Trifolium alexandrinum* L.) و ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.) و زمان‌های مختلف کاشت (کاشت گیاهان پوششی دو ماه قبل، هم‌زمان و دو هفته بعد از کاشت آفتابگردان) در نظر گرفته شد. همچنین دو تیمار بدون گیاه پوششی، با وجین و بدون وجین علف‌هرز به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. فواصل بین ردیف و روی ردیف آفتابگردان به ترتیب ۶۰ و ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و کشت گیاهان پوششی در بین فواصل بین ردیف آفتابگردان به صورت متراکم در سه برابر تراکم توصیه شده و به شکل دست‌پاش انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از گیاهان پوششی صرف نظر از نوع و زمان کاشت نقش مؤثری در کنترل علف‌های هرز و افزایش عملکرد آفتابگردان خواهند داشت. بیشترین وزن خشک علف‌هرز در هر چهار تیمار گیاه پوششی، در تاریخ کاشت دو ماه قبل از کاشت آفتابگردان، دیده شد؛ در این تاریخ کاشت، جو، کمترین وزن خشک علف‌هرز را در هر دو سال آزمایش به خود اختصاص داد و توانست وزن خشک علف‌هرز را در طی مراحل مختلف نمونه‌برداری از فصل رشد آفتابگردان، پایین‌تر از سایر گیاهان پوششی نگه دارد، اما کمترین وزن خشک علف‌هرز در تیمار کشت هم‌زمان هر چهار گیاه پوششی با آفتابگردان مشاهده شد. کاشت گیاهان پوششی دو هفته بعد از کاشت آفتابگردان نیز باعث کاهش وزن خشک علف‌هرز گردید، ولی کارایی آن از کشت هم‌زمان گیاه پوششی و آفتابگردان کمتر بود. بیشترین و کمترین ارتفاع آفتابگردان به ترتیب مربوط به گیاه پوششی شبدر در تاریخ کاشت هم‌زمان و دو ماه قبل گندم بود (۱۸۱/۷۶ و ۱۰۵/۹۸ سانتی‌متر). بیشترین شاخص سطح برگ (۳/۹۷)، مربوط به گیاه پوششی شبدر در تاریخ کاشت هم‌زمان آن با آفتابگردان بود؛ که در مقایسه با شاهد بدون گیاه پوششی در شرایط وجین و عدم وجین علف‌های هرز به‌طور متوسط (در دو سال آزمایش) به ترتیب ۱۴ درصد و ۶۹ درصد بیشتر بود. کمترین شاخص سطح برگ آفتابگردان نیز در تیمار کاشت گیاه پوششی گندم در تاریخ کاشت دو ماه قبل از کاشت آفتابگردان دیده شد (سال اول و دوم به ترتیب ۰/۹۶). بیشترین وزن خشک آفتابگردان (۴۸۵/۶۱ گرم در مترمربع) به تیمار گیاه پوششی شبدر در تاریخ کاشت هم‌زمان آن‌ها با آفتابگردان تعلق داشت که تفاوت معنی‌داری با شاهد وجین علف‌های هرز نداشت. کمترین وزن خشک نیز در تیمار کاشت گندم دو ماه قبل از کاشت آفتابگردان (۱۰۸/۲۷ گرم در مترمربع) دیده شد. همچنین، بیشترین عملکرد دانه آفتابگردان در کاشت هم‌زمان شبدر با آفتابگردان ۲۸۵۹/۰۶ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که در مقایسه با شاهد بدون گیاه پوششی در شرایط وجین علف‌های هرز (۲۳۸۱/۱ کیلوگرم در هکتار)، ۱۷ درصد بیشتر بود. از آن‌جا که گیاه پوششی شبدر در تاریخ کاشت هم‌زمان با کاشت آفتابگردان، موجب کاهش رشد علف‌های هرز و افزایش عملکرد شد، می‌توان آن را به عنوان راهکاری برای تولید مطلوب آفتابگردان در کشاورزی پایدار معرفی نمود.

واژه‌های کلیدی: شاخص سطح برگ، شبدر برسيم، کشاورزی پایدار، ماشک گل خوشه‌ای، وجین

مقدمه

آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) یکی از گیاهان صنعتی مطرح در جهان بوده و بعد از سویا (*Glycine max* (L.) Merr)، کلزا (*Brassica napus* L.)، بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.)، چهارمین منبع تولید روغن خوراکی در جهان می‌باشد (Emami Bistgani et al., 2011)، چاه‌برگدان به آبیاری، مقاومت خوب به تنش‌های محیطی (گرما، سرما و خشکی)، بی‌تفاوت بودن به طول روز، امکان کشت زود هنگام، امکان کشت تابستانه، هزینه پایین تولید آفتابگردان، خرید تضمینی دانه آن، نیاز کمتر به سم‌پاشی و وجود هیبریدهای زودرس و پرمحصول از مهم‌ترین نقاط قوت توسعه کشت این محصول در کشور است (Khajepour, 2004; Stone et al., 2002; Nori- Raddavaji & Soltani-Najafabadi, 2015; Hasanzadeh et al., 2013; Barros et al., 2004). از این رو، توسعه کشت این گیاه سبب گسترش اشتغال در صنایع روغن‌کشی، بهره‌برداری از سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در بخش کشاورزی و جلوگیری از واردات بی‌رویه روغن و کنجاله خواهد شد (Rahmani vasukolai et al., 2010).

سطح زیرکشت آفتابگردان در کشور در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵، ۱۱۱۵۱ هکتار بوده و از این مساحت، ۱۲۷۳۳ تن دانه آفتابگردان با میانگین عملکرد آبی و دیم به‌ترتیب ۱۴۸۳ و ۷۰۸ کیلوگرم در هکتار تولید شده است. در بین استان‌های کشور به‌ترتیب استان‌های گلستان، آذربایجان غربی و خوزستان در رتبه‌های اول تا سوم کشت این محصول قرار داشته و استان مازندران با سطح زیرکشت ۱۴۲ هکتار، رتبه هشتم را به خود اختصاص داده است. در این استان و از این مساحت ۱۰۳ تن دانه آفتابگردان با میانگین عملکرد کشت آبی و دیم

به‌ترتیب ۲۴۱۷ و ۶۴۸ کیلوگرم در هکتار تولید شده است (Ahmadi et al., 2018). از مهم‌ترین دلایل عدم تمایل کشاورزان به کشت آفتابگردان و در نتیجه پایین بودن سطح زیرکشت این محصول ارزشمند، می‌توان به خسارت شدید پرندگان، کمبود هد مخصوص برداشت، آشنایی کم کشاورزان با زراعت این محصول و خسارت قابل توجه علف‌های هرز به این گیاه و تکیه بر روش‌های کنترل مکانیکی به دلیل عدم وجود علف‌کش‌های مناسب اشاره نمود (Zerai et al., 2017; Abaspoor, 2009).

خسارت ناشی از علف‌های هرز به آفتابگردان در مراحل اولیه رشد به دلیل کندی سرعت رشد، بالاست. در تأیید این امر شاهوردی و همکاران (Shahverdi et al., 2002) گزارش کردند که آفتابگردان نمی‌تواند بیش از پنج روز پس از سبز شدن علف‌های هرز را تحمل کند و عدم کنترل علف‌های هرز تا ۲۰ روز پس از سبز شدن، خسارت این گیاهان به عملکرد این محصول را به ۱۵ درصد می‌رساند. این در حالی است که عدم کنترل علف‌هرز در کل فصل رشد، ۷۹ درصد محصول دانه و روغن آفتابگردان را از بین خواهد برد.

کشت گیاهان پوششی همراه با مدیریت مناسب آن‌ها می‌تواند جایگزین مطلوبی برای روش‌های معمول کنترل علف‌های هرز باشد. این گیاهان علاوه بر اثرات مطلوب در کنترل علف‌های هرز، باعث افزایش ماده آلی خاک، بهبود ساختمان خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب، کنترل بیماری‌های خاک‌زاد، کاهش فرسایش خاک و افزایش عملکرد محصول می‌شوند (Ranjbar et al., 2007).

استفاده از گیاه پوششی مناسب و بهبود زمان‌بندی کاشت این گیاهان از جمله عواملی هستند که می‌توانند دست‌یابی به مزایای فوق از جمله کنترل مطلوب علف‌های هرز را تحت‌الشعاع خود قرار دهند (Uchino et al., 2011). یوچینو و همکاران (2009) اظهار داشتند که کاشت گیاه پوششی ماشک گل‌خوشه‌ای در بین ردیف‌های ذرت در سه زمان مختلف (قبل، هم‌زمان و بعد از گیاهان اصلی) به‌طور معنی‌داری باعث کاهش رشد علف‌های هرز گردید. به نحوی که بیشترین وزن خشک علف‌هرز در کشت خالص ذرت و کمترین هم در کاشت توأم گیاه پوششی ماشک گل‌خوشه‌ای قبل از کاشت و سه هفته بعد از کاشت گیاه اصلی در بین ردیف‌های ذرت مشاهده شد. ابوطالبیان و همکاران (Aboutalebian et al., 2011) گزارش کردند که چنانچه گیاهان پوششی جو، سه و پنج هفته

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران.

۲- استادیار، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

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

۴- استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران.

۵- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

(*)- نویسنده مسئول: (Email: siahmarguee@gau.ac.ir
Doi:10.22067/jag.v12i4.83169

خصوصیات مورفولوژیکی و عملکرد آفتابگردان (رقم لاکومکا) و همچنین تأثیر آن‌ها بر جمعیت علف‌های هرز و خصوصیات مورفولوژیک و عملکرد آفتابگردان در شرایط آب‌وهوایی شهرستان گلوگاه-استان مازندران طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش دو ساله در مزرعه‌ای واقع در شهرستان گلوگاه-استان مازندران به‌صورت طرح اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار در دو سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و ۹۷-۱۳۹۶ اجرا شد. در این آزمایش، زمان کاشت گیاه پوششی در کرت اصلی و نوع گیاه پوششی در کرت فرعی قرار گرفتند. تیمارهای آزمایشی شامل نوع گیاهان پوششی (گندم، جو، شبدر برسيم و ماشک گل خوشه‌ای) و زمان‌های مختلف کاشت (کاشت گیاهان پوششی دو ماه قبل، هم‌زمان و دو هفته بعد از کاشت آفتابگردان) در نظر گرفته شد. همچنین دو تیمار بدون گیاه پوششی، با وجین و بدون وجین علف‌هرز به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که در این آزمایش زمان کاشت گیاهان پوششی به‌عنوان عامل کرت اصلی و نوع گیاه پوششی به‌عنوان عامل کرت فرعی در نظر گرفته شد.

ابعاد هر کرت آزمایشی ۵×۴/۸ متر جهت کاشت هشت ردیف آفتابگردان (رقم لاکومکا) با فواصل بین ردیف و روی ردیف ۶۰ و ۲۰ سانتی‌متر جهت حصول تراکم هشت بوته در مترمربع در نظر گرفته شد (Zerai-Siahbidi et al., 2017). کاشت گیاه پوششی بسته به تیمارهای مورد نظر در اول بهمن ماه سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ (تیمار دو ماه قبل از کاشت آفتابگردان)، ۲۹ اسفند سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ (تیمار کشت هم‌زمان گیاه پوششی و آفتابگردان^۱) و ۱۴ فروردین ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ (تیمار دو هفته بعد از کاشت آفتابگردان) به‌صورت دست‌پاش و یکنواخت در بین ردیف‌های ۶۰ سانتی‌متری انجام شد. مقدار بذر مورد نیاز برای هر گیاه سه برابر مقدار توصیه شده (جدول ۱) در نظر گرفته شد (Khojamli et al., 2018; Namdari et al., 2010).

۱- لازم به ذکر است که گیاهان پوششی در تیمار دو ماه قبل از کاشت آفتابگردان، در زمان کاشت آفتابگردان کف‌بر شده و بر روی زمین قرار داده شدند و سپس کشت آفتابگردان به‌طور مستقیم در داخل بقایای آن‌ها انجام شد.

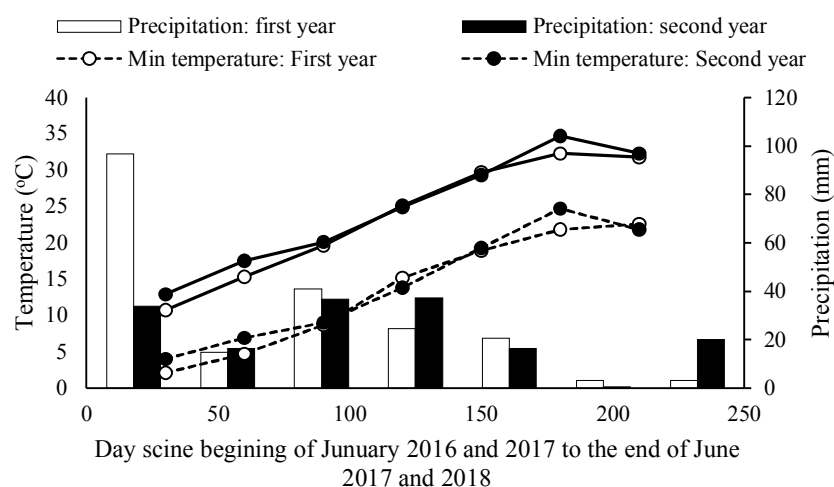
بعد از سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در بین ردیف‌های این محصول کشت شود، قادر است علف‌های هرز را به‌خوبی مهار کند. پرویزی و همکاران (Parvizi et al., 2013) با بررسی نوع (جو، تریتیکاله (*x tritico-secale* Wittm. Ex *A. Camus*))، شبدر برسيم و تربچه روغنی (*Raphanus sativus* var. *oleifera*)) و زمان حذف گیاه پوششی (چهار و هشت برگی چغندرقد (*Beta vulgaris* L.)) بر جمعیت علف‌های هرز در چغندرقد دریافتند که گیاه پوششی جو و حذف آن در مرحله هشت برگی دارای کمترین میزان زیست‌توده علف‌هرز بود. یگانه‌پور و همکاران (Yeganehpour et al., 2015) کشت هم‌زمان ذرت با گیاه پوششی شبدر را به‌عنوان مؤثرترین تیمار در کنترل علف‌های هرز ذرت معرفی نمودند. بلندی عموقین و همکاران (Bolandi Amoughein et al., 2015) با بررسی اثر نوع گیاه پوششی (گندم، جو و چاودار (*Secale cereal* L.)) و زمان کاشت آن‌ها (هم‌زمان و ۴۵ روز بعد از کاشت آفتابگردان) بر ترکیب گونه‌ای علف‌های هرز در زراعت آفتابگردان هیبرید، دریافتند که هر سه نوع گیاه پوششی در صورت کشت هم‌زمان آن‌ها با آفتابگردان از پتانسیل یکسانی در کاهش وزن خشک علف‌هرز برخوردار هستند. اما در شرایط تأخیر ۴۵ روزه در کاشت گیاه پوششی در مقایسه با گیاه زراعی، چاودار مناسب‌ترین گیاه پوششی خواهد بود. کمترین تراکم و وزن خشک علف‌های هرز مربوط به زمان کاشت سه گیاه پوششی در تاریخ کاشت هم‌زمان بود. نامبردگان اظهار داشتند که عملکرد دانه آفتابگردان نیز تحت تأثیر تیمار گیاه پوششی قرار گرفته و بیشترین میزان عملکرد دانه در گیاه پوششی گندم (۳۹۱۶/۷ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. نظری و همکاران (Nazari et al., 2012) با ارزیابی کارایی سه گیاه پوششی سویا، شنبلیل (*Trigonella foenum-graecum* L.) و لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) در دو تاریخ کاشت هم‌زمان و ۲۱ روز بعد از کاشت ذرت در کنترل علف‌های هرز و عملکرد ذرت اظهار داشتند که زراعت گیاهان پوششی گیاهان خانواده نخود همراه با مدیریت‌های مناسب می‌تواند جایگزین مطلوبی برای روش‌های کنترل شیمیایی در کنترل علف‌های هرز باشد که در نهایت، موجب افزایش بهره‌وری نهاده‌ها و رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار خواهد شد.

با توجه به اهمیت توسعه کشت آفتابگردان و لزوم معرفی روش‌های اکولوژیک در کنترل علف‌های هرز، این تحقیق با هدف بررسی کارایی چند گیاه پوششی و زمان کاشت مطلوب آن‌ها بر برخی

این دوره به ترتیب در محدوده ۲۴/۷-۴/۰ درجه سانتی‌گراد، ۳۴/۷-۱۲/۹ درجه سانتی‌گراد و ۳۳/۹-۰/۴ میلی‌متر به ثبت رسید. بر این اساس می‌توان گفت در سال دوم آزمایش از نظر دمایی، دماهای بالاتری تجربه شده است. در مجموع، بارندگی در سال دوم آزمایش کمتر از سال اول بود؛ اما در سال دوم در دو ماه فروردین و اردیبهشت (دوره رشد آفتابگردان) بارندگی بیشتری رخ داد (بارندگی در فروردین سال اول و دوم به ترتیب ۲۴/۶ و ۲۷/۱ میلی‌متر و در اردیبهشت ماه سال اول و دوم به ترتیب ۱/۵ و ۱۶/۴ میلی‌متر ثبت گردید).

تغییرات دمایی (دمای حداقل و حداکثر) و بارندگی شهرستان گلوگاه از بهمن ماه ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ (زمان کاشت گیاه پوششی) تا تیر ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ (زمان برداشت آفتابگردان رقم لاکومکا)، در شکل ۱ نشان داده شده است.

بر این اساس در سال اول آزمایش دمای حداقل، حداکثر و بارندگی در طی دوره مذکور به ترتیب در محدوده ۲۱/۱-۲۲/۶ درجه سانتی‌گراد، ۱۰/۷-۳۲/۳ درجه سانتی‌گراد و ۱/۵-۹۶/۶ میلی‌متر در نوسان بود. در سال دوم آزمایش دمای حداقل، حداکثر و بارندگی در



شکل ۱- تغییرات دمایی (دمای حداقل و حداکثر) و بارندگی شهرستان گلوگاه از بهمن ۱۳۹۵ تا تیر ۱۳۹۶ (سال اول) و بهمن ۱۳۹۶ تا تیر ۱۳۹۷ (سال دوم)

Fig. 1- Temperature changes (minimum and maximum temperature) and precipitation of Galugah regions from February 2016 to July 2017 (the first year) and February 2017 to July 2018 (the second year)

ارتفاع، سطح برگ و وزن خشک به آزمایشگاه منتقل شدند. این کار در پنج مرحله به فواصل زمانی ۱۴ روزه انجام شد. برای برازش داده‌های مربوط به ارتفاع و وزن خشک آفتابگردان در طی زمان از معادله ۱ استفاده شد (Khojamli et al., 2018).

$$Y = \frac{A_{max}}{1 + \exp\left(-\left(\frac{X - X_0}{b}\right)\right)}$$

معادله (۱)

که در این معادله، Y: ارتفاع (سانتی‌متر) یا وزن خشک آفتابگردان (گرم در مترمربع)، Amax: بیشترین ارتفاع یا وزن خشک آفتابگردان در انتهای فصل رشد، X: روز پس از کاشت، X₀: زمان تا رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر ارتفاع یا وزن خشک و b: ضریب معادله می‌باشد.

لازم به ذکر است که در زمان کاشت گیاهان پوششی، هیچ نوع کودی استفاده نشد (Brust et al., 2014). اما جهت تأمین نیاز کودی آفتابگردان، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن (۵۰ کیلوگرم در هکتار پیش از کاشت، و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به صورت سرک در مراحل هشت برگی و پیش از گل‌دهی آفتابگردان) مصرف گردید (Rahmani Vasu Kolai et al., 2010). خصوصیات خاک محل آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. برای ثبت تغییرات خصوصیات مورفولوژیکی آفتابگردان (۳۵ روز بعد از کاشت آن و بعد از حذف اثر حاشیه‌ای) پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب و جهت تعیین

جدول ۱- برخی خصوصيات گياهان پوششي مورد استفاده و خصوصيات خاک محل آرايش (عمق ۳۰-۴۰ سانتی متر)
1- Some properties of cover crops that used in this experiment (Deep 0-30 cm) Table

خصوصيات گياه پوششي Properties of cover crop						
گياه پوششي Cover crops	نام علمي Scientific name	خانواده Family	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	بذر توصيه شده در هكتار Seed recommended (kg.ha ⁻¹)	قوة ناميه Seed vigour (%)	
جو Barley	<i>Hordeum vulgare</i> L.	گندميان Poaceae	44.70	180	99	
گندم Wheat	<i>Triticum aestivum</i> L.	گندميان Poaceae	40.00	180	99	
شيدر پرسيم Berseem clover	<i>Trifolium alexandrinum</i> L.	نخود Fabaceae	3.10	25	100	
ماشك گل خوشه‌اي Hairy vetch	<i>Vicia villosa</i> L.	نخود Fabaceae	86.52	60	98.5	
خصوصيات خاک Soil properties						
بافت Texture	اسيدپته pH	هدايت الكتريكي EC (dS.m ⁻¹)	نيتروژن قابل جذب Available nitrogen (%)	فسفر قابل جذب Available phosphorus (ppm)	پتاسيم قابل جذب Available potassium (ppm)	
رسي لومي Loam clay	7.61	0.92	0.12	11.00	180.00	
شناسنامه رقم لاکومکا* Properties of Lakumka variety						
متوسط عملکرد Average of yield (kg.ha ⁻¹)	تراكم كاشت Plant density (1000 plants.ha ⁻¹)	درصد روغن دانه Oil percentage of seed	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	طول دوره رشد Length of growth period (day)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	نوع رقم Variety type
3700-4000	60-80	47	70-80	95-100	140-145	هبريد- آزاد گرده افشان Hybrid- open pollination

* Farokhi et al., 2017

برای توصیف روند تغییرات سطح برگ آفتابگردان در طول فصل رشد مدل لجستیک مورد استفاده قرار گرفت (Arabameri, 2008).

$$Y = \frac{ae^{-a(x-b)(c)}}{(1 + e^{-a(x-b)(c)})^2} \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن، a : ضریب میزان چرخش منحنی، b : زمان پس از کاشت که در آن حداکثر شاخص سطح برگ حادث می‌شود و c : نیز دیگر ضریب معادله می‌باشد. پس از برازش این مدل متغیرهای مرتبط با پویایی شاخص سطح برگ مثل حداکثر شاخص سطح برگ با حل عددی به دست آمد (Ghadiry et al., 2011).

هم‌زمان با نمونه‌برداری تخریبی از آفتابگردان، نمونه‌برداری جهت تعیین تراکم و وزن خشک علف‌های هرز نیز در کوادراتی به ابعاد ۵۰×۵۰ سانتی‌متر نیز انجام شد. همچنین، در انتهای فصل رشد آفتابگردان نیز بعد از حذف اثر حاشیه‌ای، بوته‌های آفتابگردان از مساحتی به ابعاد دو مترمربع برداشت و جهت تعیین عملکرد دانه به آزمایشگاه منتقل گردیدند.

از برنامه‌های آماری Sigmaplot 12.5، SAS 9 رویه Proc mixed و Excel 2007 به منظور تجزیه آماری داده‌های به دست آمده و رسم نمودارهای مربوطه و از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد جهت مقایسه میانگین داده‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

۱. جمعیت علف‌های هرز

در طی دو سال آزمایش در تیمارهای مختلف گیاه پوششی، ۱۶ گونه علف‌هرز متعلق به ۱۴ خانواده گیاهی مشاهده شد. در بین گونه‌های مشاهده شده، ۱۴ گونه یک‌ساله، دو گونه چندساله، ۱۴ گونه پهن برگ، دو گونه باریک برگ، ۱۴ گونه دارای مسیر فتوسنتزی C_3 و دو گونه مسیر فتوسنتزی C_4 داشتند. بر این اساس گونه‌های یک‌ساله پهن برگ با مسیر فتوسنتزی C_3 از غالبیت بیشتری در مقایسه با سایر گروه‌های کارکردی برخوردار بودند. غالبیت علف‌های هرز یک‌ساله در مزارع تحت کشت گیاهان زراعی یک راهکار مؤثر، جهت بقای این گیاهان در اراضی زراعی بوده و توسط سایر محققان مورد تأیید قرار گرفته است (Sohrabi-Rad et al., 2017; Aghpour et al., 2017).

وزن خشک علف‌های هرز در طی دو سال آزمایش، تحت تأثیر نوع گیاه پوششی و زمان کاشت آن‌ها قرار گرفت (شکل ۲). در کلیه مراحل نمونه‌برداری، تمامی تیمارهای گیاه پوششی و زمان کاشت آن‌ها، سبب کاهش معنی‌دار وزن خشک علف‌های هرز در مقایسه با شاهد شدند. بیشترین وزن خشک علف‌هرز در هر چهار تیمار گیاه پوششی، در تاریخ کاشت دو ماه قبل از کاشت آفتابگردان دیده شد. نکته قبل توجه این بود که در این تاریخ کاشت، جو، کمترین وزن خشک علف‌هرز را در هر دو سال آزمایش به خود اختصاص داد و توانست وزن خشک علف‌هرز را در طی مراحل مختلف نمونه‌برداری از فصل رشد آفتابگردان، پایین‌تر از سایر گیاهان پوششی نگه دارد.

برخلاف جو، بقایای گندم در تاریخ کاشت دو ماه قبل از کاشت آفتابگردان، نتوانست اثر کنترل‌کنندگی مطلوبی بر علف‌های هرز داشته باشد و همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، وزن خشک علف‌های هرز در بقایای آن، در طی مراحل مختلف نمونه‌برداری از فصل رشد آفتابگردان، به‌میزان قابل توجهی افزایش یافت. کاشت دو ماه قبل گیاهان پوششی ماشک گل خوشه‌ای و شبدر برسیم اگرچه نسبت به شاهد سبب کاهش وزن خشک علف‌هرز شد، اما اثر کنترل‌کنندگی آن بر وزن خشک علف‌هرز، قابل توجه نبود.

جدول ۲- گونه‌های علف‌هرز مشاهده شده در تیمارهای مختلف گیاه پوششی و زمان کاشت آن‌ها در طی دو سال آزمایش
Table 2- Observed weed species in different treatments of cover crop and their planting date during 2 years

نام فارسی Persian name	نام علمی Scientific name	خانواده Family	سیکل زندگی Life cycle		مورفولوژی Morphology			مسیر فتوسنتزی Photosynthetic pathway	
			یک‌ساله Annual	چندساله Perennial	پهن برگ Broad leaved	باریک برگ Narrow leaves	C ₃	C ₄	
پیچک صحرایی Creeping jenny	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Convolvulaceae	-	*	*	-	*	-	
پیچک بند Wild buckwheat	<i>Polygonum convolvulus</i> L.	Polygonaceae	*	-	*	-	*	-	
تاج خروس Amaranth	<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	Amaranthaceae	*	-	*	-	-	*	
تاج‌ریزی سیاه Morel	<i>Solanum nigrum</i> L.	Solanaceae	*	-	*	-	*	-	
خردل وحشی Wild mustard	<i>Sinapis arvensis</i> L.	Brassicaceae	*	-	*	-	*	-	
دایسند Scarlet pimpernel	<i>Anagallis arvensis</i> L.	Primulaceae	*	-	*	-	*	-	
سلمه‌تره Common lambsquarters	<i>Chenopodium album</i> L.	Chenopodiaceae	*	-	*	-	*	-	
سوروف Pigweed	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv	Poaceae	*	-	-	*	-	*	
سبزاب Common speedwell	<i>Veronica persica</i> Poir.	Plantaginaceae	*	-	*	-	*	-	
شاه‌تره Fomitori	<i>Fumaria officinalis</i> L.	Fumariaceae	*	-	*	-	*	-	
شتاق و حشی Field poppy	<i>Papaver</i> sp.	Papaveraceae	*	-	*	-	*	-	
شیرینجی Rough milk thistle	<i>Sonchus</i> sp.	Asteraceae	-	*	*	-	*	-	
علف خونی Lesser canary	<i>Phalaris</i> sp.	Poaceae	*	-	-	*	*	-	
کف وحشی Venice mallow	<i>Hibiscus trionum</i> L.	Malvaceae	*	-	*	-	*	-	
گندمک Common chickweed	<i>Stellaria media</i> (L.) Vill	Caryophyllaceae	*	-	*	-	*	-	
موه Common lambs quarter	<i>Artemisia annua</i> L.	Asteraceae	*	-	*	-	*	-	

به‌طور کلی، به نظر می‌رسد کاشت این چهار گیاه پوششی در تاریخ کاشت دو ماه قبل از کاشت آفتابگردان (اوایل دی ماه هر دو سال اجرای آزمایش)، فرصت کافی برای رشد این گیاهان را فراهم نموده است و این امر سبب کاهش زیست‌توده تولید شده بوسیله آن‌ها در زمان کف‌بر شدن شده است (در زمان کف‌بر کردن گیاهان پوششی در این تیمار، به‌طور متوسط در طی دو سال آزمایش وزن خشک گیاهان پوششی گندم، جو، ماشک و شبدر برسمیم به‌ترتیب ۱۲۹/۳۱، ۱۹۸/۱۸، ۹۲/۴۳ و ۸۲/۵۰ گرم در مترمربع بود). خوجملی و همکاران (Khojamli et al., 2018) تولید ماده خشک زیاد را از خصوصیات یک گیاه پوششی مطلوب برشمردند، زیرا بقایای گیاه پوششی به‌صورت یک مانع فیزیکی عمل کرده و علاوه‌بر جلوگیری از نفوذ نور، مانع خروج سریع گیاهچه علف‌هرز از سطح خاک می‌شوند. همچنین یکی از فاکتورهای مهم که تعیین‌کننده سرعت تجزیه بقایای گیاهی توسط ریزجانداران به‌ویژه در هفته‌های اول پس از قطع گیاهان پوششی می‌باشد، نسبت کربن به نیتروژن (C/N) آن‌هاست (Cabrera et al., 2005)؛ این نسبت در چهار گیاه گندم، جو، ماشک و شبدر به‌ترتیب ۸۰ به ۱، ۸۵ به ۱، ۱۱ به ۱ و ۲۱ به ۱ گزارش است (USDA NRCS, 2011). از این‌رو به‌نظر می‌رسد، علاوه‌بر تولید زیست‌توده بیشتر در جو، بالاتر بودن نسبت C/N در این گیاه، نقش مهمی در کند شدن فرآیند تجزیه و دوام بیشتر بقایای جو در سطح خاک داشته است. نتیجه این عمل نیز، اثر کنترل‌کنندگی مطلوب‌تر بقایای این گیاه در کنترل علف‌های هرز در زمان طولانی‌تر بوده است. علاوه‌بر آن خوجملی و همکاران (Khojamli et al., 2018) تولید زیست‌توده زیاد توسط جو و ترشح آللوکمیkal‌هایی مانند هورثین و گرامین (Jabran, 2017) در جریان پوسیده شدن بقایای این گیاه (در مقایسه با بقایای چاودار، شبدر برسمیم، خردل علوفه‌ای (*Brassica juncea* L.)، ماشک گل خوشه‌ای و شبدر برسمیم) را عامل اصلی کاهش جوانه‌زنی و رشد علف‌های هرز تحت تأثیر بقایای جو عنوان نمودند.

کمترین وزن خشک علف‌هرز در تیمار کشت هم‌زمان گیاهان پوششی و آفتابگردان مشاهده شد. در این تاریخ کاشت، جو کمترین وزن خشک علف هرز را به خود اختصاص داد. کشت گیاهان پوششی دو هفته بعد از کاشت آفتابگردان، نیز باعث کاهش وزن خشک علف-هرز گردید، ولی کارایی آن از کشت هم‌زمان گیاه پوششی و

آفتابگردان کمتر بود. به نظر می‌رسد عدم تأمین شرایط محیطی لازم جهت رشد این گیاهان پوششی در این تاریخ کاشت و در نتیجه، عدم تولید زیست‌توده قابل توجه توسط هر کدام از آن‌ها در بروز این نتیجه، مؤثر بوده است. بر خلاف نتیجه گرفته شده در این آزمایش، بلندی عموقین و همکاران (Bolandi Amougheh et al., 2015) به‌منظور بررسی اثر نوع گیاه پوششی (گندم، جو و چاودار) و زمان کاشت آن‌ها (هم‌زمان و ۴۵ روز بعد از کاشت آفتابگردان) بر ترکیب گونه‌ای علف‌های هرز آفتابگردان رقم هایسون، آزمایشی را طراحی و دریافتند که هر سه نوع گیاه پوششی در صورت کشت هم‌زمان آن‌ها با آفتابگردان از پتانسیل یکسانی در کاهش وزن خشک علف‌هرز برخوردار هستند. به نظر می‌رسد تفاوت در زمان کاشت آفتابگردان (۲۳ اردیبهشت) و گیاهان پوششی (۲۳ اردیبهشت و ۱۷ خرداد)، نوع رقم آفتابگردان مورد استفاده (هایسون) و همچنین شرایط اقلیمی محل اجرای آزمایش (اردبیل) از دلایل اصلی بروز تفاوت در نتایج آزمایش حاضر با آزمایش فوق‌الذکر باشد.

۲. خصوصیات مرفولوژیک آفتابگردان

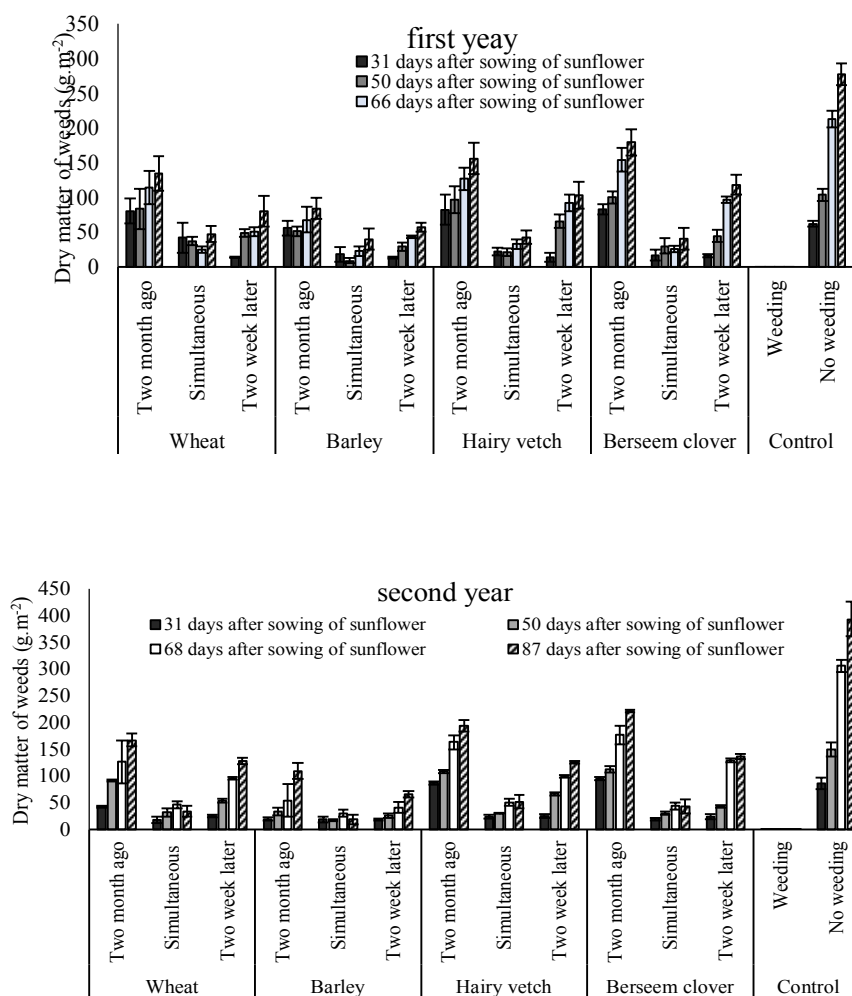
ارتفاع آفتابگردان تحت تأثیر نوع گیاه پوششی و زمان کاشت آن قرار گرفت. در هر دو سال آزمایش کمترین ارتفاع آفتابگردان در کلیه گیاهان پوششی در تاریخ کاشت دو ماه قبل آن‌ها (به‌جز جو در سال اول) دیده شد. بیشترین ارتفاع آفتابگردان در بقایای جو و گندم بین تاریخ کاشت هم‌زمان آن با آفتابگردان و یا دو هفته بعد آن، متغیر بود؛ اما در مورد شبدر و ماشک در شرایط کشت هم‌زمان آن‌ها با آفتابگردان حادث شد.

اما به‌طور کلی در هر دو سال آزمایش، حداکثر ارتفاع آفتابگردان مربوط به گیاه پوششی شبدر در تاریخ کاشت هم‌زمان آن یا آفتابگردان بود (به ترتیب ۱۷۴/۲ و ۱۸۱/۷ سانتی‌متر). کمترین ارتفاع نیز در سال اول (۱۰۵/۹ سانتی‌متر) و در سال دوم (۱۱۱/۵ سانتی‌متر) در تاریخ کاشت دو ماه قبل گیاه پوششی گندم مشاهده شد (شکل ۳ و جدول ۳).

تغییرات سطح برگ آفتابگردان نسبت به زمان (روز پس از کاشت) از یک تابع سیگموئیدی تبعیت کرد؛ به‌طوری‌که در ابتدای رشد، شیب افزایش سطح برگ کند بود و به‌تدریج با گذشت زمان شیب آن افزایش یافت (شکل ۴). در مراحل نهایی رشد شاخص سطح

هم‌زمان آن با آفتابگردان بود؛ که در مقایسه با شاهد بدون گیاه پوششی در شرایط وجین و عدم وجین علف‌های هرز به‌طور متوسط (در دو سال آزمایش) به‌ترتیب ۱۴ درصد و ۶۹ درصد بیشتر بود (جدول ۳). کمترین شاخص سطح برگ آفتابگردان نیز در تیمار کاشت گیاه پوششی گندم در تاریخ کاشت دو ماه قبل از کاشت آفتابگردان دیده شد (سال اول و دوم به‌ترتیب ۰/۹۶ و ۱/۰۸).

برگ کاهش یافت که دلیل آن نیز سایه‌اندازی برگ‌ها روی هم و تسریع پیری برگ‌ها در نتیجه، تخلیه مواد از برگ‌ها و انتقال آن‌ها به مخازن زایشی در حال رشد شامل دانه‌ها می‌باشد. صفت مذکور به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع گیاه پوششی و زمان کاشت آن قرار گرفت. بیشترین شاخص سطح برگ آفتابگردان در سال اول (۳/۸۶) و در سال دوم (۳/۹۷) مربوط به گیاه پوششی شبدر در تاریخ کاشت



شکل ۲- اثر گیاهان پوششی و زمان کاشت بر وزن خشک علف‌های هرز در مراحل مختلف نمونه‌برداری (در سال‌های اول و دوم آزمایش)
Fig. 2- Effect of cover crops and their planting dates on dry matter of weeds during different sampling stages (in first and second years)

میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین می‌باشد.

Bars indicate the standard error of mean.

مشابه سطح برگ، روند افزایش وزن خشک در تمام تیمارها به‌صورت منحنی سیگموئیدی بود. به‌طوری‌که در ابتدای رشد، سرعت تجمع مواد خشک گیاهی کم بود؛ اما به‌تدریج با افزایش سن گیاه، سرعت تجمع ماده خشک در اندام‌های هوایی گیاه افزایش یافت و منحنی شیب بیشتری نسبت به مراحل قبلی رشد به خود گرفت. به‌طور کلی، در هر دو سال آزمایش کشت هم‌زمان گیاهان پوششی مختلف با آفتابگردان، بیشترین تأثیر را در بهبود افزایش تجمع ماده خشک آفتابگردان در مقایسه با تاریخ‌های کاشت دیگر گیاهان پوششی داشت (شکل ۵).

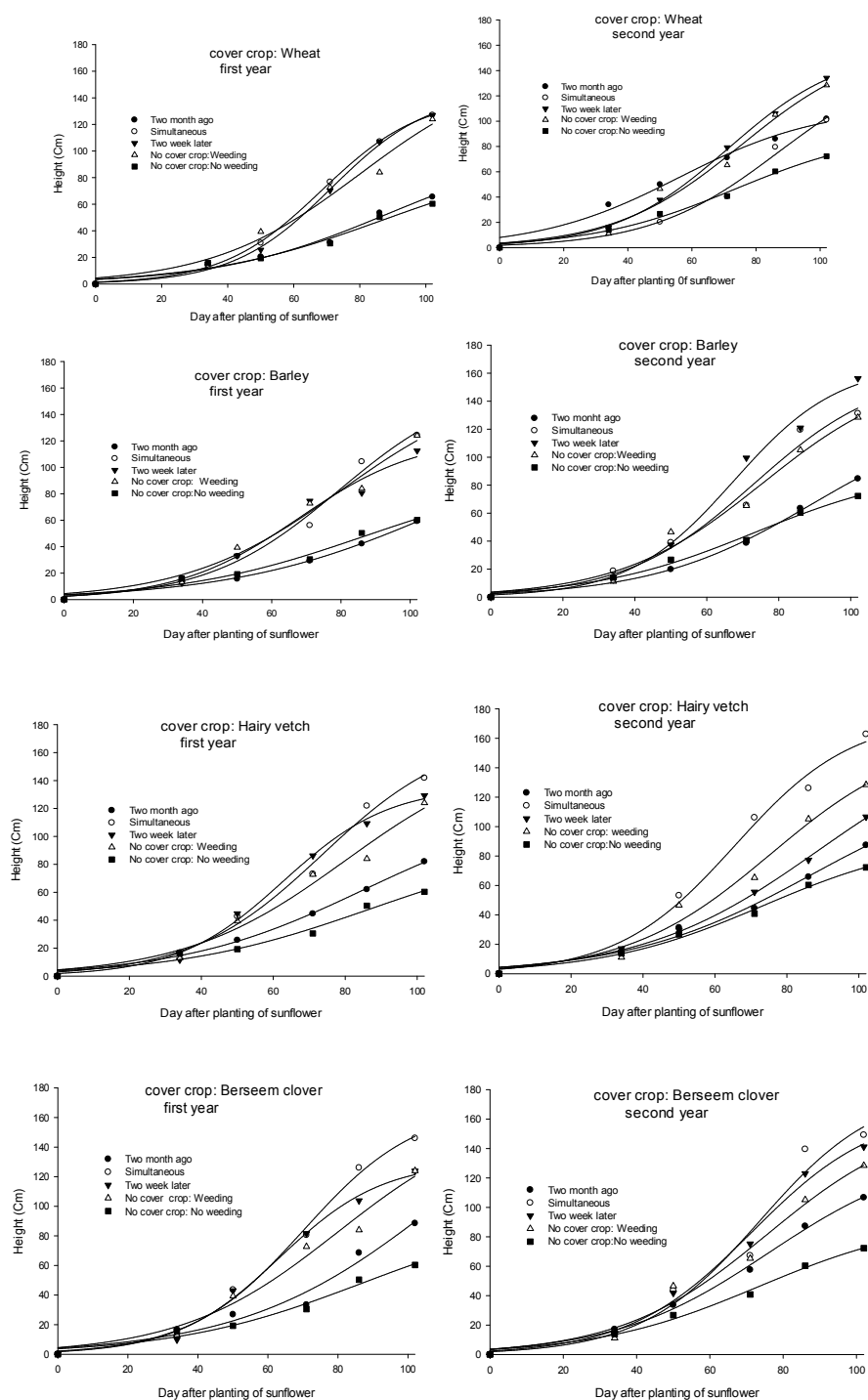
در بین تیمارهای گیاه پوششی، بیشترین وزن خشک آفتابگردان در سال اول (۴۷۸/۰۴ گرم در مترمربع) و در سال دوم (۴۸۵/۶۱ گرم در مترمربع) به تیمار گیاه پوششی شبدر در تاریخ کاشت هم‌زمان آن‌ها با آفتابگردان تعلق داشت که تفاوت معنی‌داری با شاهد وجین علف‌های هرز نداشت (جدول ۳). این افزایش رشد ممکن است مربوط به کنترل مطلوب علف‌های هرز به‌دلیل پر شدن سریع فضا توسط آفتابگردان و شبدر، بهبود حاصلخیزی خاک در نتیجه، تثبیت بیولوژیک نیتروژن در طی زمان و همچنین عدم رقابت آفتابگردان با شبدر در دریافت منابع (به‌دلیل تفاوت در ساختار ریشه، تاج‌پوشش و نیازهای غذایی) باشد. در این رابطه، تیسدل و عبدالباکی (Teasdale & Abdul-Baki, 1998) گزارش کردند که گیاهان پوششی خانواده تیره نخود قادرند پنج تا هشت تن ماده خشک در هکتار تولید کنند و این مقدار ماده خشک حاوی ۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص باشد.

کمترین وزن خشک نیز در هر دو سال آزمایش در تیمار کاشت گیاه پوششی گندم در دو ماه قبل از کاشت آفتابگردان (در سال اول: ۱۱۱/۳۸ گرم در مترمربع و در سال دوم: ۱۰۸/۲۷ گرم در مترمربع) دیده شد (شکل ۲). به‌نظر می‌رسد تراکم بالای علف‌های هرز در آفتابگردان کاشته شده در بقایای گندم (در تاریخ کاشت دو ماه قبل) عامل مؤثری در کاهش سطح برگ و وزن خشک علف‌های هرز بوده است.

علی‌رغم اینکه کاشت جو در تاریخ کاشت دو ماه قبل، اثر کنترل‌کنندگی مطلوبی بر کنترل علف‌های هرز در طی فصل رشد آفتابگردان در مقایسه با گیاهان پوششی گندم، شبدر و ماشک در تاریخ کاشت مورد نظر داشت (شکل ۲)، اما وزن خشک و سطح برگ

آفتابگردان کاشته شده در بقایای آن به‌میزان جزئی بیش از آفتابگردان کشت شده در بقایای گندم، و تقریباً مشابه آفتابگردان کشت شده در بقایای شبدر و ماشک بود (شکل‌های ۴ و ۵ و جدول ۳). این امر ممکن است اولاً به تولید زیست‌توده بیشتر توسط جو (۱۹۸/۱۸ گرم در مترمربع) مرتبط باشد که شرایط را برای خروج گیاهچه آفتابگردان با مشکل مواجه نموده و سبب تأخیر در خروج گیاهچه و استقرار آن شده است. ثانیاً ممکن است اثرات دگرآسیبی ناشی از تجزیه بقایای جو در طی زمان در بروز چنین نتیجه‌ای مؤثر واقع شده باشد. در تأیید این امر ناصری و همکاران (Naseri et al., 2008) اظهار داشتند که کاه جو بر جوانه‌زنی و مراحل اولیه رشد گیاهچه آفتابگردان اثر دگرآسیبی دارد. منابع نشان می‌دهد اثرات دگرآسیبی ناشی از بقایای جو تا هفت هفته در خاک پایدار است. البته اثرات دگرآسیبی ناشی از تجزیه بقایای گیاهی، پنج روز بعد از شروع تجزیه در خاک ظاهر می‌شود و در هفته سوم به اوج می‌رسد و سپس از هفته سوم تا پنجم روند کاهشی به خود می‌گیرد (Narwal, 2004). همچنین، دهیما و همکاران (Dhima et al., 2006) گزارش کردند که گیاه جو وقتی به‌عنوان گیاه پوششی مورد استفاده قرار گرفته است، اثر دگرآسیبی بر ذرت خواهد داشت. خوجملی و همکاران (Khojamli et al., 2018) نیز کاهش رشد ذرت در بقایای گیاهان پوششی منداب، خردل علوفه‌ای و جو را به تولید زیست‌توده زیاد و همچنین اثرات دگرآسیبی ناشی از تجزیه بقایای این گیاهان نسبت دادند.

به‌طور کلی، می‌توان گفت ارتفاع، سطح برگ و وزن خشک آفتابگردان در شاهد بدون گیاه پوششی در شرایط وجین علف‌های هرز به‌طور متوسط در طی دو سال آزمایش به‌ترتیب ۴۲/۵، ۶۹/۴ و ۹۳ درصد و به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بدون گیاه پوششی در شرایط عدم وجین علف‌های هرز بود. علی‌رغم وجود تفاوت تیمارهای مختلف گیاه پوششی و زمان کاشت آن‌ها، همه گونه‌ها سبب بهبود ارتفاع، سطح برگ و وزن خشک آفتابگردان در مقایسه با شاهد بدون گیاه پوششی در شرایط عدم وجین علف‌های هرز شدند. این امر مؤید حساسیت آفتابگردان به تداخل علف‌های هرز بوده و نقش گیاهان پوششی را صرف‌نظر از نوع و زمان کاشت آن‌ها در بهبود شرایط رشد گیاه را نشان می‌دهد.



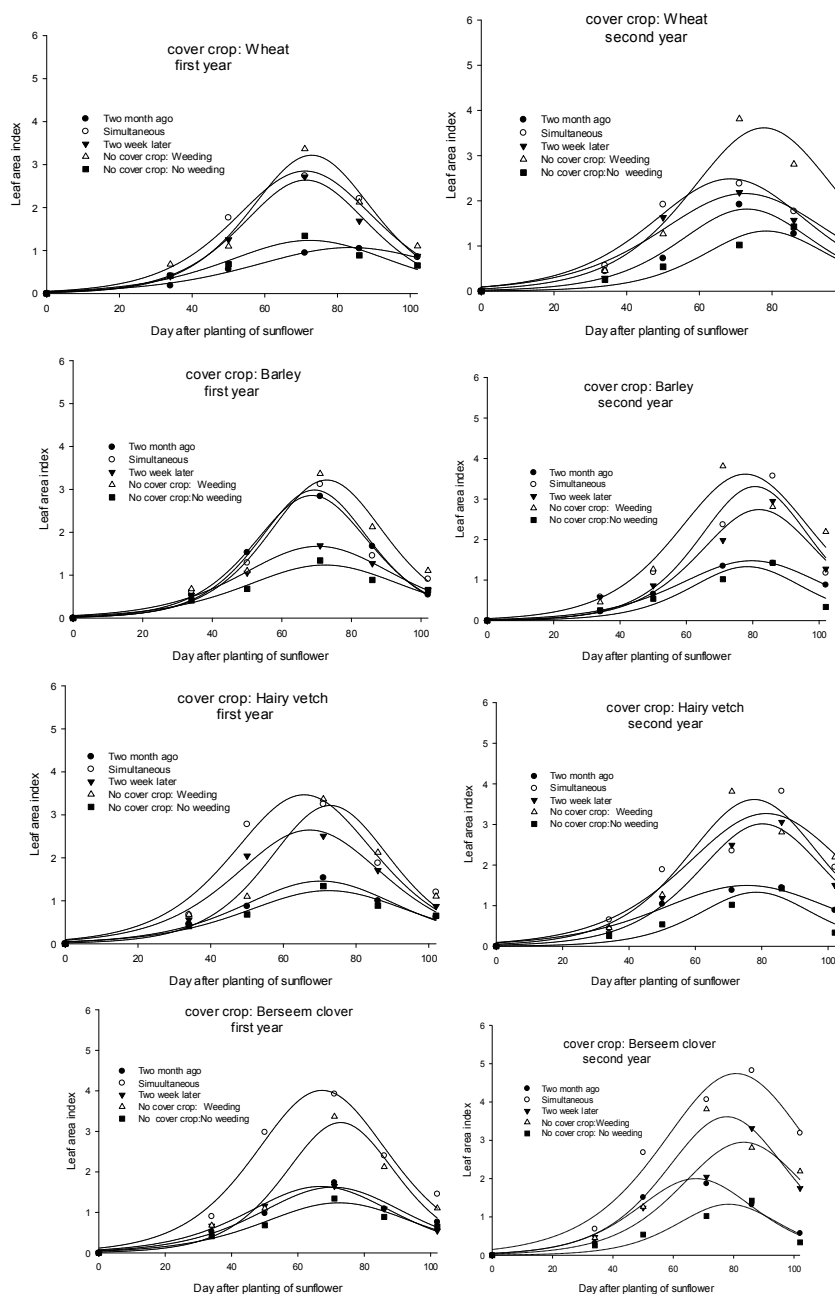
شكل ۳- اثر گياه پوششي و زمان كاشت آن‌ها بر روند تغييرات ارتفاع آفتابگردان در سال‌هاي اول و دوم

Fig. 3- Effect of cover crops and their planting date on trend of height of sunflower in first and second years

جدول ۳- اثر گیاه پوششی و زمان کاشت آن‌ها بر حداکثر ارتفاع، سطح برگ و وزن خشک آفتابگردان در سال‌های اول و دوم
Table 3- Effect of cover crops and their planting date on maximum of height, leaf area index and dry matter of sunflower in first and second years

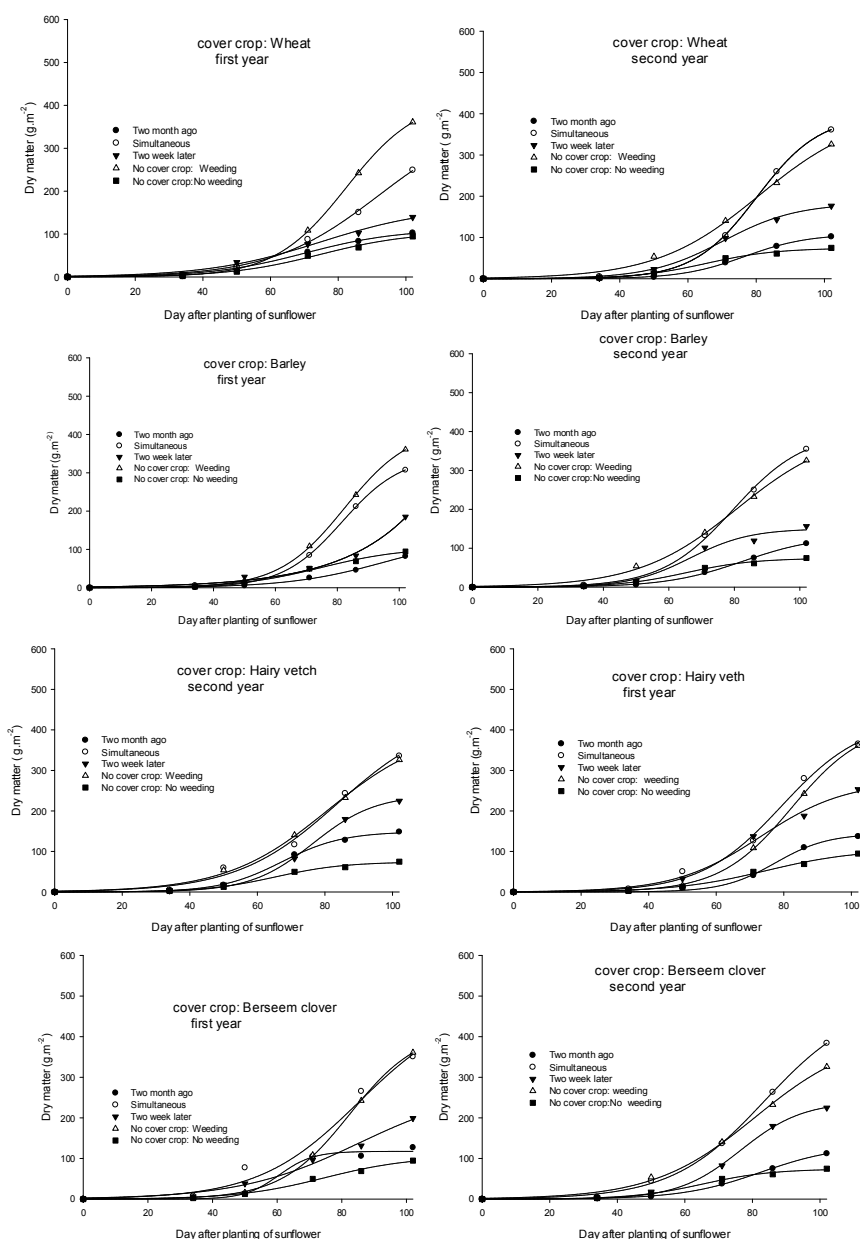
گیاه پوششی Cover crop	تاریخ کاشت Planting date	سال اول First year		سال دوم Second year	
		Hmax (SE)	LAI max	Hmax (SE)	LAI max
گندم Wheat	دو ماه قبل Two month ago	105.98(88.70)	0.96	111.38(8.94)	1.08
	هم‌زمان Simultaneous	140.67(68.44)	2.60	379.90(60.11)	2.19
	دو هفته بعد Two week later	144.65(71.48)	1.77	163.91(22.07)	1.70
جو Barley	دو ماه قبل Two month ago	135.76(110.04)	1.25	137.16(33.14)	1.31
	هم‌زمان Simultaneous	165.57(79.54)	2.90	344.69(6.87)	3.04
	دو هفته بعد Two week later	123.55(67.90)	1.85	115.22(41.92)	1.58
ماشک Hairy vetch	دو ماه قبل Two month ago	123.68(85.19)	1.24	143.77(6.88)	1.29
	هم‌زمان Simultaneous	174.21(73.66)	3.22	425.37(41.75)	3.24
	دو هفته بعد Two week later	135.84(62.78)	2.56	272.93(24.67)	2.78
شیدر Berseem clover	دو ماه قبل Two month ago	121.73(86.10)	1.46	117.55(6.47)	1.39
	هم‌زمان Simultaneous	186.94(74.27)	3.86	478.04(17.50)	3.97
	دو هفته بعد Two week later	130.16(63.20)	1.48	274.91(67.06)	2.93
شاهد Control	وجین Weeding	165.44(80.02)	3.27	417.47(7.55)	3.35
	عدم وجین No weeding	96.15(86.94)	1.15	105.15(10.30)	1.24

SE: خطای استاندارد میانگین
SE: standard error of mean



شكل ۴- اثر گياه پوششي و زمان كاشت آن‌ها بر روند تغييرات شاخص سطح برگ آفتابگردان در سال‌هاي اول و دوم آزمايش

Fig. 4- Effect of cover crops and their planting date on trend of leaf area index (LAI) of sunflower in first and second years



شکل ۵- اثر گیاه پوششی و زمان کاشت آن‌ها بر روند تغییرات وزن خشک آفتابگردان در سال‌های اول و دوم آزمایش
Fig. 5- Effect of cover crops and their planting date on trend of dry matter of sunflower in first and second years

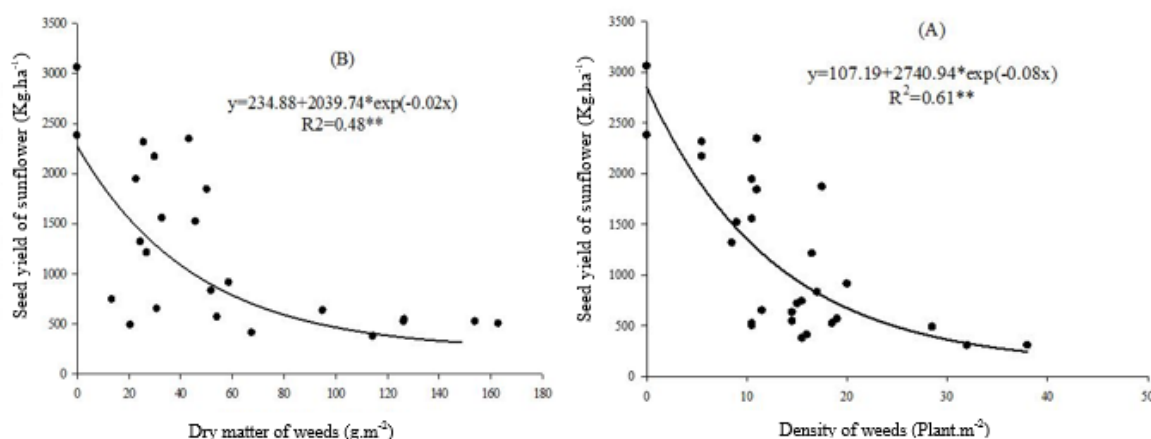
رشد، ۷۹ درصد محصول دانه و روغن آفتابگردان را از بین خواهد برد. یوچینو و همکاران (Uchino et al., 2009) اظهار داشتند که کاشت گیاه پوششی ماشک گل‌خوشه‌ای در بین ردیف‌های ذرت در سه زمان مختلف (قبل، هم‌زمان و بعد از گیاهان اصلی) به‌طور معنی‌داری باعث کاهش رشد علف‌های هرز گردید و تعداد علف‌های هرز در کشت خالص ذرت به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای دیگر بود. در تحقیق

شاهوردی و همکاران (Shahverdi et al., 2002) حساسیت زیاد آفتابگردان به تداخل علف‌های هرز را تأیید نموده و گزارش کردند که آفتابگردان نمی‌تواند بیش از پنج روز پس از سبز شدن، علف‌های هرز را تحمل کند و عدم کنترل علف‌های هرز تا ۲۰ روز پس از سبز شدن، خسارت این گیاهان به عملکرد این محصول را به ۱۵ درصد می‌رساند. این در حالی است که عدم کنترل علف‌هرز در کل فصل

۳. عملکرد دانه آفتابگردان

رابطه بین عملکرد دانه آفتابگردان با تراکم و وزن خشک علف‌های هرز در ۳۶ روز بعد از کاشت آفتابگردان از یک تابع منفی نمایی تبعیت کرد (شکل ۶). ضریب تبیین قابل توجه و معنی‌دار توابع برازش داده شده (به ترتیب ۰/۶۱ و ۰/۴۸) حاکی از حساسیت عملکرد دانه آفتابگردان به تداخل علف‌های هرز می‌باشد. در تأیید این امر شاهرودی و همکاران (Shahverdi et al., 2002) گزارش کردند که عدم کنترل علف‌های هرز تا ۲۰ روز پس از سبز شدن، خسارت این گیاهان به عملکرد این محصول را به ۱۵ درصد می‌رساند. این در حالی است که عدم کنترل علف‌هرز در کل فصل رشد، ۷۹ درصد محصول دانه و روغن آفتابگردان را از بین خواهد برد.

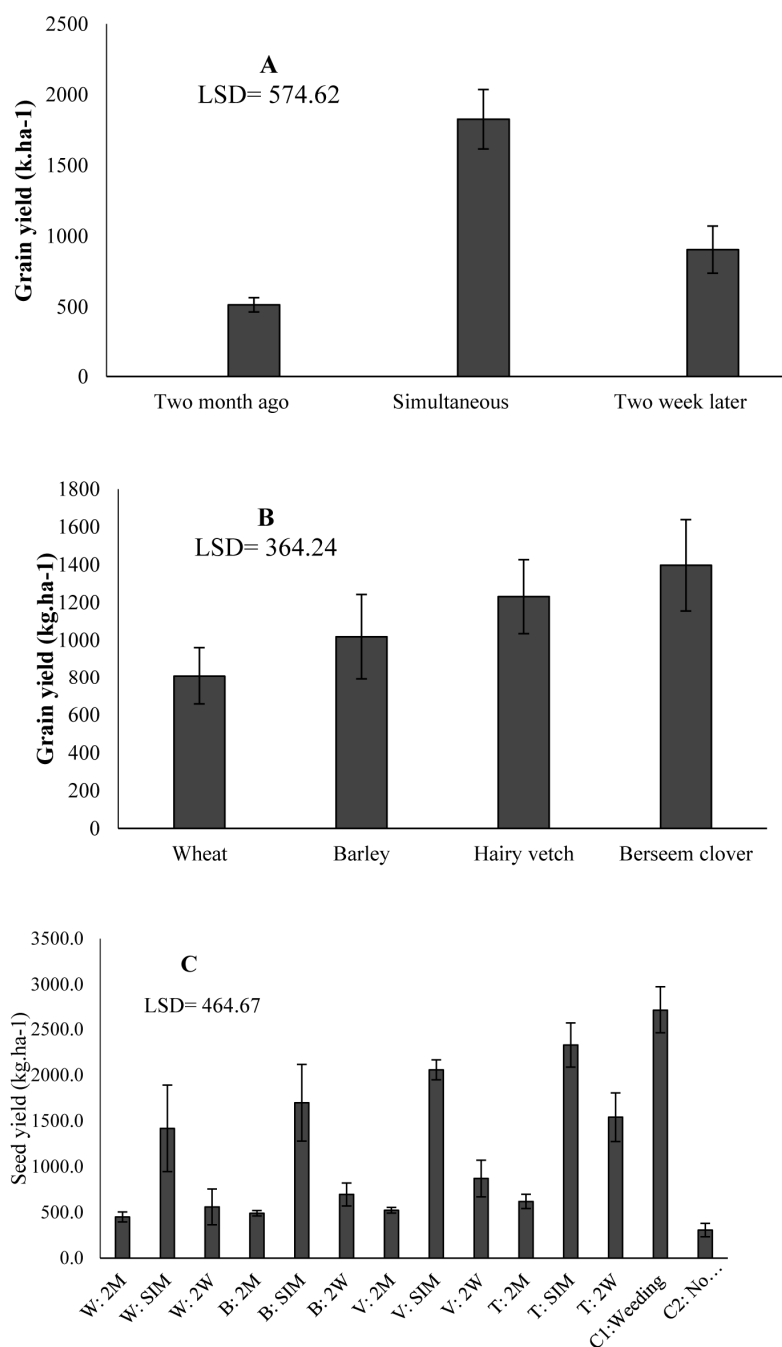
لامعی هروانی و همکاران (Lamei Heravani et al., 2014) روی تأثیر کشت گیاهان خلر (*Lathyrus sativus* L.) و ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia sativa* L.) به عنوان گیاه پوششی برای کنترل علف‌هرز دریافتند که بیشترین و کمترین مقادیر عملکرد کل ماده خشک به ترتیب از تیمارهای کشت خلر و شاهد به دست آمد. اما نکته قابل توجه این بود که هیچکدام از تیمارهای این آزمایش (به جز شبدر در تاریخ کاشت هم‌زمان آن با آفتابگردان)، در بهبود سطح برگ و وزن خشک آفتابگردان، مشابه تیمار بدون گیاه پوششی در شرایط وجین کامل علف‌های هرز عمل نمودند. این به این معناست که جهت افزایش کارایی گیاهان پوششی لازم است از یک روش مکمل دیگر مانند استفاده از وجین و یا علف‌کش در مقادیر کاهش یافته، استفاده نمود.



شکل ۶- همبستگی بین عملکرد دانه آفتابگردان با تراکم (A) و وزن خشک (B) علف‌های هرز در ۳۶ روز بعد از کاشت
Fig. 6- Correlation between seed yield of sunflower and weeds density (A) and drymatter (B) in 36 days after planting

بین آن‌ها بود (شکل ۷ ج). عملکرد آفتابگردان در همه تیمارهای آزمایشی در مقایسه با شاهد بدون گیاه پوششی در شرایط عدم وجین، بیشتر بود. که این امر حاکی از توانایی تیمارهای مورد بررسی در بهبود شرایط به نفع آفتابگردان است. اما عملکرد آفتابگردان در هیچ کدام از تیمارهای مورد بررسی به جز تیمار کاشت هم‌زمان شبدر برسیم با آفتابگردان، به تیمار بدون گیاه پوششی در شرایط وجین کامل علف‌های هرز نرسید. این اختلاف در تیمارهای تحت کاشت گیاهان پوششی در تیمار کاشت دو ماه قبل و دو هفته بعد از کاشت آفتابگردان مشهودتر بود.

اثر ساده نوع گیاه پوششی و زمان کاشت آن‌ها بر عملکرد دانه آفتابگردان از لحاظ آماری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اما اثر متقابل این دو بر این فاکتور معنی‌دار نبود (نتایج نشان داده نشد). با استناد به شکل (۷ الف) کاشت هم‌زمان گیاهان پوششی با آفتابگردان، منجر به حصول عملکرد بیشتر این محصول گردید و در بین گیاهان پوششی مختلف نیز شبدر برسیم از پتانسیل بالاتری جهت افزایش عملکرد دانه آفتابگردان برخوردار بود (شکل ۷ ب). مقایسه گروهی عملکرد آفتابگردان بین تیمارهای مختلف گیاه پوششی و زمان کاشت آن‌ها با شاهد بدون گیاه پوششی در شرایط وجین و عدم وجین علف‌های هرز حاکی از وجود اختلافات قابل توجه



شکل ۷- اثر زمان کاشت گیاه پوششی (الف)، نوع گیاه پوششی (ب) و مقایسه گروهی تیمارهای آزمایشی با شاهد بدون گیاه پوششی در شرایط وجین و عدم وجین علف‌های هرز (ج) بر عملکرد دانه آفتابگردان

Fig. 7- Effect of planting date of cover crop (A), type of cover crop (B) and Comparison of experimental treatments with no-cover crop treatments in weeding and non-weeding conditions (C) on sunflower seed yield

میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین می‌باشد.

Bars indicate the standard error of mean.

نموده است و این امر سبب کاهش زیست‌توده تولید شده به‌وسیله آن‌ها در زمان کف‌بر شدن شده است. از این رو، این تاریخ برای کاشت گیاهان پوششی قابل توصیه نیست. اما کمترین وزن خشک علف‌هرز در تیمار کشت هم‌زمان گیاهان پوششی و آفتابگردان مشاهده شد. کاشت گیاهان پوششی دو هفته بعد از کاشت آفتابگردان نیز باعث کاهش وزن خشک علف‌هرز گردید، ولی کارایی آن از کشت هم‌زمان گیاه پوششی و آفتابگردان کمتر بود. در بین گیاهان پوششی مختلف، جو مؤثرترین گیاه پوششی در کنترل علف‌های هرز بود که به نظر می‌رسد دلیل این امر مربوط به تولید زیست‌توده زیاد و در نتیجه، جلوگیری از نفوذ نور به سطح زمین و عدم جوانه‌زنی بذر علف‌های هرز و همچنین بروز اثرات دگرآسیبی ناشی از تجزیه بقایای این گیاه در طی زمان باشد؛ ولی بررسی نتایج مربوط به عملکرد دانه آفتابگردان، حاکی از وجود اثرات دگرآسیبی این گیاه (جو) بر آفتابگردان بود.

کاشت هم‌زمان گیاهان پوششی با آفتابگردان، سبب حصول عملکردی تقریباً مشابه با تیمار وجین علف‌های هرز گردید و حتی کاشت شبدر و ماشک گل‌خوشه‌ای سبب افزایش ۱۷ و ۱۳ درصدی عملکرد در مقایسه با شاهد وجین علف‌های هرز گردید. از این‌رو، کاشت هم‌زمان شبدر برسییم و یا ماشک گل‌خوشه‌ای در بین ردیف‌های آفتابگردان قابل توصیه می‌باشد.

این امر حاکی از آن است که استفاده از گیاهان پوششی توانایی کنترل علف‌های هرز را دارد، اما برای بهبود کارایی آن‌ها لازم است از روش‌های مکمل مانند وجین و یا مقادیر کاهش یافته علف‌کش استفاده نمود. نتایج یگانه‌پور و همکاران (Yeganehpour et al., 2015) روی بررسی زمان‌های مختلف کاشت و نوع گیاه پوششی و دارویی بر عملکرد و زیست‌توده علف‌های هرز ذرت نشان داد طول بلال، تعداد دانه در ردیف بلال و عملکرد دانه تحت تأثیر زمان کشت و نوع گیاه پوششی قرار گرفتند. بیشترین مقدار این صفات در تیمار ذرت با شبدر و کمترین مقدار در تیمار ذرت با شوید مشاهده شد. همچنین بیشترین زیست‌توده علف‌هرز در تیمار شوید با ۱۵ روز تأخیر نسبت به کشت ذرت و کمترین مقدار در تیمار کشت هم‌زمان شبدر با ذرت مشاهده شد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که کاشت گیاهان پوششی صرف نظر از نوع و زمان کاشت آن‌ها نقش مؤثری در کنترل علف‌های هرز و افزایش عملکرد آفتابگردان خواهند داشت. به‌طور کلی، به‌نظر می‌رسد کاشت گندم، جو، ماشک گل‌خوشه‌ای و شبدر به‌عنوان گیاه پوششی در تاریخ کاشت دو ماه قبل از کاشت آفتابگردان (اوایل دی ماه هر دو سال اجرای آزمایش)، فرصت کافی برای رشد این گیاهان را فراهم

References

- Abaspoor, M., and Rezvani Moghaddam, P., 2009. The critical period of weed control in corn (*Zea mays*) at Mashhad, Iran. *Iranian Journal of Field Crops Research* 2(2): 182-195. (In Persian with English Summary)
- Aboutalebian, M., and Mazaheri, D., 2011. Effects of hilling time and cover crop on weed control and potato yield. *Iranian Journal of Field Crop Science* 42: 255-264. (In Persian with English Summary)
- Aghpour, M., Siahmarguee, A., Zeinali, E., Gharekhloo, J., and Kazemi, H., 2019. Investigating the efficiency of various cover crops and their elimination methods on weed populations and yield of maize forage (single-cross 444 variety). *Journal of Crop Production in Press* (In Persian with English Summary)
- Ahmadi, K., Ebadzadeh, H.R., Kazemiyan, A., and Rafiee, M., 2018. *Agricultural Statistics in 2016-2017*. Ministry of Agriculture-Jahad, Iran. (In Persian)
- Arabameri, R., 2008. Prediction of grain number and remobilization in wheat. MSc. Dissertation, Faculty of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resourceces, Iran. (In Persian with English Summary)
- Asghari, J., Vahedi, A., and Khoshghol, H.R., 2011. Critical period of weed control in sunflower (*Helianthus annuus*, L.) in west of Guilan province. *Journal of Plant Protection* 25(2): 116-126. (In Persian with English Summary)
- Barros, J.F.C., DeCarvalho, M., and Basch, G., 2004. Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to sowing date and plant density under mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy* 21(3): 347-356.
- Bolandi Amoughein, M., Tobeh, A., and Taghi Alebrahim, M., 2015. The effect of species, planting date, and management of cover crops on weed community in hybrid sunflower (*Helianthus annuus*). *Journal of Plant*

- Protection 29(3): 337-348. (In Persian with English Summary)
- Brust, J., Claupein, W., and Gerhards, R., 2014. Growth and weed suppression ability of common and new cover crops in Germany. *Crop Protection* 63: 1-8.
- Cabrera, M.L., Kissel, D.E., and Vigil, M.F., 2005. Nitrogen mineralization from organic residues. Research opportunities. *Journal of Environmental Quality* 34: 75-79.
- Dhima, K.V., Vasilakoglou, I.B., Eleftherohorinos, I.G., and Lithourgidis, A.S., 2006. Allelopathic potential of winter cereals and their cover crop mulch effect on grass weed suppression and corn development. *Crop Science* 46: 345-352.
- Emami Bistgani, Z., Siadat, S.A., Bakhshande, A., Alami Saeid, K., and Shiresmaeili, G.H., 2011. Effect of plant density on yield and quality traits of four sunflower genotypes. *Journal of Crop Production and Processing* 1: 91-103. (In Persian with English Summary)
- Farokhi, E., Nabipour, A.R., and Daneshiyan, J., 1397. Instructions for sunflower production in different parts of the country. Agricultural Research Education and Extension Organization. p. 37. (In Persian)
- Ghadiryan, R., Soltani, A., Zeinali, E., Kalateh Arabi, M., and Bakhshandeh, E., 2011. Evaluating non-linear regression models for use in growth analysis of wheat. *Journal of Crop Production* 4(3): 55-77. (In Persian with English Summary)
- Hasanzade, A., Marouee Milan, R., Niko, S.H., and Khalilzade, G.H., 2013. Effect of plant density and planting date on yield and yield component in two varieties of oily *Helianthus annuus* L. *Journal of Agriculture and Natural Resources*. 17: 30-40. (In Persian with English Summary)
- Khajehpour, M., 2004. Production of Industrial Plants. Jihad-e-Daneshgahi Isfahan Press, Isfahan, Iran. (In Persian)
- Khojamli, R., Siahmarguee, A., Zeinali, E., and Soltani, A., 2018. Effect of different winter cover crops on the dynamics of weed populations and corn growth (Single 704). *Journal of Agroecology* 11(2): 110-132. (In Persian with English Summary)
- Jabran, K., 2017. Manipulation of Allelopathic Crops for Weed Control. Springer Briefs in Plant Science. p. 87.
- Lamei Heravani, J., and Alizadeh Dizaj, K., 2014. Grass pea (*Latyrus sativus*) and common vetch (*Vicia sativa*) as suitable green manure after wheat in the cold regions of Iran. *Applied Field Crops Research* 27: 106-112.
- Namdari, T., Ahmadvand, G., and Jahedi, A., 2010. Allelopathic effect of barley, ray and canola cover crops on weed suppression of potato. In: Third Iranian Weed Science Congress, Babolsar, Iran, 11-14 February, p. 251-254. (In Persian with English Summary)
- Naseri, M.T., Koocheki, A., Nassiri, M., and Ghorbani, R., 2008. Allelopathic effects of barley straw on germination and seedling growth of corn, sugar beet and sunflower. *Iranian Journal of Field Crops Research* 6(1): 173-182. (In Persian with English Summary)
- Narwal, S., 2004. Allelopathy in Crop Production. Jodhpur Scientific, India.
- Nazari, S., Zafarian, F., Farahmandfar, E., Zand, E., and Bagheri Shirvan, M., 2012. Corn-weed interaction under different sowing dates of cover crops. *Iranian Journal of Weed Science* 8: 63-78. (In Persian with English Summary)
- Nori-rad-davaji, A.M., and Soltani-najafabadi, M., 2015. Oilseed sunflower farming in Golestan province. Agricultural Research Education and Extension Organization, Golestan, Iran. 46 p. (In Persian)
- Parvizi, P., Najafi, H., and Gafar Zadeh, M., 2013. Survey of cover crop elimination date and type effect and sugar beet weeds population. Fifth Weed Science Community, Tehran, Iran, 10-13 September 2013, p. 200-207. (In Persian with English Summary)
- Rahmani Vasu Kolai, Y., Mobaser, M., Ghanbari Malidare, A., Andar Khor, A., and Dstan, S., 2010. Determination of the best row distance and sunflower density lacumca type in Mazandaran. *Research Magazine in Crop Science* 2(7): 29-36. (In Persian with English Summary)
- Ranjbar, M., Samedani, B., Rahimian, H., Jahansoz, M., and Bihamta, M., 2007. Influence of winter cover crops on weed control and tomato yield. *Pajouhsh and Sazandegi* 74: 24-33. (In Persian with English Summary)
- Scott, T.W., Pleasant, J.M., Burt, R.F., and Otis, D.J., 1987. Contributions of ground cover, dry-matter, and nitrogen from intercrops and cover crops in a corn polyculture system. *Agronomy Journal* 79: 792-798.
- Shahverdi, M., Hejazi, A., Rahimian Mashhadi, H., and Torkamani, A., 2002. Determination of the critical period for weed control in sunflower (*Helianthus annuus* cv. Record). *Iranian Journal of Crop Science* 4(3): 152-164. (In Persian with English Summary)
- Sohrabi-Rad, E. M., Siahmarguee, A., Kazemi, H., Ghaderi-Far F., and Gherekhloo, J., 2017. Influence of crop

- management practices and soil characteristics on weed population and soil seed bank in soybean fields. *Journal of Agroecology* 7(1): 155-172. (In Persian with English Summary)
- Soltani, H., Ghanbari, A., Rastgoo, M., and Asadi, G.A., 2017. Surveying some strategies of cultural management on species growth indices and yield in the field of soybean. *Journal of Plant Protection* 31(3): 396-408. (In Persian with English Summary)
- Stone, L.R., Goodrum, D.E., Schlegel, A.J., Jaafar, M.N., Khan, H., 2002. Water depletion depth of seed sorghum and sunflower in the central high plains. *Agronomy Journal* 94: 936-943.
- Teasdale, J.R., and Abdul-Baki, A.A., 1998. Comparison of mixtures vs. monocultures of cover crops for fresh-market tomato production with and without herbicide. *Horticulture Science* 33: 1163-1166.
- Uchino, H., Iwama, K., Jitsuyama, Y., Yudate, T., and Nakamura, S., 2009. Yield losses of soybean and maize by competition with inter seeded cover crops and weeds in organic based cropping systems. *Field Crops Research* 113: 342-351.
- USDA., 2011. United States Department of Agriculture. Available at Web site <https://www.nrcs.usda.gov>. (Verified 5 September 2018).
- Villalobos, F.J., Sadras, V.O., Soriano, A., and Fereres, S.E., 1994. Planting density effects on dry matter partitioning and productivity of sunflower hybrids. *Field Crops Research* 36(1): 1-11.
- Yeganehpur, F., Zehtab salmasi, S., Abedi, G., Samadivan, F., and Beyginiva, V., 2015. Effects of cover crops and weed management on corn yield. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 14(2): 178-181.
- Zerai-Siahbidi, A., Rezaizad, A., and Elyaspour, S., 2017. Sunflower, coordination managment and promotion of the agricultural Jihad organization. Iran. (In Persian)



Effect of Type and Planting Date of Cover Crops on Weed Population Structure, Morphological Characteristics and Seed Yield of Sunflower (*Helianthus annus* L.)

K. Khajenabi¹, A. Siahmarguee^{2*}, M. R. Dadashi³, P. Alizadeh Dehkordi⁴ and E. Zeinali⁵

Submitted: 24-09-2019

Accepted: 13-01-2020

Khajenabi, K., Siahmarguee, A., Dadashi, M.R., Alizadeh Dehkordi, P., and E. Zeinali, E., 2021. Effect of Type and Planting Date of Cover Crops on Weed Population Structure, Morphological Characteristics and Seed Yield of Sunflower (*Helianthus annus* L.). Journal of Agroecology 12(4):741-761.

Introduction

Cultivation of cover crops associated with their proper management can be a sustainable alternative to conventional weed control methods. In addition to their beneficial effects on weed control, these plants can improve soil structure and organic matter, increase water holding capacity, control soil-borne diseases, reduce soil erosion, and subsequently enhance crop yields. The use of suitable cover crops and optimizing the planting date can improve the advantages mentioned above, especially desired weeds control. They were considering the importance of sunflower production development and the need to introduce the ecological approaches in weed control; the present study aimed to investigate the efficiency of some cover crops and their optimum planting date, the influence on weed structure population and morphological traits, and sunflower seed yield (cv. Lakumka) under climatic conditions of Galougah city, Mazandaran province.

Materials and Methods

In order to study some cover crops and their optimum planting date on controlling the weeds in sunflower production, an experiment was conducted in Galougah city (Mazandaran province, Iran) based on a factorial split-plot arranged in a randomized complete block design (RCBD) with four replications during two growing seasons (including 2016-2017 and 2017-2018). Experimental treatments were considered to cover crops such as wheat, barley, berseem clover, hairy vetch, and different planting dates, including planting two months before, simultaneous, and two weeks after the sunflower planting. Moreover, two treatments without any cover crop cultivations, including with and without weeding, were designed as controls.

Results and Discussion

The study results revealed that the cultivation of mentioned cover crops, regardless of types and planting dates, had a significant role in weeds control and increasing the seed yield of sunflower. In all treatments, the highest weeds dry matter was observed two months before the sunflower planting treatment. Also, barley cover crop had the lowest weeds dry matter in both experimental years in two months before the sunflower planting. It could maintain the weeds dry matter lower than other cover crops during various stages of sunflower growth.

1-PhD Student, Department of Agronomy, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran.

2-Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Crop Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

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

4-Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Shahrekord, Iran.

5-Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Crop Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

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

Doi:10.22067/jag.v12i4.83169

The lowest weed dry matter was observed in simultaneous planting with sunflower for all cover crops. Planting cover crops two weeks after sunflower planting also reduced the weeds dry matter. However, its efficiency was lower than the simultaneous planting of cover crops with sunflower. The highest and lowest sunflower height were observed in the treatments of berseem clover at the same time of planting and in wheat cover crop planting two months before planting of sunflower (181.76 and 105.98 cm), respectively. The highest leaf area index (3.97) was related to berseem clover cover crop in simultaneous planting date with sunflower, which was 14 and 69% more than control treatment without covering crops in weeding non-wedding conditions in two years of experiment, respectively. The lowest sunflower leaf area index was obtained from the wheat cover crop on the planting date two months before sunflower planting (first and second year 0.96 and 1.08, respectively). The highest sunflower dry matter (485.61 g.m^{-2}) was observed in berseem clover cover crop simultaneous with sunflower planting, which was not significantly different from control treatment in weeding conditions. The lowest sunflower dry matter (108.27 g.m^{-2}) was obtained in wheat planting two months before sunflower planting. Finally, the highest seed yield of sunflower was obtained in simultaneous planting of berseem clover with sunflower ($2859.06 \text{ kg.ha}^{-1}$), which was 17% higher than the control treatment without any cover crops in weeding condition ($2381.1 \text{ kg.ha}^{-1}$).

Conclusion

Simultaneous planting dates of cover crops with sunflower led to seed yield similar to weeding treatment. Even planting of berseem clover and hairy vetch had 17 and 14% enhancement in sunflower seed yield. Therefore, berseem clover cover crop planting simultaneously as sunflower planting, reduced weed growth, and increased seed yield of sunflower, it can be introduced as a solution for optimal sunflower production in sustainable agriculture.

Keywords: Berseem clover, Hairy vetch, Leaf area index, Sustainable agriculture, Weeding

Contents

Evaluation of DSSAT-Nwheat Model across a Wide Range of Climate Conditions in Iran	579
M. Fallah, A. Nezami, H. Khazaie and M. Nassiri Mahallati	
Optimization of Irrigation and Plant Density of Corn (<i>Zea mays</i> L.) by Using Response-Surface Methodology	593
A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati and A. Momen	
Effect of Rotational Irrigation on Physiological Growth Indexes and Water Use of Four Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) Cultivars in Gilan Province	611
H. Asghari Lalami, S.A. Valadabadi, M. Yazdani, H. Zakrin and M.A. Gholipour	
Determination of Potato (<i>Solanum tuberosum</i> L.) Yield Gap in Golestan Province	632
A. Dadrasi B. Torabi, A. Rahimi, A. Soltani and E. Zeinali	
Effects of Plant Density and Nitrogen on Physiological Growth Indices, Yield Components and Yield of Black Seed (<i>Nigella sativa</i> L.) as a Medicinal Plant	649
A. Mollafilabi and H. Moodi	
Evaluating the Yield of Dry Leaf and Seed and Leaf and Seed Water Use Efficiency of four Indigo (<i>Indigofera tinctorial</i> L.) Ecotypes under Water Deficit conditions	661
F. Rastegari, E. Tohidinejad and G. Mohammadi-nejad	
Investigation of Forage Yield and Nutrients Uptake in Intercropping of Barley (<i>Hordeum vulgare</i> L.) and Grass Pea (<i>Lathyrus sativus</i> L.) Affected by Symbiosis with <i>Glomus intraradices</i> Fungus	682
M. Haghaninia, A. Javanmard and S. Mollaaliabasiyan	
Comparison of water Requirement of Tomato (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) Fields of Hormozgan Province with other Southern Regions of Iran Using Time Series Analysis	701
F. Abdollahi, L. Jafari and S. Asadi	
Evaluation of Quantitative Traits of Bread Wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) Cultivars in Different Planting Dates	720
L. Garshasbi, F. Paknejad, S.S. Jasemi, M. Nabi Ilkaee and S. Sanjani	
Influence of Concentration and Time of Kaolin Application on Agronomic Traits, Canola Aphid (<i>Brevicoryne brassicae</i> L.) and Its Natural Enemies	739
M. Moarefi, S. Seddigh and A. Hamrahi	
Effect of Type and Planting Date of Cover Crops on Weed Population Structure, Morphological Characteristics and Seed Yield of Sunflower (<i>Helianthus annus</i> L.)	760
K. Khajenabi, A. Siahmarguee, M. R. Dadashi, P. Alizadeh Dehkordi and E. Zeinali	

Journal of Agroecology (Quarterly)

Ferdowsi University of Mashhad

Vol. 12 No. 4 Winter 2021

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>