



عنوان مقالات

- ۳..... واکنش رشد و عملکرد رقم گندم مین به اثرات تغییر اقلیم در دو منطقه کرمان و اردبیل روح‌اله مرادی و مهدی نقی زاده
- ۱۹..... ارزیابی ویژگی‌های فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد دانه پنج توده بالنگوی شهری (*Lallemantia ibetica*) در شرایط دیم منطقه خرم آباد زینب سراقوز، مجید امینی دهقی و محمود رفیعی
- ۲۳..... تأثیر کاربرد کودهای شیمیایی، آلی و زیستی بر عملکرد و صفات بیوشیمیایی موسیر ایرانی (*Allium hirtifolium*) راضیه امیرخانی، حسن آروزی و عبدالله قاسمی بیرلوئی
- ۵۳..... ارزیابی مدل DSSAT-CROPGRO-Canola برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد دو رقم کلزا (*Brassica napus* L.) در منطقه کرج گلاره گوردوزی، احمد قسری، سعید صوفی‌زاده، حمید جباری و علی اسکندری
- ۷۷..... تهیه نقشه‌های پراکنش سطح زیر کشت گیاهان باغی و زراعی در سطح کشوری برای ایران سید مجید عالی مقام، الهامین سلطانی، امیر دادوسی و علیرضا نعمتدانی
- ۹۱..... کاربرد قارچ میکروبی (*Rhizophagus intraradices*) و کود نیتروژنه در رژیم‌های مختلف آبیاری بر خصوصیات کشتی و کیفی ضایع‌قلتی (*Mentha piperita* L.) عبدالله جواهری، علی اسدانی و مصطفی امانی حاجیانی
- ۱۲۱..... ارزیابی کارایی تکنیک موافق شترنجه کشت برنج (*Oryza sativa* L.) بر نگهداشت رطوبتی، میزان CO₂ و جمعیت میکروبی خاک آید احمدپور دهکردی، علی عباسی سورکی، مهدی پژوهش و ژمان مهناسی
- ۱۴۱..... اثر کاربرد نیتروژن کودهای زیستی و شیمیایی بر شاخص سطح برگ و عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) در شرایط آبیاری متفاوت اردلان بالابندیان، مجید عاشوری، حمیدرضا درویشیان، سید مصطفی صادقی و مجتبی رضایی
- ۱۵۵..... اثر ترکیب‌های کشت مخلوط سه-ساله تأخیری چغندرقد (*Beta vulgaris* L.)، نخود (*Cicer arietinum* L.) و ماش (*Vigna radiata* L.) بر عملکرد و اجزای عملکرد علیرضا کویچکی، مهدی نصیری محلاتی، محمد حسن هاشمی فریدان و میا هوشمند
- ۱۷۱..... بازآمیزی و ارزیابی مدل SSM-iCrop² برای پیش‌بینی رشد و عملکرد یونجه (*Medicago sativa* L.) در ایران نسیم پورغریزی، الهامین سلطانی، ابراهیم زبانی و بهنام قرایی
- ۱۹۳..... تعیین شاخص‌های کارایی و واکنش فتوسنتزی مراحل مختلف نمو لاین‌های کینوا (*Chenopodium quinoa* L.) با استفاده از مدل‌های خطی و غیرخطی شهاب‌الدین شاه‌آباد، محسن جهان، منصوره امجدی و مهدی نصیری محلاتی

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 ۱۵ شماره ۱ بهار ۱۴۰۲

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

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

اعضای هیئت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا)

دکتر گودرز احمدوند، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

دکتر مرتضی برمکی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی

دکتر محمد پسرکلی، استاد پژوهشی، دانشکده علوم گیاهی، دانشگاه آریزونا

دکتر سرور خرم دل، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر عادل دباغ محمدی نسب، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

دکتر مهدی راستگو، استاد 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 منصور قربانپور، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک

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

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

آدرس سایت: <https://agry.um.ac.ir>

پست الکترونیکی: agroecology@um.ac.ir

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)

مقالات این شماره در سایت <https://agry.um.ac.ir> به صورت مقاله کامل نمایه شده است.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

- ۳ واکنش رشد و عملکرد رقم گندم میهن به اثرات تغییر اقلیم در دو منطقه کرمان و اردبیل
روح اله مرادی و مهدی نقی زاده
- ۱۹ ارزیابی ویژگی های فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد دانه پنج توده بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica*) در شرایط دیم منطقه خرم آباد
زینب سرافراز، مجید امینی دهقی و مسعود رفیعی
- ۳۳ تأثیر کاربرد کودهای شیمیایی، آلی و زیستی بر عملکرد و صفات بیوشیمیایی موسیر ایرانی (*Allium hirtifolium*)
راضیه امیرخانی، حسین آرویی و عبدالله قاسمی پیربلوطی
- ۵۳ ارزیابی مدل DSSAT-CROPGRO-Canola برای شبیه سازی رشد و عملکرد دو رقم کلزا (*Brassica napus* L.) در منطقه کرج
گلاره گودرزی، احمد قنبری، سعید صوفی زاده، حمید جباری و علی اسکندری
- ۷۷ تهیه نقشه های پراکنش سطح زیر کشت گیاهان باغی و زراعی در سطح کشوری برای ایران
سید مجید عالی مقام، افشین سلطانی، امیر دادرسی و علیرضا نه بندانی
- ۹۱ کاربرد قارچ میکوریز (*Rhizophagus intraradices*) و کود نیتروژنه در رژیم های مختلف آبیاری بر خصوصیات کمی و کیفی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)
عبدالله جوانمرد، علی استادی و مصطفی امانی ماجانی
- ۱۲۱ ارزیابی کارایی تکنیک موانع شطرنجی کلش برنج (*Oryza sativa* L.) بر نگهداشت رطوبتی، میزان CO₂ و جمعیت میکروبی خاک
الهه احمدپور دهکردی، علی عباسی سورکی، مهدی پژوهش و پژمان طهماسبی
- ۱۴۱ اثر کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی بر شاخص سطح برگ و عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) در شرایط آبیاری متفاوت
اردلان بالابندیان، مجید عاشوری، حمیدرضا درودیان، سید مصطفی صادقی و مجتبی رضایی
- ۱۵۵ اثر ترکیب های کشت مخلوط سه گانه تأخیری چغندر قند (*Beta vulgaris* L.)، نخود (*Cicer arietinum* L.) و ماش (*Vigna radiata* L.) بر عملکرد و اجزای عملکرد
علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی، محمد حسن هاتفی فرجیان و مینا هوشمند
- ۱۷۱ پارامتریابی و ارزیابی مدل SSM-iCrop2 برای پیش بینی رشد و عملکرد یونجه (*Medicago sativa* L.) در ایران
شبنم پورشیرازی، افشین سلطانی، ابراهیم زینلی و بنیامین ترابی
- ۱۹۳ تعیین دماهای کاردینال و واکنش فتوپریودی مراحل مختلف نموی لاین های کینوا (*Chenopodium quinoa* L.) با استفاده از مدل های خطی و غیر خطی
شهاب اقبالی شاه آباد، محسن جهان، معصومه صالحی و مهدی نصیری محلاتی

اسامی ارزیابان جلد ۱۵ شماره ۱ (بهار ۱۴۰۲) نشریه بوم شناسی کشاورزی (به ترتیب الفبا)

دکتر علیرضا آستارائی	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر سارا اسدی	دانش آموخته دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر محمدرضا اصغری پور	دانشگاه زابل
دکتر یحیی امام	دانشگاه شیراز
دکتر ابراهیم امیری	دانشگاه آزاد اسلامی، واحد لاهیجان
دکتر سیدرضا امیری	مجتمع آموزش عالی سراوان
دکتر محمد بنایان اول	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر سهیل پارسا	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر علیرضا پیرزاد	دانشگاه ارومیه
دکتر رضا توکل افشاری	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر لیلا جعفری	دانشگاه هرمزگان
دکتر سید مهدی جوادزاده	دانشگاه آزاد اسلامی - ایرانشهر
دکتر سرور خرم دل	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر علیرضا دادخواه	دانشگاه بجنورد
دکتر رضا دیهیم فرد	دانشگاه شهید بهشتی تهران
دکتر حمیدرضا ذبیحی	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
دکتر هادی رضائی اعتدالی	دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین
دکتر امیر سالاری	دانشگاه شهید چمران اهواز
دکتر جواد سیدمحمدی	موسسه تحقیقات خاک و آب
دکتر محمدرضا عباسی	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
دکتر اشکان عسگری	دانشگاه هرمزگان
دکتر حمیدرضا فلاحی	دانشگاه بیرجند
دکتر بهنام کامکار	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر امیر لکزیان	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر علی مومنی	موسسه تحقیقات برنج مازندران

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 زنتیکی، آلودگی منابع آب و خاک، آلودگی مواد غذایی به بقایای مواد شیمیایی و افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرمایش زمین، تنها بخشی از مشکلات ناشی از فعالیت‌های بی‌رویه کشاورزی توسط انسان است. بهمین دلیل، امروزه در جستجو برای نوعی کشاورزی جایگزین، به کاربرد مبانی بوم‌شناسی در عملیات کشاورزی توجه خاصی معطوف شده است. چنین رویکردی 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 توجه 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 اتکا به نهاده‌های خارج از مزرعه
- عملیات زراعی در رابطه با کشت‌های مخلوط و کشت گیاهان پوششی
- عملیات تلفیقی در مدیریت زراعی
- بهره‌برداری از منابع غیر رایج آب و خاک
- استفاده از گیاهان زراعی فراموش شده و جدید
- بهره‌گیری از روابط کمی در عوامل تولید و مدل‌سازی رشد و نمو گیاهی
- روش‌های پایش عملکرد و مطالعات ارزیابی خلاء عملکرد
- کاربرد اصول فیزیولوژی در شناخت روابط اکولوژیک و افزایش کارایی 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 بیولوژیکی، استفاده از میکوریزا و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن
- کاربرد کمپوست و فرآورده‌های مشابه
- اصلاح خاک از طریق فرآورده‌های بیولوژیکی
- مدیریت اکولوژیک آفات، بیماری‌ها و علفهای هرز با استفاده از روابط بیولوژیکی و عملیات تلفیقی
- عملیات ترسیب کربن و کاهش گازهای گلخانه‌ای
- استفاده از گیاهان دارویی در تناوب و یا بصورت همراه با محصولات زراعی
- عملیات زراعی در جهت بهبود تنوع زیستی
- بوم‌شناسی کشاورزی و دانش بومی
- تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی تولید محصولات زراعی با اتکاء به دیدگاه‌های بوم‌شناختی و اقتصاد اکولوژیک

راهنمای نحوه نگارش و تهیه مقالات

- از آنجایی که هدف مجله "بوم‌شناسی کشاورزی" پیوستن به فهرست مجلات ISI می‌باشد، رعایت موارد زیر در نوشتن مقاله ضروری خواهد بود.
- متن مقاله روی کاغذ A4 با فاصله 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 اندازه گیری بر اساس سیستم متریک باشند.
- کلیه سطرهای متن مقاله بصورت ادامه دار (Continuous) شماره گذاری (Line numbering) شوند.
- هر مقاله باید شامل بخشهای مقدمه، مواد و روش ها، نتایج و بحث، نتیجه گیری، سپاسگزاری، فهرست منابع و چکیده مبسوط کاملاً تفکیک و محتوای آنها متناسب با عنوان هر قسمت باشد.
- **عنوان مقاله** کوتاه و معرف کامل موضوع تحقیق بوده، حداکثر 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 نام خانوادگی، درجه علمی، آدرس پستی و الکترونیکی، تلفن تماس، نام نویسنده مسئول به زبان فارسی و سپس عنوان انگلیسی مقاله، نام و نام خانوادگی، 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 روش ها و ۵۰٪ مربوط به نتایج و بحث باشد و در انتها هم یک نتیجه گیری کلی نوشته شود.
- **کلمات کلیدی** در انتهای چکیده و حداکثر شش کلمه آورده شوند. کلمات کلیدی در عنوان مقاله وجود نداشته باشند.
- **در متن مقاله** نحوه رجوع به منابع بصورت اسم نویسنده (نویسندگان) و تاریخ انتشار منبع باشد. در ارجاع به منابع باید تا حد ممکن از نام بردن افراد در شروع جمله خودداری و منابع در انتهای جمله و در پرانتز ارائه شوند مانند: (Mohamadi, 2007). برای جداسازی منابع در انتهای جمله از ";" استفاده می شود
- مثال: (Smith, 1999; Samuel et al., 2008; Smith & Samuel, 2009).
- چنانچه در شروع جمله به منبعی استناد شود به صورت نام (سال) نوشته شود و اسامی فارسی نیز باید به لاتین و سال شمسی به میلادی برگردان شوند. نحوه ارجاع به منابع دارای یک نگارنده، دو نگارنده و چند نگارنده که در ابتدای جمله قرار گیرند به ترتیب زیر انجام گیرد:
- Smith (1999)، Smith & Samuel (2009) و Samuel et al. (2008)
- **جداول و شکل ها:** در تنظیم جداول از خطوط افقی و عمودی استفاده نشود مگر در بالا و پایین سطر اول جدول و پایین آخرین سطر آن. هر ستون جدول باید دارای عنوان و واحد مربوط باشد. ترجمه انگلیسی عنوان و زیر عنوان های جداول در زیر نوشته فارسی آنها درج شوند. محتوای جداول (اعداد) تنها به انگلیسی نوشته شوند. شکلها کاملاً انگلیسی تنظیم گردند. بطور کلی اطلاعات شکل ها و جداول قابل استفاده برای خوانندگان انگلیسی زبان باشد.

در مقایسه میانگین ها با استفاده از روش **LSD** نیاز به حروف گذاری نمی باشد، چرا که در این روش میانگین ها دو به دو با شاهد مقایسه می شوند. لذا در جدول های مقایسه میانگین ها یا شکل ها مقادیر **LSD (5%)** برای هر صفت آورده می شود تا امکان مقایسه دو به دو نیز وجود داشته باشد و حروف گذاری در جدول ها و شکل ها حذف شوند. همچنین در تمامی جدول ها و

شکل ها جمله زیر نویس "میانگین های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند" حذف شود.

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 ۰/۵ 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 می شود، در قسمت Bibliography style نوع Agri Ecosys Enviro انتخاب گردد.

- تمامی ارجاعات داخل متن باید به رفرنس مربوطه لینک شوند.
- درج شناسه DOI (در صورت وجود) در انتهای هر رفرنس الزامی است.
- در نوشتن لیست منابع و ارجاعات درون متن از روش رفرنس نویسی APA استفاده شود.

مثال هایی از نحوه نوشتن فهرست منابع در ذیل آمده است:

۱- مجلات:

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Javadi, M. (2014). The Ecological Footprint of Students for the Campus of Ferdowsi University of Mashhad (FUM). *Journal of Agroecology*. 14(3), 399-413. DOI: 10.22067/jag.v16i1.87148

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- رساله های 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- کنفرانس های 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- گزارش های علمی:

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

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

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

۱۰- نرم افزار های کامپیوتری:

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

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

از کلیه همکاران، پژوهشگران و دانشجویان تحصیلات تکمیلی که مایل به چاپ مقاله در این مجله می باشند، تقاضا می شود 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 بوم شناسی 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 بوم شناسی کشاورزی مبتنی به نتایج پژوهش هایی است که مستقیماً با محیط طبیعی در ارتباط است، نتایج پژوهش های مربوط به محیط های تحت کنترل مانند گلخانه و آزمایشگاه تناسب چندانی با این نشریه ندارند و لذا از پذیرش مقالاتی که حاصل چنین پژوهش هایی باشد معذوریم.



Growth and Yield Response of Wheat (Mihan variety) to Future Climate Change in Kerman and Ardebil

Rooholla Moradi ^{1*} and Mehdi Naghizadeh ²

Received: 03-07-2021
Revised: 09-10-2021
Accepted: 10-10-2021
Available Online: 10-10-2021

How to cite this article:

Moradi, R., & Naghizadeh, M. (2023). Growth and yield response of wheat (Mihan variety) to future climate change in Kerman and Ardebil. *Journal of Agroecology* 15(1), 1-16
DOI: [10.22067/agry.2021.70099.1043](https://doi.org/10.22067/agry.2021.70099.1043)

Introduction

Global warming has already been occurring in Iran and will probably continue during the 21st century. There has been an increased intensity and frequency of hot daytime temperatures in the last two decades in the country. Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) is the most important staple food crop in the country, with a total farming area of nearly 6.33 million ha and a production exceeding 14 million tons in 2017. Wheat production in Iran is an important component of national food security. The crop is grown almost all over the country under varied soil and climatic conditions. Most parts of Iran have an arid and semi-arid climate with long dry summer and winter rainfall, which climate change may negatively affect wheat production sustainability in these vulnerable environments. Wheat is a thermo-sensitive crop, and a change in air temperature may alter the length of its growing period and grain yield. Wheat production mainly depends on the duration of the reproductive period; thus, precise crop phenology estimation is essential for yield prediction under current and future climate conditions. The variety of C-84-8, which is named "Mihan," was introduced from the cross between the domestic variety "Barkat" and the Chinese variety "Zhong87-90" in Karaj for normal irrigation conditions and drought stress after the flowering stage in the cold regions of Iran in 2009. Mihan variety is known as a high yielded potential. The actual yield of this variety in Ardabil province has been reported between 8.13 to 10.31 tons per hectare.

Materials and Methods

The aim of this study was to simulate the climate change effects on the growth period, LAI, and biological and grain yield of wheat (Mihan variety) in the Kerman and Ardebil regions. For this purpose, we employed the HadGEM2-ES model as affected by two RCP4.5 and RCP8.5 scenarios for two time periods, 2021-2055 and 2056-2090. MarkSIMGCM model was used to produce daily climatic parameters as one stochastic growing season for each projection period, and the CERES-wheat model in DSSAT software was used to simulate wheat growth. Calibration and validation of the model in Kerman were performed with two-year experiments designed at the Shahid Bahonar University farm in Kerman, and for the Ardabil region, it performed with the data of the wheat projects of the Agricultural Research and Training Center and Natural Resources of Ardabil province.

Results and Discussion

The results of the model evaluation showed that MarkSIMGCM had an appropriate prediction for simulating climatic parameters and stochastic growing seasons in future climate change conditions. In both studied regions, the RCP8.5 scenario has a higher temperature and radiation increase than the RCP4.5 scenario, and these changes are greater in the long-term period than in the short-term period. Rainfall changes in both investigated regions did not

1- Associate Professor, Department of Plant Productions, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

2- Assistance Professor, Department of Plant Productions, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

(*- Corresponding author's Email: r.moradi@uk.ac.ir)

show a regular trend. The growing period length was reduced by 0.51% -4.59% as affected by various climate change scenarios and periods. In the near period time (2055), simulating results showed that wheat grain yield would decrease by 3.87% compared to the current condition based on the RCP4.5 scenario. But, the traits will be increased by 0.99%-15.15% according to the RCP8.5 scenario in Kerman and Ardebil based on both scenarios. In the far period time (2090), the grain yield for the Kerman region will respectively decrease by -7.39% and -36% according to both RCP4.5 and RCP8.5 scenarios compared to the current time, and in Ardabil, based on the scenario RCP4.5 will be improved by 20.36%, and it will be declined by -2.89% according to the RCP8.5 scenario. This indicates that the negative impacts of warming will outweigh to the positive effect of CO₂ enrichment over time.

Conclusion

In general, the results confirmed that the Mihan variety would produce acceptable grain yield in the future climate change conditions of Ardabil, but in Kerman, mitigating strategies should be considered to adapt wheat to the adverse impacts of climate change.

Keywords: CO₂, Downscaling, Global warming, Scenario

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، ص ۱-۱۶

واکنش رشد و عملکرد رقم گندم به اثرات تغییر اقلیم در دو منطقه کرمان و اردبیل

روح اله مرادی^{۱*} و مهدی نقی‌زاده^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۷/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۸

چکیده

این مطالعه با هدف شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر دوره رشد، شاخص سطح برگ، عملکرد زیست‌توده و دانه گندم رقم میهن در دو استان کرمان و اردبیل اجرا شد. برای این منظور، مدل گردش عمومی HadGEM2-ES تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در دو دوره زمانی ۲۰۵۵-۲۰۲۱ و ۲۰۹۰-۲۰۵۶ به کار برده شد. برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی و ایجاد فصل رشد احتمالی برای هر دوره از نرم‌افزار MarkSIMGCM و برای شبیه‌سازی رشد گندم از مدل CERES- Wheat در نرم‌افزار DSSAT استفاده گردید. نتایج ارزیابی مدل نشان داد که MarkSIMGCM دقت قابل قبولی برای پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و شبیه‌سازی فصل رشد احتمالی در شرایط تغییر اقلیم آینده داشت. طول دوره رشد گندم تحت تأثیر تغییر اقلیم در هر دو سناریو برای دوره‌های مورد سنجش و در هر دو منطقه مورد بررسی بین ۰/۵۱ تا ۴/۵۹ درصد کاهش خواهد یافت. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تا سال ۲۰۵۵ عملکرد بر اساس سناریوی RCP4.5 در منطقه کرمان نسبت به شرایط کنونی ۳/۸۷ درصد کاهش خواهد یافت. اما، طبق سناریوی RCP8.5 در کرمان و هر دو سناریوی یاد شده در اردبیل، عملکرد گندم در آینده بین ۰/۹۹ تا ۱۵/۱۵ درصد افزایش خواهد یافت. در دوره بلندمدت (۲۰۹۰) عملکرد گندم برای منطقه کرمان طبق هر دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به زمان کنونی کاهشی (به ترتیب ۷/۳۹- و ۳۶- درصد) بوده و در اردبیل بر اساس سناریوی RCP4.5 افزایشی (۲۰/۳۶ درصد) و طبق سناریوی RCP8.5 کاهشی (۲/۸۹- درصد) خواهد بود. این نشان می‌دهد، نقش منفی افزایش دما با گذشت زمان بیشتر از اثر مثبت افزایش CO₂ خواهد بود. به‌طور کلی، نتایج تأیید نمود که رقم میهن در شرایط آینده اقلیمی اردبیل عملکرد قابل قبولی تولید خواهد نمود، ولی در کرمان باید راهکارهایی جهت سازگاری به این شرایط سنجیده شود.

واژه‌های کلیدی: دی اکسید کربن، ریزمقیاس نمایی، سناریو، گرمایش جهانی

مقدمه

تولید این محصول نسبت به مقدار کنونی افزایش یابد (FAO, 2020) و افزایش تولید در واحد سطح راه اصلی تحقق این هدف می‌باشد. نتایج بررسی انجام شده در مورد وضعیت ۵۰ ساله تولید غلات در ایران (Zare Feyz Abadi et al., 2006) نیز نشان داده است که سطح زیر کشت گندم کشور به‌ویژه در طی ۱۰ سال گذشته رشد اندکی داشته و افزایش تولید این محصول عمدتاً ناشی از افزایش

ارزیابی وضعیت آینده تولید غلات و به‌ویژه گندم به دلیل اهمیت آن در تغذیه مردم جهان، توجه بسیاری از محققان و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی را به خود معطوف کرده است. برآوردها نشان می‌دهد که در مقیاس جهانی برای تأمین نیاز گندم برای آیندگان، لازم است

۱- دانشیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۲- استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

(Email: r.moradi@uk.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

و دما در مناطق مختلف ایران توسط باباییان و همکاران (Babaeian et al., 2015) بررسی شد و نتایج این تحقیق نشان داد که تا سال ۲۱۰۰ میلادی، میانگین دما در مناطق سرد ۳/۳ درجه سانتی‌گراد و در مناطق گرم ۴/۱ درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای کنونی افزایش خواهد یافت. نتایج واقفی و همکاران (Vaghefi et al., 2019) نیز نشان داد که بیشترین افزایش دما تا سال ۲۰۵۰ میلادی برای مناطق جنوب شرق و کمترین میزان برای مناطق شمال غرب کشور رخ خواهد داد.

یکی از مشکلاتی که تولید گندم در کشور را تهدید می‌کند، تغییرات اقلیمی آینده و مسئله گرمایش جهانی می‌باشد که تحقیقات مختلفی در کشور آن را تأیید می‌کند (Moradi et al., 2013; Laskari et al., 2012; Moradi et al., 2014; Hesam Arefi et al., 2017; Yazdani et al., 2021; Mousavi et al., 2020; Rahimi et al., 2020). مطالعه حسام عارفی و همکاران (Arefi et al., 2017) در خصوص نقش تغییر اقلیم بر تولید گندم نشان داد که رشد، نمو و عملکرد گندم زمستانه در ایران به شدت می‌تواند تحت تأثیر افزایش دما قرار گیرد. عملکرد دانه گندم در آینده در نتیجه تغییرات اقلیمی حدود ۲ تا ۱۹ درصد کاهش خواهد یافت. نتایج شبیه‌سازی ایشان نشان داد که رقم گندم میهن به‌عنوان یک رقم زودرس بیشترین عملکرد را در بین ارقام مورد بررسی در شرایط تغییر اقلیم دارا خواهد بود. نتایج لی و همکاران (Li et al., 2016) در چین نشان داد که تأثیر منفی گرمایش جهانی بر عملکرد گندم در مناطق گرم و خشک بیشتر از مناطق کوهستانی و سرد می‌باشد. گزارش شده است که تغییرات درجه روز رشد گیاه گندم در مناطق کویری مرکز و شرق ایران به‌میزان قابل توجهی بیشتر از مناطق غرب و شمال ایران می‌باشد (Roshan et al., 2014).

لاین C-84-8 با نام "میهن" از دورگ‌گیری بین رقم داخلی برکت و رقم چینی Zhong87-90 در کرج جهت شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی پس از مرحله گل‌دهی در مناطق سرد ایران در سال زراعی ۱۳۸۹ معرفی شده و از ارقامی است که از پتانسیل عملکرد بالایی برخوردار است. عملکردی تولیدی آن در اردبیل بین ۸/۱۳ تن در هکتار (Ghasemi, 2017) تا ۱۰/۳۱ تن در هکتار (Ebadinezhad et al., 2014) گزارش شده است. باوجود اینکه این رقم برای شرایط آبیاری معمول و تنش خشکی پس از مرحله گل‌دهی در مناطق سردسیر کشور اصلاح شده است (Aminzadeh et al., 2015)، ولی تحقیقات نشان می‌دهد که کاشت این رقم در مناطق گرم و خشکی

عملکرد در واحد سطح بوده است. بنابراین، به نظر می‌رسد که در ایران نیز مثل سایر مناطق جهان، تلاش محققان باید بر ارائه راهکارهایی جهت بهبود عملکرد تمرکز یابد.

در سال‌های اخیر تغییرات قابل توجهی در دما و بارندگی در بعد جهانی و منطقه‌ای هم از لحاظ مقدار و هم زمان وقوع به‌عنوان تغییر اقلیم شناخته شده است که به تبع آن اثرات مختلفی بر نهاده‌ها و تولیدات کشاورزی گذاشته است (Luo et al., 2018). علی‌رغم عدم قطعیت‌های موجود در پیش‌بینی‌های مربوط به تغییرات اقلیمی آینده، وقوع این پدیده مورد پذیرش عمومی محققین در ایران بوده و پیامدهای منفی ناشی از آن بر تولیدات زراعی محرز می‌باشد (Moradi et al., 2014). تولید کشاورزی در آینده بسیار متفاوت‌تر از شرایط گذشته و کنونی پیش‌بینی می‌شود و تغییرات آب و هوایی، چالش عمده در این زمینه خواهد بود. تغییر اقلیم می‌تواند اثر بالقوه‌ای بر روی کشاورزی داشته باشد، به‌عنوان نمونه کاهش طول فصل رشد و تجمع بالای واحدهای گرمایی از مهم‌ترین اثرات تغییر در الگوی دمای هوا و مولفه‌های وابسته به آن محسوب می‌شود (Sha et al., 2019). از آنجایی که تولید محصولات زراعی مستقیماً به شرایط اقلیمی وابسته است، کشاورزی یکی از اولین بخش‌هایی است که تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار می‌گیرد (Ozkan & Akcaoz, 2002). اگرچه کشاورزان قادر نیستند شرایط اقلیمی را کنترل کنند، ولی مدیریت و تغییر در فاکتورهایی چون، آبیاری، خاک، رقم محصول، فعالیت‌ها و تکنولوژی‌های مورد استفاده در کشت محصولات زراعی، می‌تواند در کاهش اثرات مضر تغییر اقلیم بر رشد، نمو و عملکرد محصولات کشاورزی نقش بسزایی داشته باشد (Moradi et al., 2013).

مدل‌های گردش عمومی (GCM) ابزار مناسب و در عین حال دقیقی برای پیش‌بینی شرایط اقلیمی آینده بوده و داده‌های لازم برای اجرای مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو محصولات زراعی تحت شرایط تغییر اقلیم را فراهم می‌سازند (Jones et al., 2003). بنابراین، با در اختیار داشتن اطلاعات خروجی از مدل‌های رشد گیاهان زراعی می‌توان فرایندهای مرتبط با تغییر اقلیم را با سرعت زیاد و هزینه کم پیش‌بینی نمود (De Wit et al., 2008). نتایج شبیه‌سازی مدل‌های اقلیمی نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی در مناطق با اقلیم‌های مختلف با یک روند و شدت مشابه اتفاق نمی‌افتد (Dastorani & Poormohammadi, 2016). به‌عنوان مثال، میزان افزایش بارندگی

مواد و روش‌ها

مناطق مورد بررسی: این تحقیق در دو منطقه کرمان با اقلیم

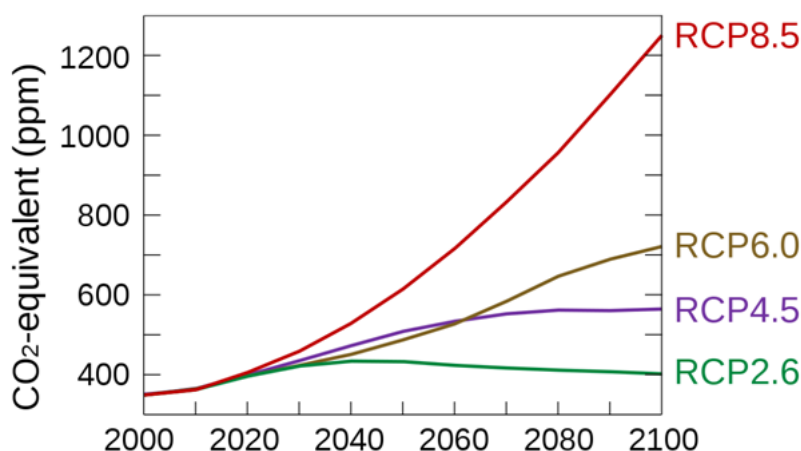
گرم و خشک و اردبیل با اقلیم سرد و نیمه خشک (طبق طبقه بندی آمبرژه) انجام شد. میانگین خصوصیات اقلیمی این مناطق از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۲۰ در جدول ۱ نشان داده شده است.

مانند کرمان، عملکرد بالاتری نسبت به ارقام قدیمی و رایج این منطقه مانند ارقام امید و ارگ دارا می باشد (Hesam Arefi et al., 2018). نتایج یزدان سپاس و همکاران (Yazdansepas et al., 2011) نشان داد که رقم میهن در مناطق مختلف کشور عملکردی بین ۶۷۷۲ تا ۹۴۲۲ کیلوگرم در هکتار تولید نموده است. بنابراین، هدف از این تحقیق، بررسی واکنش رقم میهن به عنوان یک رقم جدید و پرمحصول به شرایط اقلیمی آینده در دو اقلیم متفاوت گرم و خشک کرمان و سرد و نیمه خشک اردبیل بود.

جدول ۱- میانگین داده‌های اقلیمی برای دوره ۱۹۸۴-۲۰۲۰ در دو منطقه کرمان و اردبیل

Table 1- Mean climate characteristics of the studied area from 1984-2020

شاخص Parameter	مجموع تشعشع خورشیدی Solar radiation (Mj.m ⁻²)	بارندگی Precipitation (mm)	میانگین دمای حداکثر Maximum temperature (°C)	میانگین دمای حداقل Minimum temperature (°C)
کرمان Kerman	6241	132	24.47	7.18
اردبیل Ardebil	4988	303	15.55	4.14



شکل ۱- تغییرات میزان CO₂ تحت تأثیر سناریوهای مختلف AR5 (Meinshausen et al., 2013)

Fig. 1- CO₂ trend based on AR5 scenarios (Meinshausen et al., 2013)

جدول ۲- تغییرات دما بر اساس سناریوهای AR5

Table 2- AR5 global warming increase (°C) projections

Scenario	2046-2065	2081-2100
سناریو	۲۰۴۶-۲۰۶۵	۲۰۸۱-۲۱۰۰
RCP2.6	1.0 (0.4 to 1.6)	1.0 (0.3 to 1.7)
RCP4.5	1.4 (0.9 to 2.0)	1.8 (1.1 to 2.6)
RCP6	1.3 (0.8 to 1.8)	2.2 (1.4 to 3.1)
RCP8.5	2.0 (1.4 to 2.6)	3.7 (2.6 to 4.8)

مدل اقلیمی و جمع‌آوری اطلاعات: برای شبیه‌سازی اقلیم دوره آینده از نرم‌افزار MarkSIMGCM استفاده شد. نوری و همکاران (Nouri et al., 2017) تأیید نمودند که این نرم‌افزار قابلیت ریزمقیاس نمایی مدل‌های گردش عمومی AOGCM را برای اقلیم‌های مختلف ایران دارا می‌باشد. نرم‌افزار مذکور به‌عنوان یک ابزار مبتنی بر وب، با استفاده از مدل تصادفی مرتبه سوم مارکوف داده‌های دمای حداقل و حداکثر، بارش و تشعشع خورشیدی را به مقیاس روزانه ریزگردانی می‌کند (Fouial et al., 2016). این مدل دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ را به‌عنوان دوره مبنا برای ریزمقیاس نمایی در نظر می‌گیرد که بر اساس ۱۷ مدل از سری مدل‌های CMIP5 بر اساس گزارش پنجم (AR5) سازمان بین‌الدول تغییر اقلیم تحت عنوان چهار سناریوی RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 اقدام به شبیه‌سازی شرایط اقلیمی آینده از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۹۵ میلادی می‌کند که جزئیات این ۱۷ مدل به‌طور دقیق در این منبع ذکر شده است (Anonymous, 2020). تغییرات CO₂ و دمایی بر اساس چهار سناریوی مذکور نیز به‌ترتیب در شکل ۱ و جدول ۲ قابل مشاهده است. این پایگاه داده از آنجایی که مبتنی بر وب است، برای کلیه نقاط کره زمین به‌راحتی و به‌صورت رایگان قابل دسترس است. آدرس اینترنتی این نرم‌افزار در این منبع قابل مشاهده می‌باشد (<http://gismap.ciat.cgiar.org/MarkSimGCM>) که بر مبنای استفاده در نرم‌افزار DSSAT پایه ریزی شده است.

در این مطالعه، داده‌های دوره اقلیمی ۲۰۱۹-۱۹۸۴ به‌عنوان داده‌های مبنا از ایستگاه هواشناسی کرمان (با طول جغرافیایی ۳۰° و ۱۵' عرض ۵۶° و ۵۸' و ارتفاع ۱۳۰۰ و ۱۳۰۰ متر) دریافت شد. از بین سناریوهای مذکور دو سناریوی RCP4.5 به‌عنوان سناریوی خوشبینانه و سناریوی RCP8.5 به‌عنوان سناریوی بدبینانه برای دو دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۵ به‌عنوان آینده نزدیک و ۲۰۵۶-۲۰۹۰ به‌عنوان آینده دور در نظر گرفته شد. قبل از پیش‌بینی شرایط آینده، دقت مدل برای ۱۷ مدل موجود در نرم‌افزار MarkSIMGCM سنجش شد که از بین این مدل‌ها، مدل HadGEM2-ES بیشترین دقت را برای این مناطق دارا بود و برای شبیه‌سازی شرایط آینده از آن استفاده شد. دقت خروجی‌های مدل HadGEM2-ES با استفاده از آزمون میانگین مربعات ریشه (RMSE) برای ایستگاه‌های مورد نظر اعتبار سنجی شد.

مدل گیاهی مورد استفاده: به‌منظور شبیه‌سازی پارامترهای

مختلف رشدی گندم، مدل سیستم گیاهی گندم (CSM-CERES-Wheat) توسط نرم‌افزار DSSAT مورد استفاده قرار گرفت. در این مدل، ارقام مختلف گیاهان زراعی دارای واکنش‌های متفاوتی به تغییر در فاکتورهای محیطی هستند و بر اساس ضرایب ژنتیکی که به‌عنوان یکی از ورودی‌های مدل می‌باشد، تنظیم می‌شود (Jones et al., 2003). برای اعمال تأثیر افزایش تغییرات دمای اکسید کربن در آینده بر رشد و نمو گندم، از مقادیر گزارش شده دمای اکسید کربن در سناریوهای ذکر شده بر اساس جدول ۲ استفاده شد.

وا سنجی و ارزیابی مدل: به‌منظور واسنجی مدل باید ضرایب ژنتیکی رقم مورد استفاده در مدل تنظیم و تعیین گردند. ضرایب ژنتیکی رقم میهن قبلاً توسط حسام عارفی و همکاران (Hesam Arefi et al., 2017) تعیین شده که در جدول ۳ ارائه شده است. برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل در کرمان از دو آزمایش دو ساله طراحی شده در مزرعه دانشگاه شهید باهنر کرمان و برای منطقه اردبیل از نتایج طرح‌های گندم مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (Ebadinezhad et al., 2014; Ghasemi, 2017) استفاده شد. شاخص‌های عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، حداکثر شاخص سطح برگ و طول دوره رشد گندم بدین منظور مدنظر قرار گرفت.

جهت ارزیابی مدل از پارامترهای جذر میانگین مربعات خطای نرمال (nRMSE)، ضریب جرم باقی مانده (CRM) و ضریب تبیین (R²) بر اساس معادلات زیر استفاده شد (Shrestha et al., 2016):

$$\text{nRMSE} = \frac{100}{\bar{O}} \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad \text{معادله (۱)}$$

$$\text{CRM} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad \text{معادله (۲)}$$

که در این معادلات، P_i : مقادیر پیش‌بینی شده، O_i : مقادیر اندازه‌گیری شده، n : تعداد مشاهدات و $\bar{O}$: میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشند. هرچه مقادیر nRMSE به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده دقت بیشتر مدل مورد استفاده می‌باشد، به‌طور کلی nRMSE کمتر از ۱۰ درصد عالی، nRMSE بین ۱۰-۲۰ خوب و nRMSE بالاتر از ۳۰ ضعیف می‌باشد. مقادیر منفی CRM نشان‌دهنده این مطلب است که مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل بیشتر از مقادیر واقعی است و CRM با علامت مثبت نشان‌دهنده مقدار کمتر پارامتر شبیه‌سازی شده از مقدار واقعی یا مشاهده شده است.

جدول ۳- ضرایب ژنتیکی رقم گندم میهن مورد استفاده در مدل گیاهی CERES-Wheat

Table 3- Cultivar coefficients used with the CSM-CERES-Wheat model

PHINT	G3	G2	G1	P5	P1D	P1V
66	1.2	38	18	600	51	3

P1V: تأخیر نسبی در سرعت نمو برای هر روز بهاره سازی انجام نشده، P1D: مقدار نسبی کاهش سرعت نمو برای فتوپریود کوتاه تر از حالت مطلوب (۱۰ ساعت)، P5: طول دوره خطی پر شدن دانه بر حسب درجه روز، G1: تعداد دانه در هر واحد وزن جامعه گیاهی در واحد سطح در گرده افشانی بر حسب تعداد، G2: سرعت بالقوه رشد دانه بر حسب میلی گرم در روز، G3: وزن خشک ساقه در شرایط مطلوب رشد، هنگامی که رشد ساقه متوقف می شود، شامل پهنک و غلاف و برگ به علاوه خوشه بر حسب گرم، PHINT: زمان حرارتی لازم بین ظهور نوک دو برگ متوالی (فیلوکرون) بر حسب درجه روز

P1V: Days at optimum vernalizing temperature required to complete vernalization, P1D: Percentage reduction in development rate in a photoperiod 10 h shorter than the threshold relative to that at the threshold, P5: Grain filling (excluding lag) phase duration ($^{\circ}\text{Cd}^{-1}$), G1: Kernel number per unit canopy weight at anthesis, G2: Standard kernel size under optimum conditions (mg), G3: Standard, non-stressed dry weight (total, including grain) of a single tiller at maturity (g), PHINT: Interval between successive leaf tip appearances ($^{\circ}\text{C d}^{-1}$).

نتایج و بحث

اعتبار سنجی مدل اقلیمی: نتایج شبیه سازی نشان داد که مدل HadGEM2-ES دقت قابل قبولی در پیش بینی خ صو صیات اقلیمی مناطق مورد بررسی دارا بود (جدول ۴). ضریب تبیین برای کلیه پارامترهای اقلیمی بالاتر از ۰/۷۴ بود. در بین پارامترهای اقلیمی مورد ارزیابی، میزان تشعشع با دقت بیشتری ($n\text{RMSE} = ۳/۷۵\%$) نسبت به دیگر پارامترها شبیه سازی شد. با این وجود، دقت مدل در دیگر پارامترها نیز قابل قبول بود به طوری که میزان $n\text{RMSE}$ به استثنای بارندگی که ۱۱/۰۸ درصد بود، در بقیه آن ها کمتر از ۱۰ درصد بود.

بنابراین، نتایج نشان داد که مدل HadGEM2-ES توسط نرم افزار MarkSim تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 قابلیت خوبی در شبیه سازی پارامترهای اقلیمی برای هر دو منطقه اردبیل و کرمان دارا بود. دقت این مدل قبلاً در مطالعات دیگر نیز به اثبات رسیده است (Fouial et al., 2016; Mathukumalli et al., 2016; Nouri et al., 2017; Shirsath et al., 2017). به طور کلی، نتایج اعتبار سنجی نشان داد که مدل HadGEM2-ES قابلیت خوبی در شبیه سازی داده های اقلیمی (بارندگی، دمای ماکزیمم و مینیمم) داشته و می توان از داده های خروجی آن برای شبیه سازی فصل رشد احتمالی در شرایط آینده تغییر اقلیم و مطالعات مربوط به تأثیر این عوامل اقلیمی بر رشد و نمو گیاهان زراعی استفاده کرد.

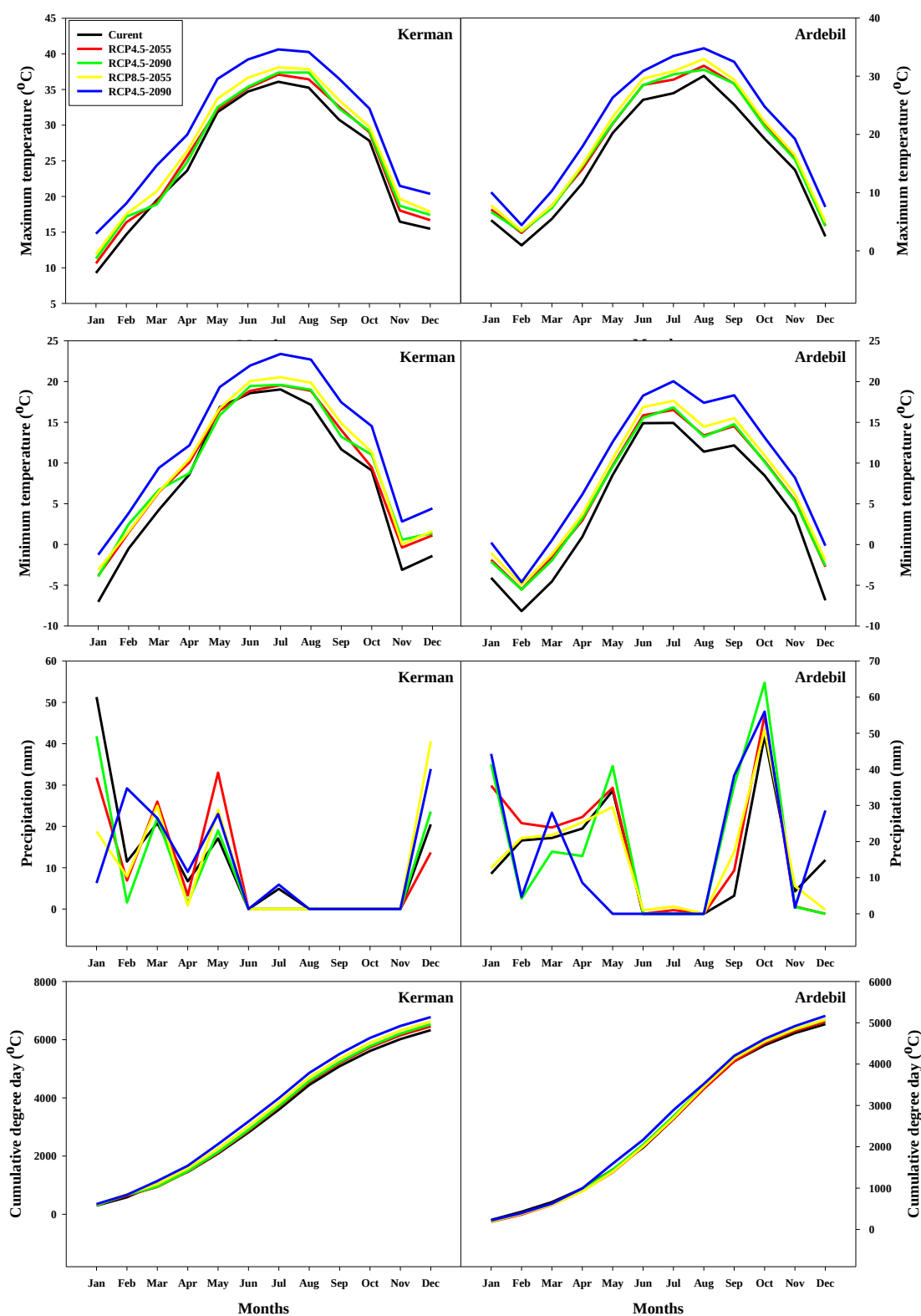
جدول ۴- مقایسه دقت مدل HadGEM2-ES در شبیه سازی پارامترهای اقلیمی

Table 4- Comparison of simulated and observed climatic parameters simulated by HadGEM2-ES

شاخص Parameter	دمای حداقل Minimum temperature ($^{\circ}\text{C}$)	دمای حداکثر Maximum temperature ($^{\circ}\text{C}$)	بارندگی Precipitation (mm)	تشعشع خورشیدی Solar radiation (MJ.m^{-2})
nRMSE (%)	6.28	8.18	11.08	3.75
R^2	0.87	0.83	0.74	0.94

تأثیر تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی مورد بررسی: روند تغییرات دمای حداکثر، دمای حداقل، بارندگی و تشعشع خورشیدی بر اساس دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در دوره کوتاه مدت (۲۰۵۵ میلادی) و بلندمدت (۲۰۹۰ میلادی) در شکل ۲ نشان داده شده است. در هر دو منطقه مورد بررسی، سناریوی RCP8.5 افزایش دما و

تشعشع بیشتری نسبت به سناریوی RCP4.5 دارا می باشد و این تغییرات در دوره بلندمدت بیشتر از دوره کوتاه مدت می باشد. تغییرات بارندگی در هر دو منطقه مورد بررسی روند منظمی را نشان نداد (شکل ۲). این موضوع وابسته به ماهیت هر کدام از سناریوها دارد. در تحقیقات دیگر نیز این موضوع تصدیق شده است.



شکل ۲- تغییرات پارامترهای اقلیمی بر اساس سناریوها و دوره‌های مورد بررسی در کرمان و اردبیل

Fig. 2- The trend of climate parameters based on various scenarios and periods in Kerman and Ardebil

شبیه سازی شد. تحقیقات دیگر نیز نشان داده اند که به طور معمول مدل های شبیه سازی صفات عملکردی را با دقت بیشتری نسبت به دوره رشد شبیه سازی می کنند (Hesam Arefi et al., 2017; Moradi et al., 2014; Li et al., 2016). میزان ضریب تبیین در کلیه صفات بالاتر از ۰/۸۱ بود که بیشترین مقدار آن (۰/۹۴) برای شبیه سازی عملکرد دانه در اردبیل مشاهده شد. بررسی شاخص CRM نیز نشان داد که در کرمان، به استثنای طول دوره رشد، باقی صفات کمتر از میزان واقعی و در استان اردبیل، به استثنای عملکرد بیولوژیک، دیگر صفات بیشتر از میزان واقعی شبیه سازی شدند. بنابراین، مدل CERES-Wheat پتانسیل مناسبی برای استفاده در این تحقیق را دارا بود.

به عنوان مثال، حسام عارفی و همکاران (Hesam Arefi et al., 2017) نیز تغییرات بارندگی برای کرمان را بر اساس دو مدل گردش عمومی HADCM3 و IPCM4 تحت سه سناریوی A1B، B1 و A2 در سه دوره زمانی ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ در فصول مختلف سال نامنظم گزارش نمودند. این شرایط برای مطالعه آدوی و همکاران (Adavi et al., 2018) در منطقه اصفهان نیز صادق بود.

تعیین اعتبار مدل گیاهی: نتایج ارزیابی مدل CERES-Wheat نشان داد که در هر دو منطقه مورد مطالعه، این مدل رشد برآورد مناسبی برای پیش بینی صفات حداکثر شاخص سطح برگ، طول دوره رشد، زیست توده و عملکرد دانه دارد (جدول ۵). در هر دو منطقه میزان عملکرد دانه با دقت بهتری نسبت به دیگر شاخص ها توسط مدل

جدول ۵- مقایسه میزان مشاهده شده و برآزش داده شده صفات مورد بررسی در گندم به وسیله nRMSE، CRM و ضریب تبیین
Table 5- Comparison of some simulated and observed traits by normalized (nRMSE), (CRM), and R^2 values

منطقه Region	پارامتر Parameters	nRMSE	CRM	R^2
کرمان Kerman	عملکرد دانه Grain yield	3.23	0.051	0.89
	عملکرد بیولوژیک Biological yield	4.63	0.022	0.93
	طول دوره رشد Growth period length	6.18	-0.029	0.81
	حداکثر شاخص سطح برگ Maximum leaf area index	3.69	0.009	0.88
	عملکرد دانه Grain yield	2.37	-0.014	0.94
اردبیل Ardebil	عملکرد بیولوژیک Biological yield	5.14	0.044	0.90
	طول دوره رشد Growth period length	6.32	-0.019	0.85
	حداکثر شاخص سطح برگ Maximum leaf area index	4.54	-0.041	0.89
	عملکرد دانه Grain yield	2.37	-0.014	0.94

برای دوره کوتاه مدت (۲۰۵۵ میلادی) نشان داد که در منطقه اردبیل در این دوره نه تنها عملکرد نسبت به شرایط کنونی کاهش پیدا نمی کند، بلکه افزایش نیز خواهد یافت (جدول ۶). میزان این افزایش بر اساس سناریوی RCP4.5 حدود یک درصد و بر اساس سناریوی RCP8.5 حدود ۱۵ درصد نسبت به شرایط کنونی خواهد بود (شکل ۳). در کرمان نیز بر اساس سناریوی RCP4.5 میزان عملکرد دانه نسبت به شرایط کنونی ۳/۸۷ درصد کاهش خواهد یافت، اما طبق سناریوی RCP8.5 به میزان ۳/۶۲ درصد افزایش نشان خواهد داد

تأثیر تغییر اقلیم بر رشد و تولید گندم

عملکرد دانه: میزان عملکرد دانه رقم گندم میهن در شرایط کنونی در استان اردبیل (۸۱۳۰ کیلوگرم در هکتار) به طور قابل توجهی بیشتر از کرمان (۶۲۷۵) بود (جدول ۶). از آنجا که هر دو آزمایش در شرایط عدم کمبود آب و مواد غذایی انجام شده بود، به نظر می رسد باتوجه به اینکه رقم میهن برای مناطق سرد سیرا صلاح شده است (Aminzadeh et al., 2015)، پتانسیل بالاتر عملکرد آن در منطقه اردبیل نسبت به کرمان قابل قبول باشد. نتایج شبیه سازی این صفت

(شکل ۳).

جدول ۶- تأثیر تغییرات اقلیمی شبیه سازی شده تحت تأثیر سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در دوره های مختلف مورد بررسی بر تعدادی از صفات گندم

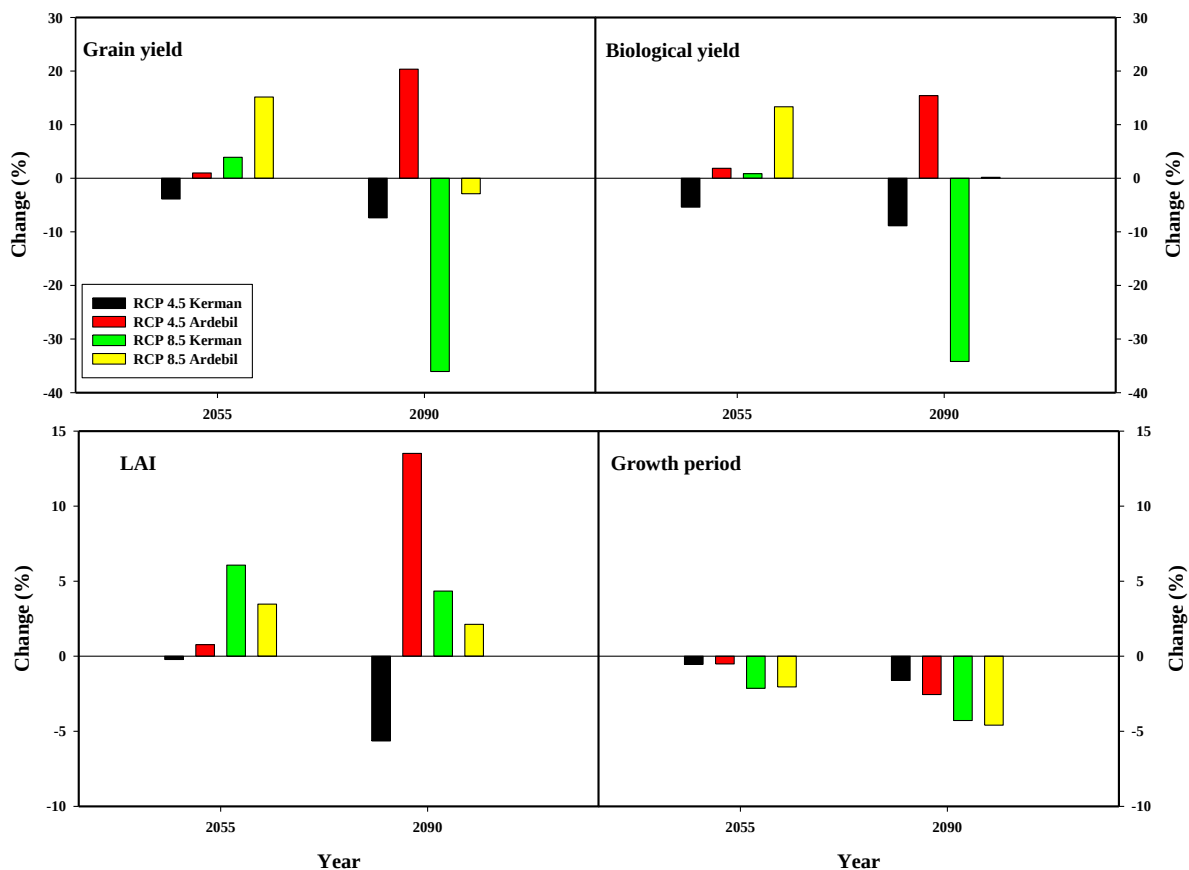
Table 6- Effect of climate change on some wheat characteristics based on RCP4.5 and RCP8.5 scenarios in the 2055 and 2090 periods

صفت Trait	دوره کنونی Current		۲۰۵۵ 2055				۲۰۹۰ 2090			
	کرمان Kerman	اردبیل Ardebil	کرمان Kerman		اردبیل Ardebil		کرمان Kerman		اردبیل Ardebil	
			RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	6275	8130	6032	6521	8211	9362	5811	4012	9785	7895
عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha ⁻¹)	13082	15009	12375	13194	15289	17011	11922	8611	17321	15036
شاخص سطح برگ LAI	4.61	5.18	4.6	4.89	5.22	5.36	4.35	4.81	5.88	5.29
طول دوره رشد Growth period length (day)	187	196	186	183	195	192	184	179	191	187

طبق سناریوی RCP8.5 کاهش خواهد بود (شکل ۳). همان طور که در شکل ۱ و جدول ۲ مشاهده می شود، میزان افزایش دما و CO₂ بر اساس سناریوی RCP8.5 بیشتر از سناریوی RCP4.5 می باشد. به نظر می رسد در کوتاه مدت، اثر مثبت افزایش غلظت CO₂ بیشتر از اثر منفی افزایش دما خواهد بود که این موضوع برای سناریوی RCP8.5 که افزایش CO₂ به مراتب بالاتری نسبت به سناریوی RCP4.5 دارد، بیشتر تأثیرگذار خواهد بود. اما در درازمدت، افزایش زیادتر دما نه تنها نقش مثبت افزایش غلظت CO₂ را خنثی نموده (Moradi et al., 2014)، بلکه تأثیر اثرات منفی افزایش دما بر عملکرد گندم در هر دو منطقه قابل توجه می باشد. از طرف دیگر، چون دمای منطقه اردبیل در شرایط کنونی پایینتر از کرمان می باشد، به نظر می رسد افزایش احتمالی دما در این منطقه سردسیر اثر منفی کمتری نسبت به منطقه گرم و خشک کرمان بر عملکرد دانه رقم میهن خواهد داشت. تأکید شده است که دما مهم ترین عامل مؤثر بر میزان عملکرد گندم در مناطق مختلف می باشد (Hesam Arefi et al., 2018). به طوری که، یک رابطه منفی بین دماهای بالا در مرحله زایشی گندم و تعداد دانه در سنبله تأیید شده است (Barnabás et al., 2008) که تأثیر معنی داری بر عملکرد نهایی دانه دارد. از طرف دیگر، زمان و سرعت پر شدن دانه یکی از کلیدی ترین فاکتورهای تعیین عملکرد نهایی دانه بوده که به شدت تحت تأثیر دما می باشد. به دلیل تأثیر منفی تنش دمایی بر میزان فتو سنتز گیاه، عملکرد دانه گندم به شدت حساس به

نتایج شبیه سازی برای دوره بلندمدت ۲۰۹۰ میلادی نیز نشان می دهد که عملکرد رقم میهن در شرایط کشت در کرمان در هر دو سناریوی مورد بررسی (۵۸۱۱ و ۴۰۱۲ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5) کمتر از شرایط کنونی خواهد بود (جدول ۶). به طوری که، میزان آن در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۷/۳۹ و ۳۶/۰۶ درصد نسبت به عملکرد در شرایط کنونی کاهش خواهد یافت (شکل ۳). در استان اردبیل ولی روند متفاوتی پیش بینی شد، به طوری که عملکرد دانه این رقم در سناریوی RCP4.5 (۹۷۸۵ کیلوگرم در هکتار) نسبت به شرایط کنونی به میزان ۲۰/۳۶ درصد افزایش و بر اساس سناریوی RCP8.5 (۷۸۹۵ کیلوگرم در هکتار) ۲/۸۹ درصد کاهش خواهد یافت.

نتایج شبیه سازی نشان داد که رشد و تولید رقم پرمحصول میهن تحت تأثیر اثرات افزایش دما و غلظت CO₂ بر اساس سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 قرار خواهد گرفت. در دوره کوتاه مدت ۲۰۵۵ میلادی تنها عملکرد بر اساس سناریوی RCP4.5 در منطقه کرمان نسبت به شرایط کنونی کاهش خواهد یافت (جدول ۶). در صورتی که، طبق سناریوی RCP8.5 در کرمان و هر دو سناریوی یاد شده در اردبیل افزایش عملکرد در آینده نسبت به حال حاضر اتفاق خواهد افتاد. در دوره بلند مدت ۲۰۹۰ میلادی عملکرد گندم برای منطقه کرمان طبق هر دو سناریوی مورد استفاده نسبت به زمان کنونی کاهش یافته و در اردبیل بر اساس سناریوی RCP4.5 افزایشی و



شکل ۳- میزان تغییر در صفات گندم تحت تأثیر دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در سال‌های ۲۰۵۵ و ۲۰۹۰ میلادی در دو منطقه کرمان و اردبیل
Fig. 3- Change value of wheat traits as affected by RCP4.5 and RCP8.5 scenarios in 2055 and 2090 years in the Kerman and Ardebil regions

عملکرد بیولوژیک: میزان شبیه سازی شده این شاخص در دوره کوتاه مدت نسبت به شرایط کنونی، برای منطقه کرمان بر اساس سناریوی RCP4.5 کاهش ۵/۴ درصدی و بر اساس سناریوی RCP8.5 افزایش ۰/۸۶ درصدی را نشان داد (جدول ۶ و شکل ۳). در منطقه اردبیل میزان عملکرد بیولوژیک رقم میهن در هر دو سناریو در دوره ۲۰۵۵ نسبت به شرایط حال حاضر افزایش ۱/۸۶ و ۱۳/۳۳ درصدی به ترتیب برای دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 را نشان داد (شکل ۳). به طوری که، عملکرد بیولوژیک برابر با ۱۵۲۸۹ و ۱۷۰۱۱ کیلوگرم در هکتار به ترتیب برای دو سناریوی مذکور در این دوره برای منطقه اردبیل شبیه سازی شد.

نقش مثبت افزایش CO₂ بر عملکرد بیولوژیک و حداکثر شاخص سطح برگ گندم نسبت به عملکرد دانه بیشتر مشهود بود. به طوری که، حتی در دوره بلندمدت ۲۰۹۰ نیز عملکرد بیولوژیک در منطقه اردبیل بر اساس هر دو سناریو نسبت به عملکرد کنونی افزایشی پیش بینی شد

عملکرد بیولوژیک: میزان شبیه سازی شده این شاخص در دوره کوتاه مدت نسبت به شرایط کنونی، برای منطقه کرمان بر اساس سناریوی RCP4.5 کاهش ۵/۴ درصدی و بر اساس سناریوی RCP8.5 افزایش ۰/۸۶ درصدی را نشان داد (جدول ۶ و شکل ۳). در منطقه اردبیل میزان عملکرد بیولوژیک رقم میهن در هر دو سناریو در دوره ۲۰۵۵ نسبت به شرایط حال حاضر افزایش ۱/۸۶ و ۱۳/۳۳ درصدی به ترتیب برای دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 را نشان داد (شکل ۳). به طوری که، عملکرد بیولوژیک برابر با ۱۵۲۸۹ و ۱۷۰۱۱ کیلوگرم در هکتار به ترتیب برای دو سناریوی مذکور در این دوره برای منطقه اردبیل شبیه سازی شد.

در دوره بلندمدت ۲۰۹۹ میلادی نیز نتایج پیش بینی مدل نشان داد که در منطقه کرمان میزان عملکرد بیولوژیک ۱۱۹۲۲ و ۸۶۱۱

و شاخص سطح برگ برای اردبیل بر اساس هر دو سناریو و برای کرمان بر اساس سناریوی RCP8.5 افزایشی شبیه‌سازی شد. از آنجایی که گندم گیاهی با مسیر فتوسنتزی C_3 می‌باشد، به نظر می‌رسد افزایش غلظت CO_2 منجر به بهبود قابل توجه سیستم فتوسنتزی آن شده (Abdelgawad et al., 2020) که از این طریق رشد و زیست‌توده گیاه را افزایش داده است. این موضوع برای اردبیل که از دمای کنونی کمتری برخوردار می‌باشد، بیشتر قابل توجه خواهد بود. نتایج تحقیقی در اردن (Dixit et al., 2018) نشان داد که زمانی که اثر توام افزایش دما و CO_2 در اقلیم مدیترانه‌ای بر عملکرد گندم مورد ارزیابی قرار گرفت، عملکرد گندم نسبت به شرایط کنونی افزایش یافت. ایشان تأکید داشتند، افزایش غلظت CO_2 باعث تعدیل اثر منفی کاهش طول دوره رشد شده و با افزایش میزان فتوسنتز، این زمان را جبران می‌کنند. گزارش شده است که افزایش غلظت CO_2 در اثر تغییر اقلیم نقش بسزایی در کاهش تنفس گیاه گندم داشته و از این طریق در بهبود عملکرد تأثیرگذار می‌باشد (Rashid et al., 2019).

حداکثر شاخص سطح برگ: نتایج برازش شده برای دوره ۲۰۵۵ میلادی نشان داد که تغییرات این شاخص نسبت به مقدار کنونی آن در منطقه کرمان (۴/۶۱) برای سناریوی RCP4.5 بسیار ناچیز (۰/۲۱ درصد کاهش) بوده و برای سناریوی RCP8.5 افزایش ۶/۰۷ درصدی شبیه‌سازی شد (جدول ۶ و شکل ۳). در منطقه اردبیل، میزان شبیه‌سازی شده این شاخص در دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به مقدار آن در شرایط حال حاضر افزایش به ترتیب حدود ۰/۷۷ و ۷/۴۷ درصدی را نشان داد.

نتایج مدل‌سازی برای دوره بلندمدت ۲۰۹۰ نیز نشان داد که تنها حداکثر شاخص سطح برگ برای منطقه کرمان و بر اساس سناریوی RCP4.5 (۴/۳۵) نسبت به میزان آن در شرایط کنونی ۵/۶۳ درصد کاهش داد (جدول ۶ و شکل ۳). سناریوی RCP8.5 افزایش ۴/۳۴ و ۲/۱۲ درصدی را نسبت به مقادیر کنونی این شاخص به ترتیب در منطقه کرمان و اردبیل پیش‌بینی کرد و بر اساس سناریوی RCP4.5 در منطقه اردبیل میزان حداکثر شاخص سطح برگ (۵/۸۸) به مقدار ۱۳/۵۱ درصد نسبت به مقدار این شاخص در دوره کنونی (۵/۱۸) افزایش خواهد یافت.

طول دوره رشد: نتایج شبیه‌سازی این صفت تأیید می‌کند که در هر دو منطقه مورد بررسی و بر اساس هر دو سناریوی مورد استفاده میزان طول دوره رشد رقم میهن در هر دو دوره ۲۰۵۵ و ۲۰۹۰

میلادی نسبت به شرایط کنونی کاهش خواهد یافت (جدول ۶). بیشترین کاهش برای هر دو منطقه کرمان و اردبیل به ترتیب با مقادیر ۴/۲۷ و ۴/۵۹ درصد مربوط به سناریوی RCP8.5 و دوره بلندمدت ۲۰۹۰ میلادی خواهد بود (شکل ۳). نتایج مدل‌سازی نشان داد که طول دوره رشد رقم میهن در هر دو دوره ۲۰۵۵ و ۲۰۹۰ میلادی بر اساس هر دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به شرایط کنونی هم در کرمان و هم اردبیل کاهش خواهد بود. این نشان می‌دهد که طول دوره رشد تحت تأثیر دما بوده و افزایش غلظت CO_2 تأثیر بر آن نداشته است. فوجی مورا و همکاران (Fujimura et al., 2021) تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن را بر مراحل رشدی گندم مورد بررسی قرار داد و گزارش نمود که تفاوت معنی‌داری بین غلظت‌های مختلف دی‌اکسید کربن از نظر نمو مراحل فنولوژیک گندم مشاهده نشد. همچنین، اورت و همکاران (Ewert et al., 2002) گزارش نمودند که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن تأثیری بر تاریخ گل‌دهی و رسیدگی گندم کلیه مناطق مورد بررسی نداشت. کوچکی و نصیری (Koocheki & Nassiri, 2008) تأثیر تغییر اقلیم را بر عملکرد گندم آبی کشور با استفاده از مدل SUCROS و بر اساس سناریوهایی مختلف تغییر اقلیم مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تأثیر افزایش غلظت دی‌اکسید کربن بدون گرمایش بر عملکرد گندم مثبت بود، در حالی که با افزایش میانگین روزانه اثرات غلظت دی‌اکسید کربن خنثی شد، به‌طوری‌که بر اساس نتایج شبیه‌سازی با افزایش میانگین دمای روزانه به میزان سه درجه سانتی‌گراد یا بیشتر عملکرد گندم حتی با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن نیز کاهش یافت. تأیید شده است که طول دوره رشد ارتباط مثبت بالایی با عملکرد دانه دارند، لذا به نظر می‌رسد با توجه به کاهش طول دوره رشد گندم در شرایط تغییر اقلیم کاهش دریافت انرژی نورانی توسط برگ‌ها باعث کاهش عملکرد در این شرایط گردیده است (Wang et al., 2021).

گزارش شده است که بخش زیادی از کاهش عملکرد گندم در آینده به دلیل کاهش طول دوره فتوسنتز و مواجه شدن این گیاه با گرمای آخر فصل می‌باشد (Hatfield and Prueger, 2015). حساسیت عملکرد گندم به تنش دمایی مربوط به نقش افزایش دما در تسریع مراحل نمویی گندم (Akter & Rafiqul Islam, 2017)، کاهش فتوسنتز (Asseng et al., 2011) و تأثیر مستقیم بر مراحل زایشی گندم (Farooq et al., 2011) می‌باشد. دلیل کاهش تعداد دانه با افزایش دما در مرحله گل‌دهی گندم عموماً مربوط به اثر منفی دمای

زمستانه اتفاق خواهد افتاد. ایشان گزارش کردند که این کاهش به دلیل افزایش توأم دمای حداقل و حداکثر روزانه در اثر تغییرات اقلیمی می باشد که منجر به افزایش درجه روز رشد (GDD) در یک دوره مشخص می شود. بنابراین، تعداد روز مورد نیاز برای تأمین این GDD کاهش خواهد یافت و مراحل فنولوژیک زودتر ظاهر خواهند شد. بین و همکاران (Yin et al., 2009) نیز گزارش کردند که افزایش ۵ درجه سانتیگراد دما در دمای بالای ۲۰ درجه سانتیگراد باعث کاهش ۱۲ روزه دوره پر شدن دانه گندم خواهد شد.

نتیجه گیری

به طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که به دلیل پایین تر بودن دمای کنونی منطقه اردبیل نسبت به کرمان، در آینده کشت و کار گندم رقم میهن در منطقه کرمان نسبت به اردبیل بیشتر مورد تهدید تغییر اقلیم و گرمایش جهانی می باشد. رقم میهن گندم جزو ارقام زودرس می باشد و مطمئناً اثرات منفی تغییر اقلیم برای ارقام قدیمی و دیررس گندم سخت تر خواهد بود. در دوره کوتاه مدت ۲۰۵۵ منطقه اردبیل تحت تأثیر هیچ کدام از دو سناریوی مورد بررسی کاهش عملکرد نخواهد داشت و این نشان می دهد، نقش تغذیه ای CO_2 بیشتر از تأثیر منفی افزایش دما برای این منطقه می باشد. چرا که، اردبیل منطقه ای با اقلیم سرد می باشد و افزایش کم دما اثر منفی بر تولید گندم در این منطقه ندارد. در منطقه کرمان، ولی در همین دوره نزدیک نیز عملکرد گندم تهدید می شود. در دوره بلندمدت ۲۰۹۰ نیز عملکرد گندم در هر دو منطقه کاهش خواهد یافت و باید استراتژی های سازگاری گندم از قبیل تغییر تاریخ کاشت، تغییر در مقدار و دور آبیاری، استفاده از ارقام مختلف، کاربرد مواد آلی در خاک و غیره برای این شرایط سنجیده شود.

سپاسگزاری

هزینه این پژوهش توسط معاونت پژوهشی دانشگاه شهید باهنر کرمان تأمین شده است. بدینوسیله نویسندگان از مساعدت های این مرکز سپاسگزاری می کنند.

بالا بر کاهش باروری دانه گرده یا عقیم شدن دانه ها می باشد (Eyshi Rezaei et al., 2015). یک رابطه منفی بین وجود دماهای بالا در مرحله زایشی گندم و کاهش تعداد دانه در سنبله تأیید شده است (Barnabás et al., 2008) که تأثیر معنی داری بر عملکرد نهایی دانه دارد. از طرف دیگر، زمان و سرعت پر شدن دانه یکی از کلیدی ترین فاکتورهای تعیین عملکرد نهایی دانه بوده (Ortiz et al., 2018) که به شدت تحت تأثیر دما می باشد. به دلیل تأثیر منفی تنش دمایی بر میزان فتوسنتز گیاه، عملکرد دانه گندم به شدت حساس به دماهای بالا در زمان رشد زایشی می باشد (Khatun et al., 2015).

حسام عارفی و همکاران (Hesam Arefi et al., 2017) نیز با شبیه سازی اثرات تغییرات اقلیمی بر عملکرد ارقام مختلف گندم گزارش نمودند که در یک دوره بلندمدت افزایش دما نسبت به افزایش غلظت CO_2 تأثیر بیشتری بر رشد و عملکرد گندم دارد و اظهار داشتند که از آنجا که آستانه دمای حداکثر برای گندم ۳۱ درجه سانتیگراد می باشد (Eyshi Rezaei et al., 2015)، با افزایش دما به بالاتر از این میزان در مرحله رشد زایشی، عملکرد دانه گندم به شدت کاهش می یابد. نتایج شبیه سازی توسط حسام عارفی و همکاران (Hesam Arefi et al., 2017) نشان داد که تعداد روزهای گرم با دمای بیشینه بالاتر از ۳۱ درجه سانتیگراد در طول مراحل گل دهی و پر شدن دانه بر اساس مدل های گردش عمومی و سناریوهای مورد استفاده با گذشت زمان افزایش خواهد یافت. این موضوع باعث کاهش عملکرد دانه گندم تحت تأثیر تغییرات اقلیمی به خصوص سناریوی A2 که بیشترین میزان افزایش دما را شامل می شود، شد. ژنگ و همکاران (Zhang et al., 2016) نیز دریافتند که در آینده اکثر مناطقی از استرالیا که روی کمربند کشت گندم قرار دارند، گرم تر خواهند شد و اولین روز با دمای بالاتر از دمای آستانه گندم بین چهار تا ۱۴ روز زودتر ظاهر خواهد شد که این موضوع بدون شک عملکرد گندم در این مناطق را کاهش قابل توجهی خواهد داد. از طرفی، شبیه سازی دوره رشد گندم به وسیله چاتاراج و همکاران (Chattaraj et al., 2014) براساس مدل های گردش عمومی تحت تأثیر سناریوهای مختلف نشان داد که یک کاهش قابل توجه به میزان ۶-۸ روز تا سال ۲۰۲۰ و ۲۱-۱۱ روز تا سال ۲۰۵۰ میلادی در طول دوره رشد گندم

References

- Abdelgawad, H., Hassan, Y.M., Alotaibi, M.O., Mohammed, A.E., & Saleh, A.M. (2020). C₃ and C₄ plant systems respond differently to the concurrent challenges of mercuric oxide nanoparticles and future climate CO₂. *Science of*

- the Total Environment, 749, 142356. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142356.
- Adavi, Z., Moradi, R., Saeidnejad, A.H., Tadayon, M.R., & Mansouri, H. (2018). Assessment of potato response to climate change and adaptation strategies. *Scientia Horticulturae*, 228, 91–102. doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.017.
- Akter, N., & Rafiqul Islam, M. (2017). Heat stress effects and management in wheat. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37, 37–42. doi.org/10.1007/s13593-017-0443-9.
- Aminzadeh, G., Ghasemi, M., & Shahalinajad, S. (2015). The Bread Wheat "Mihaan" Cultivar Suitable for Cultivation in Ardabil Province Cold Regions. Project report of Ministry of Agriculture Jihad Agricultural Research, Education and Extension Organization Ardabil Agriculture and Natural Resources Research and Education Centre. (In Persian)
- Anonymous. (2020). How does MarkSim work? <http://gisweb.ciat.cgiar.org/MarkSimGCM/docs/doc.html>. (visited at March 2021).
- Asseng, S., Foster, I.A.N., & Turner, N.C. (2011). The impact of temperature variability on wheat yields. *Global Change Biology*, 17, 997–1012. doi.org/10.1038/s41467-020-18317-8.
- Babaeian, I., Modirian, R., Karimian, M., & Zarghami, M. (2015). Simulation of climate change in Iran during 2071–2100 using PRECIS regional climate modeling system. *Desert*, 20(2), 123–134. doi.org/10.22059/jdesert.2015.56476.
- Barnabás, B., Jäger, K., & Fehér, A. (2008). The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell and Environment*, 31, 11–38. doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01727.x.
- Chattaraj, S., Chakraborty, D., Sehgal, V.K., Paul, R.K., Singh, S.D., Daripa, A., & Pathak, H. (2014). Predicting the impact of climate change on water requirement of wheat in the semi-arid Indo-Gangetic Plains of India. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 197, 174–183. doi.org/10.3390/w14172728.
- Dastorani, M.T., & Poormohammadi, S. (2016). Mapping of climatic parameters under climate change impacts in Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 61, 2552–2566. doi.org/10.1080/02626667.2015.1131898.
- De Wit, A.J.W., Dabrowska-Zielinska, K., & Van Diepen, C.A. (2008). Modern methods in crop yield forecasting and crop area estimation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10, 401–498. doi.org/10.1016/j.jag.2008.03.001.
- Dixit, P.N., Telleria R., Al Khatib, A.N., & Allouzi, S.F. (2018). Decadal analysis of impact of future climate on wheat production in dry Mediterranean environment: A case of Jordan. *Science of the Total Environment*, 610–611, 219–233. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.270.
- Ebadinezhad, J., Shahryari, R., & Ghasemi, M. (2014). Comparison grain yield and yield components on eight winter wheat varieties and lines in Ardabil cold areas. 13th Iranian Crop Science Congress. Seed and plant Improvement Institute, Karaj, Iran. pp. 1–4. (In Persian)
- Ewert, F., Rodriguez, D., Jamieson, P., Semenov, M.A., Mitchell, R.A.C., Goudriaan, J., Porter, J.R., Kimball, B.A., Pinter Jr, P.J., Manderscheid, R., Weigel, H.J., Fangmeier, A., Fereres, E., & Villalobos, F. (2002). Effects of elevated CO₂ and drought on wheat: Testing crop simulation models for different experimental and climatic conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 93, 249–266. doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00352-8.
- Eyshi Rezaei, E., Webber, H., Gaiser, T., Naab, J., & Ewert, F. (2015). Heat stress in cereals: Mechanisms and modeling. *European Journal of Agronomy*, 64, 98–113. doi.org/10.1016/j.eja.2014.10.003.
- FAO. (2020). World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2020. Rome. doi.org/10.4060/cb1329en.
- Farooq, M., Bramley, H., Palta, J.A., & Siddique, K.H. (2011). Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30, 491–507. doi.org/10.1080/07352689.2011.615687.
- Fouial, A., Khadra, R., Daccache, A., & Lamaddalena, N. (2016). Modeling the impact of climate change on pressurised irrigation distribution systems: use of a new tool for adaptation strategy implementation. *Biosystems Engineering*, 150, 182–190. doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.08.010.
- Fujimura, S., Shi, P., Iwama, K., Zhang, X., Gopal, J., & Jitsuyama, Y. (2021). Effects of CO₂ increase on wheat growth and yield under different atmospheric pressures and their interaction with temperature. *Plant Production Science*, 15, 118–124. doi.org/10.1626/pps.15.118.
- Ghasemi, M. (2017). Introduction of new cultivars and technical recommendations for autumn cereal cultivation in cold regions of Ardabil province. Project report of Seed and plant Improvement Institute of Ardebil. (In Persian).
- Hatfield, J.L., & Prueger, J.H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10, 4–10. doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001.
- Hesam Arefi, I., Saffari, M., & Moradi, R., (2017). Evaluating planting date and variety management strategies for adapting winter wheat to climate change impacts in arid regions. *International Journal of Climate Change Strategies*

- and Management, 9, 846-863. doi.org/10.1108/IJCCSM-02-2017-0030.
- Hesam Arefi, I., Saffari, M., & Moradi, R. (2018). Gap analysis of wheat production and influencing factors in Kerman province. *Journal of Agroecology*, 8(1), 106-123. (In Persian with English Summary). doi.org/10.1016/j.ae.2018.10.003.
- 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., & Ritchie, J.T. (2003). The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, 18, 235-265. [doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00107-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00107-7).
- Khatun, S., Ahmed, J.U., & Mohi-Ud-Din, M. (2015). Variation of wheat cultivars in their relationship between seed reserve utilization and leaf temperature under elevated temperature. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 18, 97-101. doi.org/10.1007/s12892-014-0117-y.
- Koocheki, A., Nassiri Mahalati, M. (2008). Impacts of climate change and CO₂ concentration on wheat yield in Iran and adaptation strategies. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 6, 139-154. (In Persian with English Summary)
- Li, C., Wang, R., Ning, H., & Luo, Q. (2016). Changes in climate extremes and their impact on wheat yield in Tianshan Mountains region, northwest China. *Environmental Earth Sciences*, 75, 1228. doi.org/10.1007/s12665-016-6030-6.
- Luo, Qunying, OLeary, G., Cleverly, J., & Eamus, D. (2018). Effectiveness of time of sowing and cultivar choice for managing climate change: Wheat crop phenology and water use efficiency. *International Journal of Biometeorology*, 62, 1049-1061. doi.org/10.1007/s00484-018-1508-4.
- Mathukumalli, S.R., Dammu, M., Sengottaiyan, V., Ongolu, S., Biradar, A.K., Kondru, V.R., Karlapudi, S., Bellapukonda, M.K.R., Chitiprolu, R.R.A., & Cherukumalli, S.R. (2016). Prediction of Helicoverpa armigera Hubner on pigeonpea during future climate change periods using MarkSim multimodel data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 228-229, 130-138. doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.07.009.
- Meinshausen, M., Smith, S.J., Calvin, K., Daniel, J.S., Kainuma, M.L.T., Lamarque, J.F., Matsumoto, K., Montzka, S.A., Raper, S.C.B., Riahi, K., Thomson, A., Velders, G.J.M., & van Vuuren, D.P.P. (2013). The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change*, 109, 156-169. doi.org/10.1007/s10584-011-0156-z.
- Moradi, R., Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2014). Adaptation of maize to climate change impacts in Iran. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19, 1223-1238. doi.org/10.1007/s11027-013-9470-2.
- Moradi, R., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Mansoori, H. (2013). Adaptation strategies for maize cultivation under climate change in Iran: Irrigation and planting date management. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18, 265-284. doi.org/10.1007/s11027-012-9410-6.
- Mousavi, A., Ardalan, A., Takian, A., Ostadtaghizadeh, A., Naddafi, K., Bavani, A.M., (2020). Climate change and health in Iran: a narrative review. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 18, 367-378. doi.org/10.1007/s40201-020-00462-3.
- Nouri, M., Homaei, M., Bannayan, M., & Hoogenboom, G. (2016). Towards modeling soil texture-specific sensitivity of wheat yield and water balance to climatic changes. *Agricultural Water Management*, 177, 248-263. doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.025.
- Nouri, M., Homaei, M., Bannayan, M., & Hoogenboom, G. (2017). Towards shifting planting date as an adaptation practice for rainfed wheat response to climate change. *Agricultural Water Management*, 186, 108-119. doi.org/10.1016/j.agwat.2017.03.004.
- Ortiz, R., Sayre, K.D., Govaerts, B., Gupta, R., Subbarao, G.V., Ban, T., Hodson, D., Dixon, J.M., Iván Ortiz-Monasterio, J., & Reynolds, M. (2018). Climate change: Can wheat beat the heat? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 126, 46-58. doi.org/10.1016/j.agee.2008.01.019.
- Ozkan, B., & Akcaoz, H. (2002). Impacts of climate factors on yields for selected crops in southern Turkey. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 7, 367-380. doi.org/10.1023/A:1024792318063.
- Rahimi, J., Laux, P., & Khalili, A. (2020). Assessment of climate change over Iran: CMIP5 results and their presentation in terms of Köppen-Geiger climate zones. *Theoretical and Applied Climatology*, 141, 183-199. doi.org/10.1007/s00704-020-03190-8.
- Rashid, M.A., Jabloun, M., Andersen, M.N., Zhang, X., Olesen, J.E. (2019). Climate change is expected to increase yield and water use efficiency of wheat in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 222 193-203. doi.org/10.1016/j.agwat.2019.06.004.
- Roshan, G., Oji, R., & Al-Yahyai, S. (2014). Impact of climate change on the wheat-growing season over Iran. *Arabian*

- Journal of Geosciences*, 7, 3217–3226. doi.org/10.1007/s12517-013-0917-2.
- Sha, J., Li, X., & Wang, Z.L. (2019). Estimation of future climate change in cold weather areas with the LARS-WG model under CMIP5 scenarios. *Theoretical and Applied Climatology*, 137, 3027–3039. doi.org/10.1007/s00704-019-02781-4.
- Shirsath, P.B., Aggarwal, P.K., Thornton, P.K., & Dunnett, A. (2017). Prioritizing climate-smart agricultural land use options at a regional scale. *Agricultural Systems*, 151, 174–183. doi.org/10.1016/j.agsy.2016.09.018.
- Shrestha, S., Bach, T.V., & Pandey, V.P. (2016). Climate change impacts on groundwater resources in Mekong Delta under representative concentration pathways (RCPs) scenarios. *Environmental Science and Policy*, 61, 1–13. doi.org/10.1016/j.agsy.2016.09.018.
- Yin X., Guo W., & Spiertz J. H. (2009). A quantitative approach to characterize sink–source relationships during grain filling in contrasting wheat genotypes. *Field Crops Research*, 114, 119–126. doi.org/10.1016/j.fcr.2009.07.013.
- Wang X., Li, L., Ding, Y., Xu, J., Wang, Y., Zhu, Y., Wang, X., & Cai, H. (2021). Adaptation of winter wheat varieties and irrigation patterns under future climate change conditions in Northern China. *Agricultural Water Management*, 243, 106409. doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106409.
- Yazdani, M.H., Amininia, K., Safarianzengir, V., & Soltani, N. (2021). Analyzing climate change and its effects on drought and water scarcity (Case study: Ardabil, Northwestern Province of Iran, Iran). *Sustainable Water Resources Management*, 7, 16–31. doi.org/10.1007/s40899-021-00494-z.
- Yazdansepar, A., Akbari, A., Sanjari, A.G., Rezaie, M., Chiychi, M., Babaie, T., Aminzadeh, G., Zareh Fayzabadi, A., Azzatahmadi, M., & Ashouri, S. (2011). Mihan, a new bread wheat cultivar for irrigated and post-anthesis drought stress conditions in cold regions of Iran. *Seed and Plant Improvement Journal*, 37, 631–634. (In Persian with English Summary).
- Zare Feyz Abadi, A., Koocheki, A., & Nassiri Mahalati, M. (2006). Trend analysis of yield, production and cultivated area of cereal in Iran during the last 50 years and prediction of future situation. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 4, 49–70. doi.org/10.22067/gsc.v4i1.1318.
- Zhang, X., Wang, X., Zhong, J., Zhou, Q., Wang, X., Cai, J., Dai, T., Cao, W., & Jiang, D. (2016). Drought priming induces thermo-tolerance to post-anthesis high-temperature in offspring of winter wheat. *Environmental and Experimental Botany*, 127, 26–36. doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.03.004.



Evaluation of Physiological, Biochemical, and Grain Yield of Five *Lallemantia iberica* Accessions under Tillage Method in Rainfed Conditions of Khorramabad Region

Zeinab Sarafraz¹, Majid Amini Dehaghi^{2*} and Masood Rafieei³

Received: 07-02-2021
Revised: 26-07-2021
Accepted: 08-08-2021
Available Online: 08-08-2021

How to cite this article:

Sarafraz, Z., Amini Dehaghi, M., and Rafieei, M. (2023). Evaluation of physiological, biochemical, and grain yield of five *Lallemantia iberica* accessions under tillage method in rainfed conditions of Khorramabad region. *Journal of Agroecology*. 15(1), 17-29.
DOI: [10.22067/agry.2021.68788.1021](https://doi.org/10.22067/agry.2021.68788.1021)

Introduction

For centuries, medicinal, functional, and nutraceutical herbs have been used for food and medicinal purposes. *Lallemantia* species are versatile and can be used for lightening, varnishing, painting, food, and medicine. The genus is distributed in several countries, including Afghanistan, Pakistan, India, China, Syria, Iraq, Turkmenistan, Tajikistan, Kyrgyzstan, Kazakhstan, Uzbekistan, Russia, and some European countries. *Lallemantia iberica* belongs to the Labiatae family, which has about 220 genera and almost 4000 species worldwide, with 46 genera and 410 species and subspecies in Iran. Dragon's head seed is a good source of polysaccharides, fiber, oil, and protein, with medicinal, nutritional, and human health properties. Its high mucilage content allows it to absorb water quickly, producing a sticky, turbid, and tasteless liquid, which can be used as a novel food hydrocolloid in food formulations. Given the increasing consumption and high economic value of dragon's head medicinal plants, research on planting factors of this plant is necessary. The aim of this study was to evaluate some traits, such as grain yield, oil yield, percentage, and mucilage yield of five dragon's head medicinal plant accessions.

Materials and Methods

The experiment was carried out in the research farm of Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Training Center in the 2018 crop year. The research farm's geographical coordinates are longitude 48°35'N and latitude 33°48'E, elevation above sea level is 1147.8 meters, the average rainfall is 525 mm, and the average temperature is 14.13 °C. Khorramabad region has a subtropical climate with hot and dry summers and a temperate climate based on long-term statistics. The experiment was performed on a randomized complete block design with three replications, including five dragons' head accessions (Takab, Kaleibar, Kurdistan, Nazarkahrizi, and Jolfa). Traits evaluated included grain yield, biochemical traits, and photosynthetic pigments. Data analysis was done using SAS 9.1 statistical program, and means were compared using Duncan's multiple range test at the 5% probability level.

Results and Discussion

Analysis of variance showed that grain yield, oil yield, mucilage yield, 1000-grain weight, biological yield, and harvest index were affected by mass. According to the comparison, the highest mean of grain yield, oil yield,

1- M.Sc. Student, Faculty of Agricultural Sciences, Shahed University, Tehran, Iran.

2- Associate Professor, Faculty of Agricultural Sciences, Shahed University, Tehran, Iran.

3- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran.

(*- Corresponding author's Email: amini@shahed.ac.ir)

biological yield, and mucilage yield was obtained in Kaleibar mass and ranked next in Takab mass. The lowest grain and oil yield were obtained in Julfa mass. In the dryland conditions of Khorramabad region, Kaleibar massif was superior to other masses in terms of the studied traits. Correlation analysis in rainfed conditions showed that grain yield had the highest correlation coefficient with oil yield, mucilage yield, and biological yield. Pearson correlation between the studied traits and grain yield showed a significant correlation between grain yield and oil yield, mucilage yield, biological yield, and harvest index. Grain yield also correlated significantly with oil content, mucilage percentage, 1000-grain weight, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids. The highest positive and significant correlation was observed between chlorophyll b content and total chlorophyll content.

Conclusion

The study found that mass had a significant effect on the evaluated traits. The highest grain mucilage yield, grain oil, biological yield, and also grain yield were observed in Kaleibar mass and then in the Takab mass. There was a significant difference with other dragon's head accessions. The lowest grain yield, mucilage yield, grain oil yield, and biological yield were also obtained in Julfa massif. According to the experimental findings, in dryland conditions of Khorramabad region, Kaleibar mass is suitable for cultivation first and then Takab mass and has an acceptable yield and can be recommended for cultivation in similar conditions.

Keywords: Dragon's head, Oil yield, Mucilage yield, Chlorophyll, thousand seed weight, harvest index

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، ص ۲۹-۱۷

ارزیابی ویژگی‌های فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و عملکرد دانه پنب توده بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica*) در شرایط دیم منطقه خرم‌آباد

زینب سرافراز^۱، مجید امینی دهقی^{۲*} و مسعود رفیعی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۵/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۷

چکیده

رشد روز افزون مصرف و ارزش بالای اقتصادی گیاه دارویی بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica*) تحقیقات پیرامون عوامل کاشت این گیاه را ضروری جلوه می‌دهد. بالنگوی شهری به دلیل برخی خصوصیات منحصر بفرد می‌تواند به عنوان یک گونه جدید از گیاهان دارویی در شرایط دیم باشد. به منظور بررسی خصوصیات کمی و کیفی پنب توده بالنگوی شهری در شرایط دیم واقع در مزرعه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان (خرم آباد) در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمار آزمایش شامل پنب توده بالنگوی شهری (تکاب، کلیبر، کردستان، نظرکهریزی و جلفا) بودند. صفات مورد بررسی شامل عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، وزن هزار دانه، شاخص برداشت، صفات بیوشیمیایی و رنگیزه‌های فتوسنتزی بودند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که صفات عملکرد دانه، عملکرد روغن، عملکرد موسیلاژ، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت تحت اثر توده قرار گرفتند. طبق نتایج مقایسه میانگین بیش‌ترین عملکرد دانه، عملکرد روغن، عملکرد زیستی و عملکرد موسیلاژ در توده کلیبر به دست آمد و در رتبه بعدی توده تکاب قرار گرفت. کم‌ترین عملکرد دانه و روغن نیز در توده جلفا به دست آمد. براساس نتایج به دست آمده در این آزمایش در شرایط دیم منطقه خرم آباد، توده کلیبر از لحاظ صفات مورد مطالعه نسبت به دیگر توده‌ها برتر بود. بر اساس تجزیه همبستگی در شرایط دیم صفت عملکرد دانه بیش‌ترین ضریب همبستگی را عملکرد روغن، عملکرد موسیلاژ، عملکرد بیولوژیک داشت.

واژه‌های کلیدی: بالنگو، شاخص برداشت، عملکرد روغن، عملکرد موسیلاژ، کلروفیل، وزن هزار دانه

مقدمه

کشور ایران نیز با متوسط بارندگی ۲۴۰ میلی‌متر (معادل یک سوم

میانگین جهانی) جزو مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌گردد (Fanaei et al., 2009). کشت دیم یا سیستم‌های دیم‌کاری در حدود ۸۰ درصد زمین‌های کشاورزی جهان را شامل می‌شود و در تولید بیش از دو سوم غذای جهان سهم دارد. در آفریقا بیش از ۹۵ درصد، در آمریکای لاتین ۹۰ درصد، در آسیای غربی و شمال آفریقا ۷۵ درصد، در آسیای شرقی ۶۵ درصد، و در آسیای جنوبی ۶۰ درصد، زمین‌های کشاورزی دیم هستند (Rockstrom et al., 2007). از آنجا که طیف وسیعی از مناطق قابل کشت جهان اقلیم خشک و نیمه خشک هستند و با توجه به محدود بودن منابع آبی در مناطق نامبرده،

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران.

۲- دانشیار، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران.

۳- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران.

(Email: amini@shahed.ac.ir

*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/agry.2021.68788.1021

امولوسیون‌کنندگی، در صنعت نساجی و داروسازی کاربردهای فراوانی دارند (Dinc et al., 2009).

بالنگو به دلیل سازگاری به کم‌آبی، در مناطقی که منابع آب محدود است، زراعت موفقیت‌آمیزی دارد. با توجه به واقع شدن ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک و عدم دسترسی کافی به منابع آبی، هم‌چنین خشکسالی‌های موجود، به ناچار باید زمین‌های کشاورزی را به کشت گیاهان کم‌توقع با نیاز آبی کم، اختصاص دهیم. در این میان، گیاهان دارویی از جمله بالنگوی شهری که امکان کشت دیم آن‌ها وجود دارد، منطقی به نظر می‌رسد (Shahbazi Dourbash et al., 2012).

در گیاهان دارویی از جمله بالنگوی شهری، اهلی کردن و کشت زراعی آن، گزینش ارقام مقاوم، مطالعه الگوهای رفتاری ژنوتیپ‌ها در شرایط مختلف و شناخت ویژگی‌های مربوط به هر کدام از عوامل مؤثر در رشد، برای انتخاب بهترین رقم است که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد لذا مطالعه عوامل تأثیر آن‌ها بر گیاهان دارویی و هم‌چنین ارائه، ایجاد و توسعه روش‌های مناسب به‌ویژه در شرایط کشور ایران بسیار حیاتی به نظر می‌رسد (Abdollahi et al., 2014). با توجه به کمبود اطلاعات در مورد گونه‌های گیاه دارویی بالنگو، جمع‌آوری و ارزیابی خصوصیات گیاه‌شناسی ارقام و توده‌های بومی بالنگو شهری در ایران به منظور شناسایی و انتخاب ارقام و توده‌های برتر امری ضروری است. هدف از این پژوهش، مطالعه رنگیزه‌های فتوسنتزی، عملکرد دانه، عملکرد روغن، درصد و عملکرد موسیلاژ پنج توده گیاه دارویی بالنگو شهری بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. مزرعه پژوهشی دارای طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۸ دقیقه شرقی، ارتفاع از سطح دریا ۱۱۴۷/۸ متر، میانگین بارندگی ۵۲۵ میلی‌متر و میانگین دما ۱۴/۱۳ درجه سانتی‌گراد بود. طبق طبقه‌بندی اقلیمی منطقه خرم‌آباد دارای اقلیم نیمه‌گرمسیری با تابستان گرم و خشک و بر اساس آمار بلندمدت دارای اقلیم معتدل می‌باشد. قبل از کاشت از خاک مزرعه که در سال قبل از آزمایش به صورت آیش بود، نمونه‌برداری مرکب به عمل آمد و در آزمایشگاه تجزیه گردید. مشخصات خاک مزرعه تحقیقاتی در

لازم است برای تأمین مواد غذایی مورد نیاز از کشاورزی دیم استفاده کنیم. شصت و دو درصد درصد غذای اصلی مردم از کشاورزی دیم تأمین می‌شود، این کشاورزی ۸۰ درصد از سطح زیر کشت کل کره زمین را به خود اختصاص داده، به‌طوری که اهمیت آن به‌خصوص در مسئله تغذیه جمعیت جهان به‌طور روز افزون مورد توجه قرار گرفته است. زراعت دیم دارای خصوصیات متفاوتی نسبت به زراعت آبی است (Najafzadeh & Rahmati, 2014). ایران هم به‌عنوان یک کشور در حال توسعه که با کاهش منابع آبی روبه‌رو است. با توجه به آمار موجود، در بیش از ۷۵ درصد مساحت کشور میزان بارندگی کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر در سال است (Draji & Golchin, 2010).

با افزایش تقاضای مصرف گیاهان دارویی در جهان و محدود بودن ظرفیت منابع طبیعی جهت تولید این گیاهان، پرورش گیاهان دارویی به‌صورت عمده و تجاری مورد توجه قرار گرفته است. امروزه رویکرد استفاده روز افزون از گیاهان دارویی در سطح جهان، اهمیت کشت و تولید این گیاهان را بیش‌تر کرده است (Davazdah Emami & Majnon Hosseini, 2007). به‌همین منظور، استفاده از گیاهان دارویی، روغنی و موسیلاژی همانند بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica*) با نیاز زراعی پایین و سازگار به مناطق خشک که به‌طور گسترده در اروپا و غرب آسیا رشد می‌کند و بومی ایران، ترکیه و هند است، در سطح جهانی مورد توجه قرار گرفته است (Barati et al., 2012).

بالنگوی شهری با نام علمی (*Lallemantia iberica* Benth.) گیاهی دارویی با کاربردهای متنوع و فراوان به‌عنوان یکی از گیاهان پر ارزش از تیره نناع (*Lamiaceae*) به حساب می‌آید. ترکیب‌های اصلی اسانس بالنگو شامل لیمون، لینالول، ساینین، کاریوفیلین و بتا کوپن است (Nori Shargh et al., 2009). در حال حاضر، این گیاه جهت تولید دانه و نیز استخراج روغن و موسیلاژ کشت می‌شود (Alikhani et al., 2011). روغن بالنگوی شهری مشابه روغن کتان می‌باشد و دارای کاربردهای غذایی، روشنایی، روغن جلا، روغن نقاشی، روغن گریس و دارویی است (Jones & Valamoti, 2005). دانه بالنگو دارای خواص دارویی زیادی بوده، به‌طوری که مقوی قلب بوده و برای رفع وحشت، خفقان، دل‌پیچه و اسهال خونی مفید می‌باشد. هم‌چنین موسیلاژ این گیاه به‌عنوان لینت بخش در درمان سرفه مصرف سنتی دارد (Naghbi et al., 2005). موسیلاژها به دلیل خواص مهمی همچون پایدارکنندگی، سوسپانسیون‌کنندگی،

خاک پوشانده شد. هر قطعه خاک‌ورزی به سه تکرار با فواصل دو متر تقسیم و در هر تکرار پنج توده بالنگوی شهری کشت شد. هر کرت شامل پنج خط کاشت به فواصل ۵۰ سانتی‌متری به طول سه متر می‌باشد. میزان بذر مصرفی شش کیلوگرم در هکتار بود. شروع جوانه‌زنی بذور در ۱۳۹۶/۰۸/۲۱ مشاهده شد. به دلیل دیم بودن کشت، عملیات آبیاری به صورت دستی انجام نگرفت و آب مورد نیاز مزرعه از طریق نزولات جوی تأمین شد (جدول ۲). در طول فصل رشد مراقبت‌های لازم شامل مبارزه با علف‌های هرز به صورت وجین دستی صورت پذیرفت.

جدول یک نشان داده شده است. آزمایش در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. توده‌های بالنگوی شهری (تکاب، کلیر، کردستان (سندج)، نظر کهریزی و جلفا) به عنوان فاکتور آزمایش بودند. بذرها بالنگو شهری از شهرستان مراغه تهیه گردید. به منظور عملیات تهیه زمین با مناسب شدن شرایط اقلیمی در مهر ماه ۱۳۹۶ انجام گرفت. سپس با در نظر گرفتن مساعد بودن شرایط عملیات کاشت در ۱۳۹۶/۰۸/۷ انجام گرفت. خاک‌ورزی به صورت مرسوم شامل شخم با گاوآهن برگردان‌دار و دیسک انجام گرفت، در تاریخ ۱۳۹۶/۰۸/۰۷ بذرها را کشت و با یک سانتی‌متر

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی

Table 1- Physical and chemical characteristics of soil of research farm

بافت Texture	کربن آلی Organic C (%)	شاخص واکنش pH	شوری EC (dS.m ⁻¹)	نیتروژن کل N (%)	فسفر P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)
لوم Loam	0.94	7.5	1.35	0.42	13.5	361

جدول ۲- خصوصیات اقلیمی مزرعه تحقیقاتی سال ۱۳۹۶/۹۷

Table 2- Climatic characteristics of the research farm in 2017/2018

میانگین سالانه بارندگی Average annual rainfall (mm)	میانگین رطوبت نسبی Average relative humidity (%)	حداقل دما Minimum temperature (°C)	حداکثر دما Maximum temperature (°C)	متوسط دما Average temperature (°C)
522.5	50.15	6.5	21.76	14.13

دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از آن که وزن پنج بوته با ترازو توزین و میانگین آن به عنوان عملکرد زیستی تعیین گشت، پس از جداسازی بذر، وزن بذور، اندازه‌گیری شده و میانگین آن‌ها به عنوان عملکرد اقتصادی تعیین شد. شاخص برداشت از تقسیم عملکرد اقتصادی بر عملکرد زیستی ضرب در ۱۰۰، محاسبه گردید.

سنجش میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید: در زمان ۵۰ درصد گل‌دهی کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید اندازه‌گیری شد. برای تعیین محتوی کلروفیل a، b و کلروفیل کل بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ از روش آرنون و همکاران (Amon, 1949) و میزان کاروتنوئید با استفاده از روش گو و همکاران (Gu et al., 2008) انجام شد. کلروفیل کل شامل تمام کلروفیل‌های موجود در برگ و کلروفیل کل از حاصل جمع کلروفیل a و کلروفیل b به دست آمد. بدین منظور ۰/۵ گرم از برگ تازه به همراه پنج میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد (W/N) ساییده شد. پس از ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ در دور

صفات مورد بررسی

صفات مورد ارزیابی شاخص برداشت، عملکرد زیستی، عملکرد اقتصادی، میزان کلروفیل a و b، کلروفیل کل و میزان کاروتنوئید، عملکرد و درصد روغن دانه، عملکرد و درصد موسیلاژ بذور بود. نمونه‌برداری صفات رنگیزه‌های فتوسنتزی در زمان ۶۰ درصد گل‌دهی مزرعه (۱۳۹۷/۰۲/۲۸) انجام گرفت. زمان نمونه‌برداری در پایان فصل رشد (خرداد ماه) و پس از رسیدگی کامل که دانه‌ها تقریباً نیمه قهوه‌ای بودند، تعداد پنج بوته از هر کرت به صورت تصادفی و با حذف اثر حاشیه انتخاب شد. برای تعیین عملکرد دانه در بالنگوی شهری ۲۸ خرداد ۱۳۹۷ از هر کرت آزمایشی، مساحتی برابر دو مترمربع با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای برداشت و پس از جداسازی بذر با ترازو دقیق اندازه‌گیری شد. برای تعیین شاخص برداشت ابتدا پنج بوته از هر کرت آزمایشی در زمان رسیدن بذرها برداشت نموده و به آزمایشگاه منتقل شد. سپس نمونه‌ها در آون به مدت ۴۸ ساعت در

اطلاعات حاصل، از طریق برنامه آماری SAS 9.1 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

درصد و عملکرد روغن دانه

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، اثر توده بر صفت عملکرد روغن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و بر درصد روغن دانه غیر معنی‌دار شد (جدول ۳). بیش‌ترین عملکرد روغن دانه در توده کلیپر با میانگین (۶۱۷/۰۲ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمده که تفاوت معناداری با دیگر توده‌های تکاب، کردستان، نظر کهریزی و جلفا به‌ترتیب با میانگین ۵۸۲/۰۹، ۱۹۶/۳۵ و ۱۸۵/۸۱ و ۱۳۳/۲۱ کیلوگرم در هکتار داشت (شکل ۱). بنابراین، بالا بودن عملکرد روغن در توده کلیپر به نظر می‌رسد به‌دلیل خصوصیات ژنتیکی گیاه مانند تولید شاخه‌های فرعی بیشتر، تعداد بیشتر دانه در فندقه و هم‌چنین بالاتر بودن عملکرد دانه باشد. این پژوهش نشان داد که در بین توده‌های بالنگو شهری از نظر صفات بیوشیمیایی تنوع وجود دارد. این نتایج با نتایج به‌دست آمده توسط احمدی و امیدی (Ahmadi & Omid, 2017) با بررسی صفات فیتوشیمیایی جمعیت‌های بالنگو شیرازی (*Lallemantia royleana* Benth) مطابقت داشت، آنان گزارش کردند که جمعیت‌های بالنگو شیرازی از نظر مقدار درصد و عملکرد روغن دانه و درصد موسیلاژ دانه متفاوت بودند.

درصد و عملکرد موسیلاژ

طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر توده تأثیر معنی‌داری بر درصد موسیلاژ دانه نداشت و اثر تیمار توده بر عملکرد موسیلاژ در واحد سطح در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۳). بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر توده نشان داد که توده کلیپر با میانگین (۲۷۸/۵۳ کیلوگرم) بیش‌ترین عملکرد موسیلاژ و توده جلفا تحت تأثیر بی‌خاک‌ورزی با میانگین (۱۰۶/۰۹ کیلوگرم) کم‌ترین عملکرد موسیلاژ را داشت.

۱۳۰۰۰ در دقیقه و دمای چهار درجه سانتی‌گراد به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده و جذب عصاره حاصل کلروفیل در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر و جذب کاروتنوئید در طول موج ۴۷۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت گردید.

درصد و عملکرد موسیلاژ: جهت اندازه‌گیری موسیلاژ، پنج گرم از دانه‌های بالنگو را با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب جوش اسیدی (pH = 5) به مدت ۴۵ دقیقه در حمام آب گرم قرار داده و پس از صاف کردن تبخیر نموده تا به حجم ۵۰ میلی‌لیتر برسد. سپس ۱۵۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۶ درصد به تدریج به آن اضافه و به مدت ۲۴ ساعت در یخچال قرار داده می‌شود تا موسیلاژها رسوب کنند. پس از آن موسیلاژها را به وسیله کاغذ صافی جدا و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد اتاق خشک شدند، سپس میزان موسیلاژ با توجه به تفاوت وزن کاغذ صافی قبل از صاف کردن و بعد از خشک شدن محاسبه شد. عملکرد موسیلاژ طبق معادله ۱ محاسبه و بر حسب گرم موسیلاژ در کیلوگرم بیان شد (Ghasemi Dehkordi, 2002).

معادله (۱) (عملکرد دانه × درصد موسیلاژ) = عملکرد موسیلاژ
اندازه‌گیری روغن دانه: سنجش روغن دانه در آزمایشگاه شیمی دانشکده علوم پایه دانشگاه شاهد با روش سوکسوله انجام گردید. دانه‌ها پس از خشک شدن در آون، پودر شده و در کاتریج سلولزی قرار گرفته و در محفظه بالایی دستگاه مستقر شده. حلال N-هگزان نرمال در محفظه پایینی وارد شد و گرم‌کننده دستگاه روشن گردید. با گرم شدن محفظه پایینی، بخار حلال داغ به محتویات پودر دانه‌ها می‌رسید و مایع ایجاد شده چربی را در خود حل و از طریق مجرای مخصوص خارج و جداگانه جمع‌آوری می‌شد. سپس حلال اولیه تبخیر و چربی به‌جا مانده توزین می‌گردید (Soxhlet, 2003). عملکرد روغن دانه از حاصل ضرب درصد روغن و عملکرد دانه به‌دست آمد. برای انجام آزمایش از حلال N-هگزان استفاده شد. در این روش، روغن موجود در پودر فندقه با استفاده از هگزان نرمال به‌عنوان حلال در دستگاه سوکسوله (به مدت ۱۰ ساعت) استخراج گردید. سپس حلال اضافی در دستگاه روتاری حذف و درصد روغن از طریق معادله ۲ اندازه‌گیری انجام شد.

معادله (۲)
$$100 \times ((W3 - W2) / W1) = \text{درصد روغن}$$
 که در آن، W1: وزن پودر فندقه (پنج گرم)، W2: وزن بالن و W3: وزن بالن حاوی روغن پس از حذف حلال اضافی می‌باشند.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه توده‌های بالنگو

Table 3- Analysis of variance Dragon's head accessions

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares						
		درصد روغن Oil percent	عملکرد روغن Oil yield	درصد موسیلاژ Percentage mucilage	عملکرد موسیلاژ Mucilage yield	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	وزن هزار دانه 1000-seed weight
بلوک Block (B)	2	17.58*	4068.56 ^{ns}	2.78 ^{ns}	664.39 ^{ns}	3258.54 ^{ns}	346375.25 ^{ns}	0.08 ^{ns}
توده Accession (V)	4	3.78 ^{ns}	98861.17**	4.74 ^{ns}	16787.27**	783440.05**	5197561.88**	0.15*
خطا Error (3)	8	3.45	1072.05	0.67	233.77	1805.18	253517.04	0.03
ضریب تغییرات CV (%)		5.16	8.12	5.00	8.56	3.78	9.35	4.74

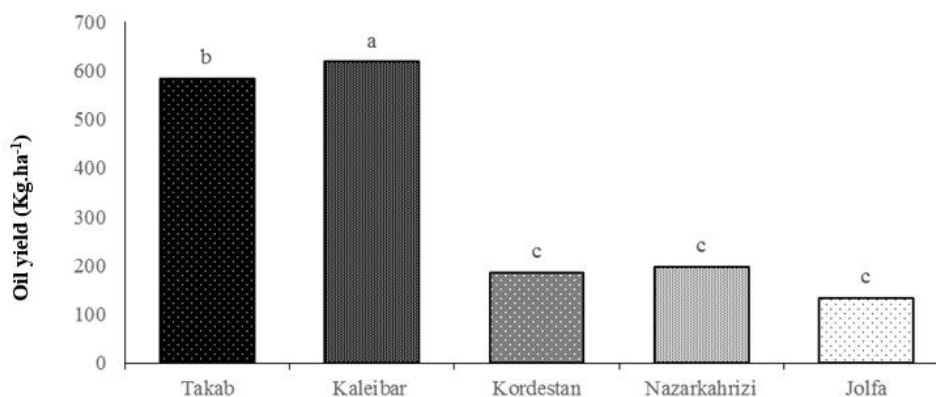
ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.
ns, * and **: significant and non-significant 5% and 1%.

ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه توده‌های بالنگو

Continues Table 3- Analysis of variance Dragon's head accessions

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares				
		شاخص برداشت Harvest index	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	محتوای کارتنوئید Carotenoid
بلوک Block (B)	2	3.89 ^{ns}	0.01 ^{ns}	2.85*	3.99*	73.98 ^{ns}
توده Accession (V)	4	70.99**	0.04 ^{ns}	0.59 ^{ns}	0.72 ^{ns}	126.83 ^{ns}
خطا Error (3)	8	3.43	0.009	0.49	0.63	31.19
ضریب تغییرات CV (%)		9.17	1.83	22.66	9.55	16.69

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.
ns, * and **: significant and non-significant 5% and 1%.

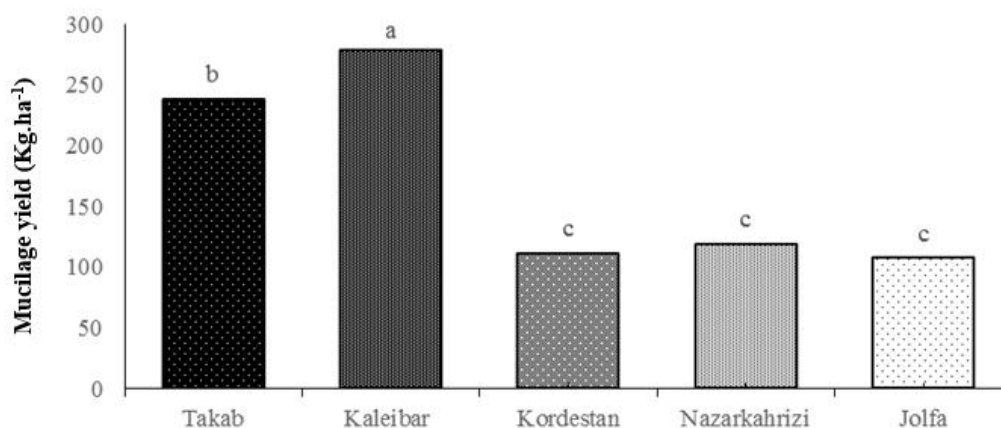


شکل ۱- مقایسه میانگین اثر روش‌های خاک‌ورزی و توده‌های بالنگوی شهری بر میزان عملکرد روغن دانه

Fig. 1- Comparison of the average effect of tillage methods and urban turf accessions on seed oil yield

جمعیت‌های بالنگو شیرازی در پژوهش احمدی و امیدی (Ahmadi & Omid, 2019) تحت تأثیر جمعیت بالنگو قرار گرفت و جمعیت‌های بالنگو عملکردهای متفاوتی نشان دادند.

عملکرد موسیلاژ از دو مؤلفه عملکرد دانه در واحد سطح و درصد موسیلاژ متأثر می‌گردد (شکل ۲). با توجه به اینکه عملکرد موسیلاژ حاصل ضرب مقدار موسیلاژ در عملکرد دانه می‌باشد، به طبع این صفت تحت تأثیر عملکرد دانه تغییر می‌کند. میزان موسیلاژ در



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر توده‌های بالنگو شهری بر میزان عملکرد موسیلاژ
Fig. 2- Comparison of the average effect of urban turf accessions on mucilage yield

باعث افزایش عملکرد دانه و وزن هزار دانه می‌شود (Abdollahi et al., 2014).

عملکرد دانه

مهم‌ترین عامل در تولید گیاهان زراعی میزان عملکرد دانه محسوب می‌شود. تجزیه واریانس عملکرد دانه بیانگر معنی‌داری اثر متقابل تیمارهای خاک‌ورزی و توده بر روی عملکرد دانه در سطح یک درصد می‌باشد، ولی تأثیر توده در خاک‌ورزی بر روی این ویژگی معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که دستیابی به بالاترین عملکرد مربوط به تیمار توده کلیبر با میانگین (۲۰۶۴/۱ کیلوگرم در هکتار) و پایین‌ترین عملکرد دانه مربوط به تیمار توده جلفا با میانگین (۷۳۲/۴ کیلوگرم در هکتار) است (شکل ۴). بنابراین، بالا بودن عملکرد دانه در توده کلیبر ممکن است به دلیل خصوصیات ژنتیکی گیاه مانند تولید شاخه‌های جانبی بیشتر و همچنین افزایش تعداد دانه در فندقه زمینه را برای افزایش عملکرد در این توده فراهم کند. بالاتر بودن عملکرد دانه، وزن هزار دانه و شاخص برداشت بالنگو شهری مطابق با نتایج عبداللهی و ملکی فراهانی (Abdollahi &

محتوای کلروفیل a, b، کلروفیل کل و کاروتنوئید

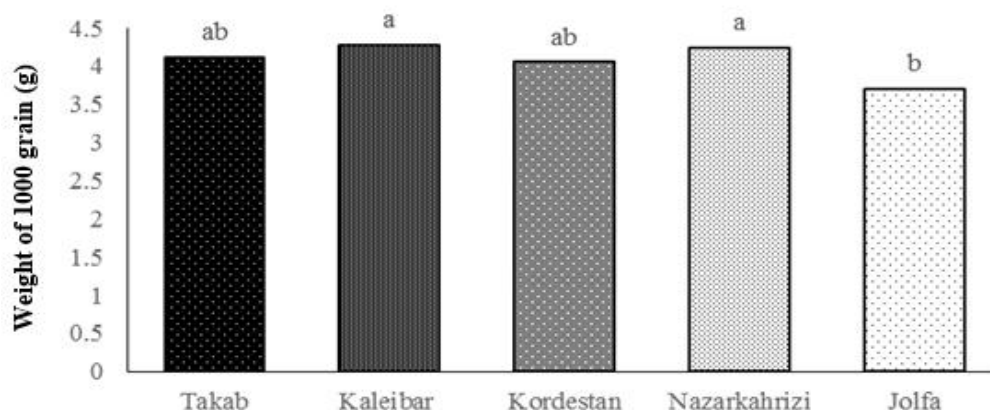
طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر توده بر صفات محتوای کلروفیل a, b، کلروفیل کل و کاروتنوئید بافت برگ غیر معنی‌دار شد (جدول ۳). عدم معنی‌داری صفات رنگی‌های فتوسنتزی در توده‌های بالنگو شهری می‌تواند حاکی از آن باشد. طی یافته‌های عبداللهی و همکاران (Abdollahi et al., 2014) در بررسی تنش خشکی بر دو گونه متفاوت بالنگو، اثر گونه بالنگو بر صفات رنگی‌های فتوسنتزی تأثیر معنی‌داری نداشت و با نتایج این پژوهش هم‌خوانی داشت.

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر توده بر وزن هزار دانه در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). طبق نتایج مقایسه میانگین اثر توده، بین توده‌های بالنگو از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بیش‌ترین و کم‌ترین وزن هزار دانه به‌ترتیب در توده‌های کلیبر (۴/۲۸ گرم) و جلفا (۳/۷ گرم) به‌دست آمد (شکل ۳). مطالعات نشان داده است که افزایش مقدار رطوبت قابل دسترس گیاه بر رشد رویشی و زایشی گیاه و جذب عناصر غذایی تأثیر مثبتی دارد و

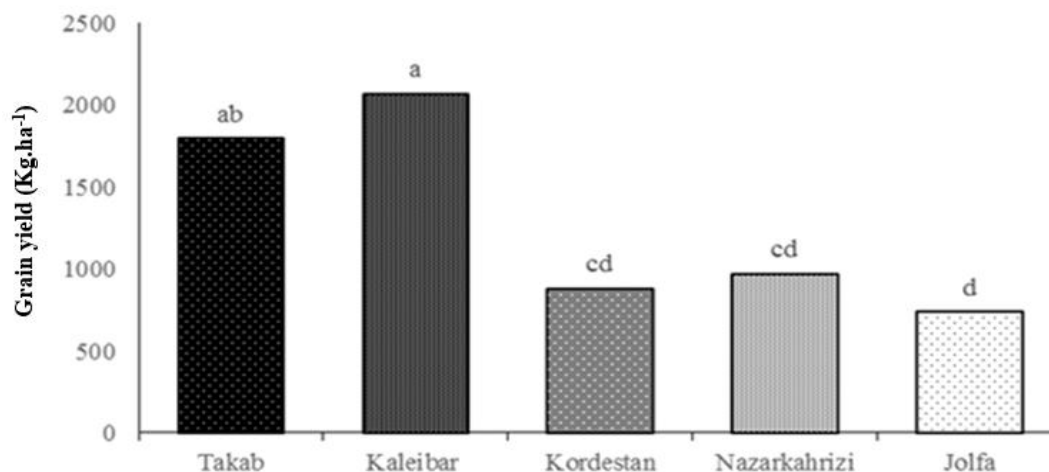
با منشأ شهر سلماس ارومیه میانگین عملکرد دانه ۱۸۶۰ کیلوگرم در هکتار بود. توده‌های بالنگو شهری به دلیل سطح تاج پوشش بیشتر و طول دوره رویش طولانی‌تر نسبت به گونه‌های دیگر بالنگو از میزان عملکرد دانه بالاتری برخوردار می‌باشد (Emam & Niknejad, 2011).

(Maleki Farahani, 2019) و امید و همکاران (Omidi *et al.*, 2018) است که بالا بودن عملکرد دانه، وزن هزار دانه و شاخص برداشت بالنگو شهری را نسبت به بالنگو شیرازی گزارش کرده‌اند. در پژوهش احمدی و ملکی فراهانی (Ahmadi & Maleki Farahani, 2021) در شرایط کشت پاییزه در منطقه شهرری تهران بالنگو شهری



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر توده‌های بالنگوی شهری بر وزن هزاردانه

Fig. 3- Comparison of the average effect of urban turf accessions on the weight of 1000 grain



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر توده‌های بالنگوی شهری بر عملکرد دانه

Fig. 4- Comparison of the average effect of urban turf accessions on grain yield

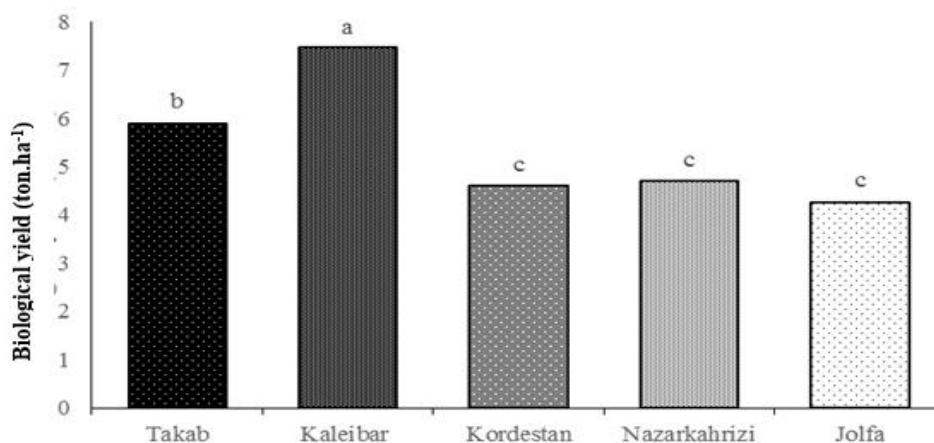
بیولوژیک بیشتری نشان داد (شکل ۵). گزارش شده است که در برابر تغییرات نامساعد محیطی بالنگو شهری به دلیل مقاومت بیشتر در برابر شرایط محیطی شاخ و برگ بیشتری تولید می‌کند (Ahmadi & Maleki Farahani, 2021). در مورد عملکرد بذر در بالنگوی شهری نیز می‌توان چنین اظهار نمود که وجود برگ بیشتر در این گونه نسبت به سایر گونه‌ها احتمالاً توانسته است شرایط برای فتوسنتز و در نتیجه،

عملکرد بیولوژیک

باتوجه به جدول تجزیه واریانس عملکرد بیولوژیک تحت اثر توده در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که توده کلیبر با میانگین ۷/۴۶ تن در هکتار و توده جلفا با میانگین ۴/۲۶ تن در هکتار به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد زیستی داشتند. توده تکاب بعد از توده کلیبر عملکرد

زایشی مولد بذر (خورجینک‌ها) شده، در نتیجه توانسته عملکرد بذر بیشتری تولید کند (Rashvand et al., 2021).

تجمع ماده خشک تجمعی بیشتر و عملکرد بیولوژیک در گیاه شده باشد (Rashvand et al., 2021). گونه بالنگوی شهری به دلیل ارتفاع و تاج پوشش بیشتر عاملی برای تولید تعداد بیشتری از اندام‌های



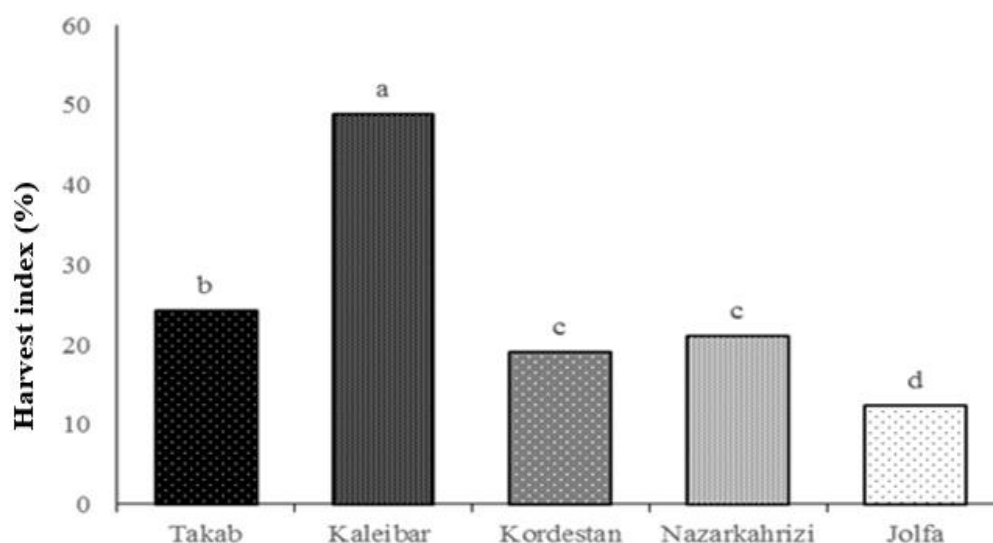
شکل ۵- مقایسه میانگین اثر توده‌های بالنگوی شهری بر عملکرد زیستی
Fig. 5- Comparison of the average effect of urban turf accessions on biological yield

همبستگی پیرسون صفات

نتایج همبستگی پیرسون بین صفات مورد مطالعه با عملکرد دانه نشان داد که بین عملکرد دانه با عملکرد روغن ($r = 0.983^{**}$)، عملکرد موسیلاژ ($r = 0.981^{**}$)، عملکرد بیولوژیک ($r = 0.896^{**}$) و شاخص برداشت ($r = 0.885^{**}$) همبستگی معنی‌داری داشت. هم-چنین عملکرد دانه با صفات درصد روغن، درصد موسیلاژ، وزن هزار دانه، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید غیر معنی‌دار شد. بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین محتوای کلروفیل b و محتوای کلروفیل کل ($r = 0.991^{**}$) مشاهده شد (جدول ۴). طی مطالعه پژوهشی در پنج جمعیت بالنگوی شیرازی همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه با وزن هزار دانه و عملکرد موسیلاژ مشاهده شد احمدی و امیدی (Ahmadi & Omidi, 2019) که در نتایج همبستگی این پژوهش نیز مطابقت دارد. در پژوهش‌های جداگانه‌ای روی زیره سبز و گیاه دارویی اسفرزه نیز وجود رابطه مستقیم میان صفات شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک و عملکرد بذر گزارش شده است (Rashidi Asl & Moraghebi, 2011). گونه‌های بالنگو همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد بذر با صفت عملکرد بیولوژیک گیاه مشاهده شد (Ahmadi & Maleki, 2021).

شاخص برداشت

طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر توده بر شاخص برداشت بالنگوی شهری در سطح یک درصد تفاوت معنی‌داری را ایجاد نمود (جدول ۳). با توجه به نتایج مقایسه میانگین توده‌های بالنگوی شهری بیش‌ترین و کم‌ترین شاخص برداشت به ترتیب مربوط به توده کلبر با میانگین ۴۶/۹۶ درصد و توده تکاب با میانگین ۱۲/۴۳ درصد بود (شکل ۶). به‌طور کلی، مهم‌ترین عاملی که در راستای افزایش عملکرد مورد توجه قرار می‌گیرد شاخص برداشت است، البته باید توجه داشت که بالا بودن شاخص برداشت به معنی بالا بودن عملکرد نیست و ممکن است رقم یا توده‌ای شاخص برداشت بالا و عملکرد پایینی داشته باشد که به دلیل کاهش نسبت دانه به کل ماده خشک هوایی می‌باشد. به عبارت دیگر، با تخصیص مواد تولیدی بیش‌تر به دانه و یا افزایش عملکرد زیستی می‌توان بدون تغییر در شاخص برداشت، عملکرد دانه را افزایش داد. دیررسی در توده‌های بالنگو شهری موجب افزایش طول مدت زمان دریافت تشعشع خورشیدی، میزان جذب تشعشع توسط گیاه، بازدهی فتوسنتز و شاخص برداشت از عوامل اصلی افزایش عملکرد در این گونه گیاهان دارویی می‌شود (Emam & Niknejad, 2011).



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر توده‌های بالنگوی شهری بر شاخص برداشت

Fig. 6- Comparison of the average effect of urban turf accessions on harvest index

جدول ۴- ضرایب همبستگی پیرسون صفات مورد مطالعه در توده‌های بالنگو شهری

Table 4- Pearson correlation coefficient Dragon's head accessions

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
۱- درصد روغن 1- Oil percent	1											
۲- عملکرد روغن 2- Oil yield	0.091 ^{ns}	1										
۳- درصد موسیلاژ 3- Percentage of mucilage	0.261 ^{ns}	-0.407 ^{ns}	1									
۴- عملکرد موسیلاژ 4- Mucilage yield	-0.009 ^{ns}	0.981 ^{**}	-0.298 ^{ns}	1								
۵- عملکرد دانه 5- Grain yield	-0.081 ^{ns}	0.983 ^{**}	-0.462 ^{ns}	0.981 ^{**}	1							
۶- عملکرد بیولوژیک 6- Biological yield	-0.219 ^{ns}	0.855 ^{ns}	-0.442 ^{ns}	0.875 ^{**}	0.896 ^{**}	1						
۷- شاخص برداشت 7- Harvest index	0.044 ^{**}	0.893 ^{**}	-0.433 ^{ns}	0.862 ^{**}	0.885 ^{**}	0.593 ^{**}	1					
۸- وزن هزار دانه 8- 1000-Seed Weight	0.067 ^{ns}	-0.127 ^{ns}	0.569 ^{ns}	-0.006 ^{ns}	-0.142 ^{ns}	-0.003 ^{ns}	-0.309 ^{ns}	1				
۹- کلروفیل a 9- Chlorophyll a	0.347 ^{ns}	-0.566 [*]	0.163 ^{ns}	-0.601 [*]	-0.611 ^{ns}	-0.609 ^{ns}	-0.501 ^{ns}	0.169 ^{ns}	1			
۱۰- کلروفیل b 10- Chlorophyll b	0.131 ^{ns}	-0.221 ^{ns}	0.351 ^{ns}	-0.156 ^{ns}	-0.244 ^{ns}	-0.298 ^{ns}	-0.132 ^{ns}	0.298 ^{ns}	0.345 ^{ns}	1		
۱۱- کلروفیل کل 11- Total Chlorophyll	0.171 ^{ns}	-0.197 ^{ns}	0.371 ^{ns}	-0.128 ^{ns}	-0.224 ^{ns}	-0.285 ^{ns}	-0.118 ^{ns}	0.331 ^{ns}	0.411 ^{ns}	0.991 ^{**}	1	
۱۲- محتوای کارتنوئید 12- Carotenoid	-0.307 ^{ns}	0.131 ^{ns}	-0.354 ^{ns}	0.158 ^{ns}	0.183 ^{ns}	0.308 ^{ns}	0.042 ^{ns}	0.105 ^{ns}	-0.215 ^{ns}	0.211 ^{ns}	0.184 ^{ns}	1

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

ns, * and **: significant and non-significant 5% and 1%.

نتیجه‌گیری

طبق نتایج به‌دست آمده، اثر توده تأثیر معنی‌داری بر صفات مورد ارزیابی داشت. بیش‌ترین میزان عملکرد موسیلاژ دانه، روغن دانه، عملکرد بیولوژیک و هم‌چنین عملکرد دانه در توده کلیبر و به دنبال آن در توده تکاب مشاهده شد. در توده کلیبر بود که اختلاف معنی‌داری با دیگر توده‌های بالنگو شهری داشت. هم‌چنین کم‌ترین عملکرد دانه، عملکرد موسیلاژ، عملکرد روغن دانه و عملکرد بیولوژیک نیز در توده جلفا به‌دست آمد. طبق یافته‌های آزمایش در شرایط دیم منطقه خرم‌آباد توده کلیبر ابتدا و بعد توده تکاب مناسب

کشت می‌باشند و دارای عملکرد قابل قبولی هستند و می‌توان برای کشت در شرایط مشابه توصیه کرد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از مسئولین دانشکده علوم کشاورزی، مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی علوم پایه و آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه شاهد به‌دلیل فراهم کردن امکانات این تحقیق قدردانی می‌شود.

References

- Abdollahi, M., Maleki Farahani, S., Fotokian, M., & Hasanzade Goorut Tappe, A. (2014). Evaluation of yield, yield components and water use efficiency of Shahri and Shirazi balangu (*Lallemantia* sp) under drought stress for irrigation management. *Water and Irrigation Management*, 3(2), 103-120. (In Persian with English Summary)
- Abdollahi, M., & Maleki Farahani, S. (2019). Seed quality, water use efficiency and eco physiological characteristics of *lallelantia* (*Lallemantia* sp.) species as effected by soil moisture content. *Acta Agriculturae Slovenica*, 113, 307-320. DOI : <https://doi.org/10.14720/aas.2019.113.2.12>.
- Ahmadi, K., & Omid, H. (2017). Evaluate the effect of drought stress on the quantity and quality of medicinal plant populations balangu (*Lallemantia royleana* Benth.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10(2), 307-318. (In Persian with English Summary). DOI: <https://doi.org/10.22077/escs.2017.586>.
- Ahmadi, K., & Omid, H. (2019). Evaluation of morphological characteristics, yield components and catalase enzymes activity of *Lallemantia royleana* Benth. under drought stress. *Journal of Agroecology*/ 11(2), 757-774. (In Persian with English Summary)
- Ahmadi, R., & Maleki Farahani, S. (2021). Effects of sowing date and nitrogen fertilizer on quantitative and qualitative characteristics, and nitrogen efficiency in *Lallemantia iberica* (M.Bieb.) Fisch. & C.A.Mey. and *Lallemantia royleana* (Benth.) Benth. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37(1), 65-82. (In Persian with English Summary). DOI: [4.351894.2021.ijmapr/22092.1](https://doi.org/10.351894.2021.ijmapr/22092.1).
- Alikhani, K.H., Bhrani, M.J., & Kazmini, S.A. (2011). Effect of tillage and corn residue on the growth, yield and yield components of wheat. *Iranian Journal of Field Research*, 9(3), 486-493. (In Persian with English Summary)
- Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Poly phenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24(1), 1-150. DOI: [10.1104/pp.24.1.1](https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1).
- Dinc, M., Nur Munevver, P., Dogu, S., & Yildirimli, S. (2009). Micromorphological studies of *Lallemantia* L. (Lamiaceae) species growing in turkey. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 51(1), 45-54.
- Barati, F., Frequency, M. & Minimum, H. (2012). Effect of nitrogen nutrition and organic fertilizers on some quantitative indicators Balngu medicinal plants. National Conference on Natural Products and Medicinal Plants. Gorgan. Golestan Province. 18 May.
- Draji, S.S., & Golchin, A. (2010). Investigation of the application of superabsorbent polymers and soil salinity on water holding capacity in three sandy, loamy and clay textures. *Journal of Water and Soil Science and Industry Agriculture*, 24(2), 306-316. (In Persian with English Summary). DOI: <https://doi.org/10.1002/clen.201000017>.
- Emam, Y., & Niknejhad, M. (2011). An Introduction to the Physiology of Crop Yield. Shiraz University Press, Pp. 571. [In Persian]
- Fanaei, H.R., Gloy, M., Kafi, M., Ghanbari Benjar, A., & Shiranirad Rad, A.H. (2009). The effect of potassium fertilizer application and irrigation water on grain yield and water use efficiency in rapeseed (*Brasica napus* L.) and mustard (*Brasica juncea* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 11(3), 271-289. (In Persian with English Summary)

- Ghasemi Dehkordi, N. (2002). Iranian herbal pharmacopoeia standards committee, herbal pharmacopoeia volume 2, Tehran: Ministry of Health and Medical Education, *Department of Food and Drugs*, 262-261. (In Persian)
- Gu, Z., Chen, D., Han, Y., Chen, Z., & Gu, F. (2008). Optimization of carotenoids extraction from *Rhodobacter sphaeroides*. *Learning With Technologies*, 41, 1082-1088. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.07.005>.
- Jones, G., & Valamoti, S.M. (2005). *Lallemantia* an imported or introduced oil plant in Bronze Age northern Greece. *Vegetation History and Archaeobotany*, 14, 571-577. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00334-005-0004-z>.
- Majnon Hosseini, N., & Davazdah Emami, S. (2007). Crops and the Production of Medicinal Plants and Spices. Tehran University Publications. 300p. [In Persian].
- Naghibi, F., Mosaddegh, M., Motamed, S.M., & Ghorbani, A. (2005). Labiatae family in folk medicine in Iran: from ethnobotany to pharmacology. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 2, 63-79. (In Persian with English Summary). DOI: [10.22037/ijpr.2010.619](https://doi.org/10.22037/ijpr.2010.619).
- Najafzadeh, R., & Rahmati, M. (2014). Rainwater management and productivity in agriculture. *Journal of Rainwater Catchment Systems*, 3(2), 40-31. (In Persian with English Summary)
- Nori Shargh, D., Kiaei, S.M., Deyhimi, F., Mozaffarian, V., & Yahyaei, H. (2009). The volatile constituent's analysis of *Lallemantia iberica*. (M.B.) Fischer & Meyer from Iran. *Natural Product Research: Formerly Natural Product Research*, 23(6), 546-54. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786410601132394>.
- Omidi, H., Shams, H., Sahandi, M.S., & Rajabian, T. (2018). Balangu (*Lallemantia* sp.) growth and physiology under field drought conditions affecting plant medicinal content. *Plant Physiology and Biochemistry*, 130, 641-646. (In Persian with English Summary). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.08.014>.
- Pirjalili, F., & Omidi, H. (2017). Effects of drought stress on grain yield and qualitative characteristics of three populations of *Lallemantia royleana* Benth. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 33(1), 25-38. (In Persian with English Summary)
- Ranjbar, H., Shoja, M.R., Samei, H., Pirasteh-Anosheh, H., & Salar, M.H. (2016). Influence of planting method and density on yield, yield components and oil percentage of rapeseed in different tillage systems. *Journal of Plant Ecophysiology*, 7(23), 95-103. (In Persian with English Summary)
- Rashidi Asl, A., & Moraghebi, F. (2011). The study of the relationship between some morphological and phenological traits of cuminum (*Cuminum cyminum* L.) with grain yield. *Quarterly Plant and Ecosystem*, 6(24), 25-30. (In Persian with English Summary)
- Rashvand, S., Jafari, A.A., & Fakhr-Vaezi, A.R. (2021). Evaluation of seed yield in some ecotypes of three *Lallemantia* species. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37(2), 278-279. (In Persian with English Summary). DOI: [10.22092/IJMAPR.2021.343024.2796](https://doi.org/10.22092/IJMAPR.2021.343024.2796)
- Rockstrom, J., Wani, S., Oweis, T., & Hatibu, N. (2007). Managing water in rainfed agriculture. Pages 315-348 in water for food and water for life: A Comprehensive Assessment of water Management in Agriculture. EarthScan, London and International water Management Institute, Colombo, Sri Lanka. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781849773799>.
- Shahbazi Dourbash, S., Alizadeh Dizaj, K., & Fathirezaie, V. (2012). Study on planting possibility of dragon's head (*Lallemantia iberica* F. & C. M.) landraces in cold rainfed conditions. *Iranian Journal of Dryland Agriculture*, 1(2), 82-95. (In Persian with English Summary). DOI: [10.22092/IDAJ.2013.100159](https://doi.org/10.22092/IDAJ.2013.100159).
- Soxhlet, F. (2003). Die gewichtsanalytische Bestimmung des Milchfettes. *Polytechnisches Journal (Dinglers)* 1879: 232-461. (In English)



Effect of the Application of Chemical, Organic, and Biological Fertilizers on Yield and Biochemical Traits of Iranian Shallot (*Allium hirtifolium*)

Razieh Amirkhani¹, Hossein Aroiee^{2*}, and Abdollah Ghasemi Pirbalouti³

Received: 17-03-2021
Revised: 22-09-2021
Accepted: 25-09-2021
Available Online: 25-09-2021

How to cite this article:

Amirkhani, R., Aroiee, H., & Ghasemi Pirbalouti, A. (2023). Effect of the application of chemical, organic, and biological fertilizers on yield and biochemical traits of Iranian shallot. *Journal of Agroecology*. 15(1), 31-49
DOI: [10.22067/agry.2021.69445.1030](https://doi.org/10.22067/agry.2021.69445.1030)

Introduction

Iranian shallot, scientifically known as *Allium hirtifolium*, is an important medicinal, edible, and industrial plant that grows in different regions of Iran, especially in the Central Zagros. Since this plant is harvested from its natural environment for consumption, it is necessary to cultivate and study various factors that affect its quantitative and qualitative yield, such as the use of sustainable agriculture. Additionally, genetic and environmental factors, as well as the use of fertilizers and nutrients, affect the growth, development, and yield of medicinal and edible plants, including Iranian shallots. Therefore, creating the best substrate for cultivation, protection, and harvesting is necessary due to the use of these plants in human health. The purpose of this study was to investigate the effect of chemical and organic fertilizer in inoculation with biofertilizer in two years on the yield and biochemical traits of Iranian shallot.

Materials and Methods

In this study (in the research farm of Islamic Azad University of Shahrekord in Chaharmahal and Bakhtiari province) investigated the effect of chemical fertilizer application (including: nitrogen, potassium, phosphorus 90, 70 and 60 kg/ha, respectively), chemical fertilizer inoculation with fertilizer Vermicompost (10 tons per hectare), Vermicompost inoculation with bio-fertilizer, manure (including sheep manure 10 tons per hectare), manure inoculation with bio-fertilizer (Including Arbuscular Mycorrhizal Fungi including: *Glomus fasciculatum*, *Glomus intraradices* and *Glomus mosseae* and growth-promoting bacteria including: *Azospirillum spp*, *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*) on Iranian shallot biochemical and yields traits such as: size and weight of Bulb, Amount of phenol, Flavonoid Antioxidants, Starch, Glucose, Total protein, Nitrogen, Phosphorus, Potassium of this plant, as an randomized complete blocks design with three replications in two consecutive years (2016-2017 and 2017-2018) was conducted and The simple(year and fertilizer) and combined analysis(year* fertilizer) of variance were done. Data analysis was performed using SAS9.1 software, and LSD test at 5% probability level was used to compare the mean of treatments.

Results and Discussion

The results of the variance analysis showed that the effect of year on all traits was significant, including size and weight of bulb, phenol, flavonoids, antioxidants, starch, glucose, total protein, nitrogen, and phosphorus, at the level of 1%. The effect of fertilizer on all traits (except starch and glucose) and their interactions (year x fertilizer) on all measured traits except antioxidant activity percent, nitrogen, starch, and glucose were also significant.

1- Ph.D. Student of Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

2- Associate Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

3- Professor, Medicinal Herbs Research Center, Islamic Azad university, The Unit of Qods City, Tehran, Iran

(*- Corresponding author's Email: Aroiee@um.ac.ir)

In the second year, antioxidant activity percent, nitrogen, starch, and glucose had the highest amounts at 42.71%, 2.30%, 0.40, and 0.38, respectively, while in the first year, they had the lowest amounts at 29.05, 1.44, 0.23, and 0.23 mg/g fw, respectively.

According to the results, the highest bulb size (8.04 cm), potassium (1.88% and 1.89%), bulb weight (0.095 and 0.096 kg), and total protein (15.05 and 15.72 mg/g fw) were obtained in the vermicompost treatment in inoculation with bio-fertilizer in the second year and chemical fertilizer in inoculation with bio-fertilizer in the second year. Additionally, the highest amount of phenol (1.15 and 1.19 mg/g fw), respectively, in the treatment of vermicompost in inoculation with bio-fertilizer in the second year and chemical fertilizer in inoculation with biofertilizer in the second year, flavonoids (107.1 mg/g fw), and phosphorus (1.623%) in vermicompost in inoculation with bio-fertilizer in the second year were obtained.

Moreover, the results of comparing the means showed that the highest percentages of antioxidant activity percent (36.24) and nitrogen content (2.29%) were in vermicompost in inoculation with bio-fertilizer and chemical fertilizer in inoculation with bio-fertilizer in the second year, respectively. The lowest bulb size (3.16 cm), bulb weight (0.037 kg), phenol content (0.168 mg/g fw), flavonoids (48.99 mg/g fw), total protein (6.81 mg/g fw), phosphorus (0.753%), and potassium (0.811%) were observed in control.

Conclusion

According to the results of this study, organic fertilizers can be used in inoculation with bio-fertilizer to increase the production of Iranian shallot as organic fertilizer and not impose a negative effect on the quantitative and qualitative characteristics of this plant instead of, excessive use of chemical fertilizers.

Keywords: Biofertilizer, Manure, Quantitative and qualitative yield, Vermicompost



مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، ص ۳۱-۴۹

تأثیر کاربرد کودهای شیمیایی، آلی و زیستی بر عملکرد و صفات بیوشیمیایی موسیر ایرانی (*Allium hirtifolium*)

راضیه امیرخانی^۱، حسین آرویی^{۲*} و عبدالله قاسمی پیربلوطی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۶/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۳

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کاربرد کودهای شیمیایی (نیترژن، پتاسیم، فسفر به ترتیب ۹۰، ۷۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار)، ورمی کمپوست (۱۰ تن در هکتار) و کود دامی (کود گوسفندی ۱۰ تن در هکتار) در تلقیح با کودهای زیستی بر صفات بیوشیمیایی و رشدی این گیاه به صورت تجزیه مرکب در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در دو سال (۱۳۹۴-۱۳۹۶) انجام گرفت. نتایج نشان داد که اثر سال بر همه صفات، اثر کود بر همه صفات به غیر از نشاسته و گلوکز و اثر متقابل سال در کود بر همه صفات مورد اندازه‌گیری به غیر از آنتی اکسیدان، نیترژن، نشاسته و گلوکز معنی‌دار گردید، به طوری که در سال دوم آنتی اکسیدان، نیترژن، نشاسته و گلوکز (به ترتیب ۴۲/۷۱ و ۲/۳۰ درصد، ۰/۴۰ و ۰/۳۸ میلی گرم در گرم وزن تر) دارای بیشترین و در سال اول (به ترتیب ۲۹/۰۵، ۱/۴۴، ۰/۲۳ و ۰/۲۳) کمترین مقدار بود. بیشترین میزان اندازه ۸/۰۴ سانتی متر، پتاسیم (۱/۸۸ و ۱/۸۹ درصد)، وزن پیاز (۰/۹۵ و ۰/۰۹۶ کیلوگرم)، پروتئین (۱۵/۰۵ و ۱۵/۷۲ میلی گرم در گرم وزن تر)، به ترتیب در تیمار ورمی کمپوست در تلقیح با کود زیستی و کود شیمیایی در تلقیح با کود زیستی در سال دوم، مقدار فنل (۱/۱۵ و ۱/۱۹ میلی گرم در گرم وزن تر) به ترتیب در تیمار ورمی کمپوست در تلقیح با کود زیستی در سال دوم و کود شیمیایی در تلقیح با کود زیستی در سال دوم و فلاونوئید (۱۰۷/۱ میلی گرم در گرم وزن تر) و فسفر (۱/۶۲۳ درصد) در تیمار ورمی کمپوست در تلقیح با کود زیستی در سال دوم به دست آمد، همچنین بیشترین آنتی اکسیدان (۳۶/۲۴) و مقدار نیترژن (۲/۲۹) به ترتیب در تیمار ورمی کمپوست در تلقیح با کود زیستی در سال دوم و کود شیمیایی در تلقیح با کود زیستی در سال دوم بود و کمترین میزان اندازه (۳/۱۶)، وزن پیاز (۰/۳۷)، مقدار فنل (۰/۱۶۸)، فلاونوئید (۴۸/۹۹)، پروتئین کل (۶/۸۱)، فسفر (۰/۷۵۳) و پتاسیم (۰/۸۱۱) در شاهد به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد کمی و کیفی، کود دامی، کود زیستی، ورمی کمپوست

مقدمه

موسیر ایرانی *Allium hirtifolium* به طور گسترده در رشته کوه‌های زاگرس مرکزی، شمالی، غربی، میانی و مرکزی ایران از جمله چهارمحال و بختیاری رشد می‌کند (Ghahremani-Majd & Dashi, 2014). با توجه به اینکه رشد، نمو و عملکرد گیاهان دارویی و خوراکی (از جمله موسیر ایرانی) تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و محیطی قرار دارد و استفاده از کودها، عناصر غذایی و سایر عوامل زراعی در افزایش عملکرد کیفی و کمی آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد، به همین جهت به وجود آوردن بهترین بستر جهت

- ۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، مشهد، ایران.
- ۲- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
- ۳- استاد، مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قدس، تهران، ایران.

(Email: Aroiee@um.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

DOI: [10.22067/agry.2021.69445.1030](https://doi.org/10.22067/agry.2021.69445.1030)

کاشت، داشت و برداشت با توجه به کاربرد این گیاهان جزو ضروریات به نظر می‌رسد؛ لذا با بهره‌گیری از کشاورزی پایدار و مدیریت کشاورزی شامل کوددهی مناسب، بهبود تعادل منبع و مصرف، جذب آب و عناصر غذایی، رشد برگ‌ها در نتیجه افزایش فتوسنتز، عملکرد بذر و پیازهای موسیر، گام مهمی جهت حفظ این گونه‌ها و جلوگیری از برداشت بی‌رویه آن‌ها از طبیعت و جهت ایجاد اشتغال، مصارف مختلف و صادرات گام برداشت (Arefkhani et al., 2017; Hooshidari, 2009; Sepahvand et al., 2008). بررسی‌ها نشان داد که اندازه پیازهای موسیر می‌تواند تحت تأثیر روش کشت (از جمله فاصله کشت، تراکم، تاریخ کاشت و اصول کاشت) و مدیریت کشاورزی (مانند کوددهی و ...) قرار گیرد (Arefkhani et al., 2018; Triharyanto et al., 2017). مقدار کود مورد نیاز در کشت محصول به نوع خاک، محصول در حال کشت، روش کشت اعمال شده و مقدار کود بستگی دارد (Sutedjo, 2008)، با این حال، اطلاعات اندکی در مورد استفاده از کوددهی و کودهای زیستی بر روی موسیر ایرانی وجود دارد؛ اما تهیه کود بهینه می‌تواند روی رشد گیاهان موسیر تأثیر بگذارد، به طوری که ماده مغذی اصلی که عملکرد و کیفیت موسیر را تحت تأثیر قرار می‌دهد NPK است، این عناصر غذایی بیشتر مورد نیاز هستند، زیرا گیاهان غالباً کمبود این عناصر غذایی را تجربه می‌کنند (Winarso, 2005). عملکرد عنصر نیتروژن به عنوان کود بهبود رشد رویشی گیاهان به روند تشکیل پروتئین و اسید نوکلئیک کمک می‌کند؛ همچنین این عنصر بخشی از مولکول‌های کلروفیل است (Bhushan, 2020; Winarso, 2005). فسفر دومین ماده مغذی مورد نیاز گیاهان پس از نیتروژن به مقدار زیاد است، فسفر اثر مفیدی بر رشد اولیه ریشه، رشد گیاه، عملکرد و کیفیت دارد (Atmaja et al., 2019; Verma, 1993)؛ و وقتی محدودیت دسترسی باشد، رشد گیاه معمولاً کاهش می‌یابد، در خاک‌هایی که فسفر نسبتاً کمی دارند، می‌توان با استفاده از فسفر، رشد و عملکرد پیاز (*Allium cepa*) را افزایش داد (Alt, 1999). نتایج مختلف نشان داد که کود فسفر به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار در موسیر آبیاری شده و ۲۵ کیلوگرم در هکتار در موسیر باران دیده با آبیاری تکمیلی، عملکرد و میانگین وزن پیاز (*Allium cepa* var ascalonicum) را افزایش داد (Kebede, 2003). پتاسیم به عنوان یک عنصر ضروری نقش اساسی در متابولیسم گیاه مانند فتوسنتز، انتقال غذا، تنظیم منافذ گیاه، فعال سازی کاتالیزور گیاه و مقاومت در

برابر آفات و بیماری‌ها دارد. این عنصر علاوه بر بهبود کیفیت محصول، باعث بهبود رنگ، درخشندگی و تجمع ماده خشک می‌شود (Dorais et al., 2001). فسفر جزو حیاتی تشکیل دهنده فسفولیپیدها، اسیدهای نوکلئیک و چندین آنزیم، برای انتقال انرژی درون سیستم گیاه مورد نیاز و در فعالیت‌های مختلف متابولیکی آن دخیل است (Bhushan et al., 2020). عدم دسترسی به عناصر غذایی برای گیاهان می‌تواند با کوددهی برطرف شود، چنانکه کودهای غیرآلی می‌توانند به سرعت عناصر غذایی ماکرو را تأمین کنند (Minardi et al., 2009)، اما استفاده از کودهای غیرآلی بیش از حد می‌تواند به ساختار خاک آسیب برسانند، و خاک را فشرده‌تر کنند (Sudadi et al., 2021).

کود دامی به عنوان یک کود آلی باعث افزایش تعداد و فعالیت ریزجانداران مفید در محیط ریزوسفر ریشه که سبب کاهش اسیدیته خاک و بهبود جذب و در دسترس قرار گرفتن این عناصر از جمله فسفر توسط ریشه گیاه می‌شود (Parham et Fallah et al., 2004; al., 2002)، همچنین با توجه به خصوصیت‌های نظیر داشتن نیتروژن بالا (Hakim, 1986)، بهبود ساختمان فیزیکی خاک جلوگیری از فرسایش خاک (Maguire et al., 2011)، افزایش نفوذپذیری، حفظ رطوبت خاک، بهبود خلل و فرج خاک همچنین حاوی عناصر غذایی کامل (عناصر غذایی ماکرو و میکرو) و اسیدهای آلی از جمله اسید هیومیک، اسید فولویک، هورمون‌ها و آنزیم‌هایی است که هم برای گیاهان و هم برای محیط زیست و ریزجانداران بسیار مفید هستند (Atmaja et al., 2019).

ورمی کمپوست یک کود آلی است که بر اثر فعالیت کرم‌های خاکی گونه‌های *Eisenia fetida* بر بقایای گیاهی، ضایعات کشاورزی، صنعتی و شهری تولید که موجب تجزیه مواد آلی می‌شود، (Sangwan et al., 2008; Bremness, 1999) و با دارا بودن مواد شبه هورمونی و ویتامین‌ها (Padmavathiamma et al., 2008) و ویژگی‌هایی از جمله حفظ رطوبت کافی، اصلاح نفوذپذیری و بهبود زهکشی خاک، افزایش دسترسی به عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم محلول از طریق افزایش فعالیت ریزجانداران مفید (Arancon et al., 2004) و به عنوان اصلاح کننده آلی خاک، در بهبود خصوصیات کمی و کیفی گیاهان مؤثر است (Raja Sekar & Karmegan, 2010). محققان گزارش دادند که افزودن ورمی-کمپوست به خاک باعث افزایش عملکرد، رشد اندام هوایی گیاهان

گوسفندی ۱۰ تن در هکتار)، کود حیوانی در تلقیح با کود زیستی، کود شیمیایی (نیتروژن، پتاسیم، فسفر به ترتیب ۹۰، ۷۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار) و کود شیمیایی (در تلقیح با کود زیستی، که کود زیستی شامل باکتری‌های محرک رشد (شامل *Azospirillum* spp. *Bacillus subtilis* و *Pseudomonas fluorescens* قارچ‌های مایکوریزا آربسکولار (شامل *Glomus fasciculatum*، *Glomus* *intraradices* و *Glomus msseae*) بودند.

قبل از اجرای طرح جهت تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری گردید که نتایج آن در جدول ۱ منعکس گردیده است. پیازهای موسیر از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری تهیه شده بود که پس از تلقیح با کودهای بیولوژیک در آبان سال ۱۳۹۴ در زمین اصلی کشت شدند. کودها (به شرح جدول ۲) بر اساس نتایج تجزیه کودها و نیاز غذایی موسیر نیتروژن به صورت نوع اوره (به صورت سرک در دو مرحله در هنگام کاشت و در مرحله سبز شدن) و پتاسیم و فسفر به صورت سولفات پتاسیم و سوپرفسفات تریپل در سطح کرت‌های مورد نظر به طور یکنواخت پخش و با خاک مخلوط شدند. در انتهای فصل، هم‌زمان با زرد شدن ۵۰ درصد گیاهان، از دو ردیف وسط هر کرت با حذف اثرات حاشیه‌ای و به صورت تصادفی از روی هر کرت چهار بوته نمونه‌برداری شد و جهت اندازه‌گیری صفات مورد نظر مورد استفاده قرار گرفتند و به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS 9.4 استفاده و برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

اندازه‌گیری مقدار فنل کل

مقادیر فنل کل نمونه‌های عصاره پیازهای موسیر توسط روش فولین (Elizabeth et al., 2007) سیکالتو اندازه‌گیری گردید و جذب نوری آن توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل CE2502 در طول موج ۷۶۵-۷۶۰ نانومتر قرائت گردید. مقادیر فنل کل در نمونه‌های عصاره با استفاده از منحنی استاندارد برحسب میلی گرم اسیدگالیک در گرم عصاره بیان شد.

گردیده (Arancon et al., 2004) و افزایش عملکرد، رشد اندام هوایی و تولید ماده خشک گیاه انیسون (*Pimpinella anisum* L.) را نیز فراهم کرده است (Darzi et al., 2010) و کاربرد کود ورمی-کمپوست سبب افزایش عملکرد از جمله وزن میوه، تعداد جبه در سیر گردید (Mosawi et al., 2018; Tahouri, 2013; Manivannan et al., 2007).

کودهای بیولوژیک شامل یک یا چند نوع از ریزجانداران (شامل باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه (PGPR) و قارچ میکوریزا) مفید خاکری و یا فراورده‌های متابولیک حاصل از این موجودات هستند که اغلب در محیط ریزوسفری ریشه یا حتی درون ریشه وجود دارند و از طریق تبدیل عناصر غذایی از فرم غیرقابل دسترس به فرم قابل دسترس از جمله تثبیت (Bhat et al., 2013) و فراهم‌سازی عناصر غذایی، افزایش مقاومت به آفات و عوامل بیماری‌زای خاکری و تنش‌های محیطی و بهبود خواص فیزیکی خاک، به طور مستقیم و غیرمستقیم بر رشد گیاهان تأثیر می‌گذارند، (Carletti et al., 1994; Douds et al., 2007) و اثرات مثبتی بر خصوصیات کمی و کیفی گیاهان هم‌زیست و افزایش عملکرد محصولات کشاورزی دارند (Rai et al., 1988; Harrier et al., Gosling et al., 2006; Purba et al., 2020).

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد در استان چهارمحال و بختیاری با ارتفاع ۲۰۱۶ متر، عرض جغرافیایی ۳۲ درجه، ۲۰ دقیقه و سه ثانیه شمالی، طول جغرافیایی ۵۰ درجه، ۵۴ دقیقه و نه ثانیه شرقی با مجموع بارندگی سالیانه ۳۱۹ میلی‌متر، رطوبت نسبی ۴۶ درصد و حداکثر و حداقل دمای ۴۲ و ۳۲- درجه سانتی‌گراد (اداره کل هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری) به صورت آزمایش تجزیه مرکب در زمان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت که تیمارها شامل شش نوع تیمار: ورمی کمپوست (۱۰ تن در هکتار)، ورمی کمپوست (۱۰ تن در هکتار) در تلقیح با کود زیستی (کود زیستی سوپرنیتروپلاس، شرکت فن‌آوری زیستی آسیا، شامل باکتری‌های گروه تثبیت‌کننده نیتروژن و محرک رشد با غلظت ۱۰^۸ در هر گرم یا میلی‌لیتر و ۱۰^۸ اسپور و سلول زنده *Bacillus subtilis* بود)، کود حیوانی (شامل کود

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical characteristics of the studied experimental soil site

بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	نیترژن کل N available (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل دسترس P available (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم قابل دسترس (mg.kg ⁻¹) K available
رس-لومی Loam clay	8.10	0.670	0.058	30.8	318

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی کودهای مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Chemical characteristics of fertilizers used in experiment

کود آلی Organic fertilizer	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	نیترژن کل Total N (%)	فسفر قابل دسترس P available (%)	پتاسیم قابل دسترس K available (%)
ورمی کمپوست Vermicompost	7.88	0.983	2.415	1.039	2.147
کود حیوانی Manure	8.23	5.49	1.820	0.724	1.653

اندازه‌گیری فلاونوئید

جهت اندازه‌گیری مقدار فلاونوئید، عصاره‌گیری توسط پنج میلی‌لیتر متانول از مقدار ۵۰۰ میلی‌گرم از نمونه‌های پیاز موسیر صورت پذیرفت. سپس عصاره‌ها به مدت ۲۴ ساعت روی شیکر قرار داده و بعد از ۲۴ ساعت، ۱۰ دقیقه با دور ۶۰۰۰ سانتریفیوژ شدند، در نهایت قسمت بالایی محلول که شفاف بود جدا و برای انجام آزمایشات درون لوله‌های جدید ریخته و یک میلی‌لیتر از عصاره تهیه شده با چهار سی‌سی (معادل ۴۰۰۰ میکرولیتر) آب مقطر مخلوط و سپس ۳۰۰ میکرولیتر نیتريت سدیم پنج درصد به آن اضافه شد، پس از پنج دقیقه از اضافه کردن نیتريت سدیم پنج درصد، ۶۰۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد اضافه و پس از گذشت شش دقیقه از زمان اضافه کردن کلرید آلومینیوم، چهار سی‌سی (۴۰۰۰ میکرولیتر) سود ۰/۵ نرمال اضافه شد، در نهایت میزان جذب نور در طول موج ۵۱۰ نانومتر قرائت و برای رسم منحنی استاندارد از غلظت‌های مختلف کوئرستین استفاده گردید (Menichini et al., 2009).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

به منظور اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی موسیر از روش آبه و همکاران استفاده شد (Abe et al., 1998)، به این صورت که ۱۰۰ میلی‌گرم نمونه پیاز موسیر تازه را در نیترژن مایع به صورت کامل هموژنایز کرده و عصاره‌گیری با اتانول ۹۶ درصد انجام و مواد جامد

نامحلول به وسیله سانتریفیوژ پنج دقیقه با دور ۳۵۰۰ در دقیقه جدا سازی شده و در ادامه مقداری از محلول شفاف بالایی با ۸۰۰ میکرولیتر از محلول نیم میلی‌مولار DPPH مخلوط شده و پس از نگهداری نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در شرایط تاریکی میزان جذب نور در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت گردید. در آخر درصد جذب رادیکال‌های فعال با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید.

معادله (۱)

$$\text{درصد جذب رادیکالهای فعال} = \frac{(\text{جذب نمونه شاهد} \times \text{جذب نمونه مورد ارزیابی})}{\text{جذب نمونه شاهد}} \times 100$$

اندازه‌گیری عناصر

جهت اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی نیترژن، فسفر و پتاسیم، نمونه‌های گیاهی در آون خشک شده و پس از پودر شدن عصاره آن‌ها به روش هضم توسط اسید سولفوریک، آب اکسیژنه، اسید سالیسیک و سلنیم برای سنجش مقدار عناصر مذکور استفاده شد، به طوری که درصد فسفر با دستگاه اسپکتروفتومتر و به روش نورسنجی با معرف مولیبدات - وانادات، درصد نیترژن کل توسط دستگاه کجلدال به روش تیتراسیون بعد از تقطیر و غلظت پتاسیم توسط دستگاه فلیم فتومتر به روش نشر شعله‌ای اندازه‌گیری شدند (Emami, 1996).

اندازه‌گیری مقدار پروتئین

مقدار پروتئین به روش برادفورد (Bradford, 1996) سنجش و از سرم آلبومین گاوی^۱ به عنوان استاندارد استفاده شد (Cangahuala-Inocente et al., 2014). به طوری که ۳۰۰ میلی گرم از وزن تر نمونه‌های گیاهی در دمای چهار درجه سانتی گراد در یک میلی لیتر بافر استخراج (شامل ۵۰ میلی مولار سدیم فسفات دو بازی، ۰/۲ مولار بتا-مرکاپتو اتانول، ۱۷/۳ میلی مولار سدیم دو دسیل سولفات^۲ و یک میلی مولار فینیل متیل سولفنیل فلوراید^۳ در پی‌اچ هفت) خیسانده شده، بعد نمونه‌ها در دمای چهار درجه سانتی گراد به مدت ۲۰ دقیقه در دور ۸۳۰۰ سانتریفیوژ شده در ادامه محلول رویی^۴ که حاوی پروتئین بوده را برداشته و به رسوباتی که در دمای ۲۰°C- نگهداری شده بود، دو برابر حجم محلول رویی اتانول ۱۰۰ درصد افزوده شد و در دمای چهار درجه سانتی گراد به مدت ۲۰ دقیقه در دور ۱۲۸۵۰ سانتریفیوژ شدند؛ در پایان، میزان جذب با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۹۵ نانومتر قرائت گردید.

اندازه‌گیری مقدار قند و نشاسته

جهت اندازه‌گیری مقدار قند و نشاسته در نمونه‌های پیاز موسیر ۳۰۰ میلی گرم از وزن تر نمونه‌های گیاهی با استفاده از دو میلی لیتر متانول: کلروفرم: آب مقطر به نسبت ۱۲:۵:۳ (v/v) خیسانده شده و ده دقیقه با دور ۲۰۰۰ سانتریفیوژ شدند. محلول رویی بازیابی شده و عمل عصاره‌گیری و سانتریفیوژ رسوبات با استفاده از ۲ میلی لیتر از حلال اولیه (متانول: کلروفرم: آب مقطر) تکرار و در نهایت، به چهار قسمت محلول رویی به دست آمده، یک قسمت کلروفرم و یک و نیم قسمت آب اضافه شده و به دنبال آن با دور ۲۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. فاز بالایی برداشته شده و ۰/۲ درصد آنترون به آن اضافه شد، سرانجام غلظت قند با استفاده از استاندارد گلوکز (Cangahuala-Inocente et al., 2014) و میزان جذب در طول موج ۶۲۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر CE2502 قرائت شد، در ادامه به رسوب به دست آمده از عصاره قند یک سی سی اسید پرکلریک ۳۰ درصد اضافه شد و در دور ۱۰۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند. محلول رویی حاوی نشاسته نگهداری و از رسوب

- 1- Bovine serum albumin
- 2- SDS
- 3- PMSF
- 4- Supernatant

آن دو بار عصاره‌گیری مجدد انجام شد. محلول‌های رویی با هم ترکیب شدند و به آن آنترون ۰/۲ درصد اضافه شد، در پایان غلظت نشاسته بر اساس میزان جذب در طول موج ۶۲۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر و استاندارد گلوکز محاسبه گردید (McCready et al., 1950).

نحوه سنجش وزن و اندازه پیازهای موسیر

جهت اندازه‌گیری وزن پیازهای موسیر، نمونه‌های گیاهی با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین گردیدند و اندازه پیاز نیز با استفاده از دستگاه کولیس اندازه‌گیری گردید، به این صورت که میانگین بیشترین و کمترین قطر به عنوان اندازه پیازها مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

محتوای فنل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی اکسیدانی

همان طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، تأثیر ترکیب‌های کودی، سال و اثر متقابل سال در کود بر مقدار ترکیبات فتلی شامل فنل و فلاونوئید معنی‌دار گردید ($p \leq 0.01$)، که طبق نتایج شکل‌های ۱ و ۲ (مقایسه میانگین‌ها) تیمار ورمی کمپوست در تلقیح با کود زیستی در سال دوم بیشترین تأثیر را در افزایش مقدار فنل و فلاونوئید کل گذاشت اگرچه تیمار فوق اختلاف معنی‌داری با تیمارهای ورمی کمپوست بدون تلقیح با کود زیستی در سال دوم و کود حیوانی در تلقیح با کود زیستی در سال دوم نداشت و سایر تیمارها نیز باعث افزایش محسوسی در افزایش محتوای این صفات گذاشت، در حالی که شاهد دارای کمترین مقدار محتوای فنل و فلاونوئید بود.

محققان با بررسی تأثیر کاربرد کودهای زیستی بر عملکرد کیفی و کمی گیاهان گزارش دادند که این کودها مقدار فلاونوئیدها را در گیاهان افزایش می‌دهند (Piga et al., 1997).

نتایج نشان داد که اثر ساده کود و سال بر درصد فعالیت آنتی اکسیدانی پیازهای موسیر تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد داشت (جدول ۳)، ولی نتایج نشان داد که مقدار این صفت تحت تأثیر اثر متقابل سال در کود معنی‌دار نشد. نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) بیانگر این است، تیمار ورمی کمپوست در تلقیح با کود زیستی و شاهد به ترتیب دارای بیشترین و کمترین درصد فعالیت آنتی اکسیدانی مورد اندازه‌گیری در پیازهای موسیر بودند. اگرچه مشاهدات حاکی از آن است که تیمار کود حیوانی در تلقیح با کود زیستی جهت تأثیر بر

افزایش مقدار آنتی‌اکسیدانی اختلاف معنی‌داری با تیمار ورمی کمپوست در تلقیح با کود زیستی و سایر تیمار مورد استفاده نداشت. به نظر می‌رسد، بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی موسیر می‌تواند پاسخ‌های فیزیولوژیکی موسیر را در شرایط طبیعی و مهم‌تر از آن استرس افزایش دهد (Farhadi & Salteh, 2018). تأثیر کودهای زیستی بر شاخص‌های کیفیت گونه‌های *آلیوم*، مثل پیاز، بر افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تحقیقات قبلی نیز گزارش شده‌است (Albrechtova et al., 2012; Caruso et al., 2018).

پژوهشگران (Golubkina et al., 2019) نیز بیان داشتند که موسیرهای (Allium cepa L. Aggregatum group) تیمار شده با کودهای زیستی آنتی‌اکسیدان بیشتری در مقایسه با شاهد داشتند. نتایج چندین پژوهش نشان داد که کودهای زیستی سبب تحریک تجمع متابولیت‌های ثانویه از جمله فلاونوئیدها و پلی‌فنل‌ها در کاهو (*Lactuca sativa*) و سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) شده است (Baslam et al., 2013; Lone et al., 2015). افزایش محتوای فنل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه زعفران (*Crocus sativus* L.) در تحقیقات محققان (Ghanbari et al., 2019) که تأثیر کودهای آلی و کودهای آلی در تلقیح با کود زیستی را بر مقدار فنل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بررسی نمودند، مشاهده گردید.

نشاسته و گلوکز

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن است که مقدار نشاسته و گلوکز تحت تأثیر فاکتور سال در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند، اما اثر کود و اثر متقابل سال در کود بر مقدار این دو صفت معنی‌دار ($p \leq 0.01$) معنی‌دار نشد، نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴) اثر سال نشان داد که که سال دوم پیازهای موسیر دارای بیشترین مقدار گلوکز و نشاسته نسبت به اول بودند؛ این موضوع به این دلیل است که ریزجانداران ریزوسفری موجب تجمع کربوهیدرات‌ها در گیاهان می‌شود (Yang et al., 2009; Filho et al., 2017)، به این صورت که از طریق تأثیر بر عملکرد فیتوهورمون‌ها بیوسنتز و غلظت قند را تنظیم می‌کنند (Rolland et al., 2006; Bona et al., 2016).

مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر ساده سال، کود و

اثر متقابل کود در سال در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری بر مقدار پتاسیم و فسفر گذاشت، با این تفاوت که مقدار نیتروژن پیازهای موسیر تحت تأثیر اثر متقابل سال و کودهای به‌کاررفته در این آزمایش قرار نگرفت، ولی اثر سال در سطح یک درصد و اثر کود در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید. یافته‌های به‌دست آمده از این آزمایش (شکل ۶) نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار کودهای مورد استفاده بر مقدار پتاسیم، به‌طوری‌که کمترین مقدار پتاسیم در شاهد بود. در بین تیمارهای کودی به کار رفته تیمارهای ورمی کمپوست در تلقیح با کود زیستی در سال دوم و کود شیمیایی در تلقیح با کود زیستی در سال دوم بیشترین و کاربرد کود حیوانی به‌تنهایی در سال اول کمترین تأثیر را بر افزایش میزان پتاسیم پیازهای موسیر داشت، به نظر می‌رسد با توجه به نتایج مقایسه میانگین به‌دست آمده همه تیمارهای کودی در سال اول و دوم باعث افزایش چشمگیری در مقدار پتاسیم پیازهای موسیر گردیدند. بنابر نتایج تحقیقات پژوهشگران، تیمار کود زیستی اعم از باکتری‌ها و قارچ‌ها سبب افزایش جذب پتاسیم در تره-ایرانی^۱ گردید (Bolandnazar et al., 2018). هم‌چنین محققان پیشتر گزارش دادند که کاربرد کودهای آلی بر گیاه سیر و سویا موجب بالا رفتن غلظت پتاسیم در این گیاهان شد. (Singh et al., 2002).

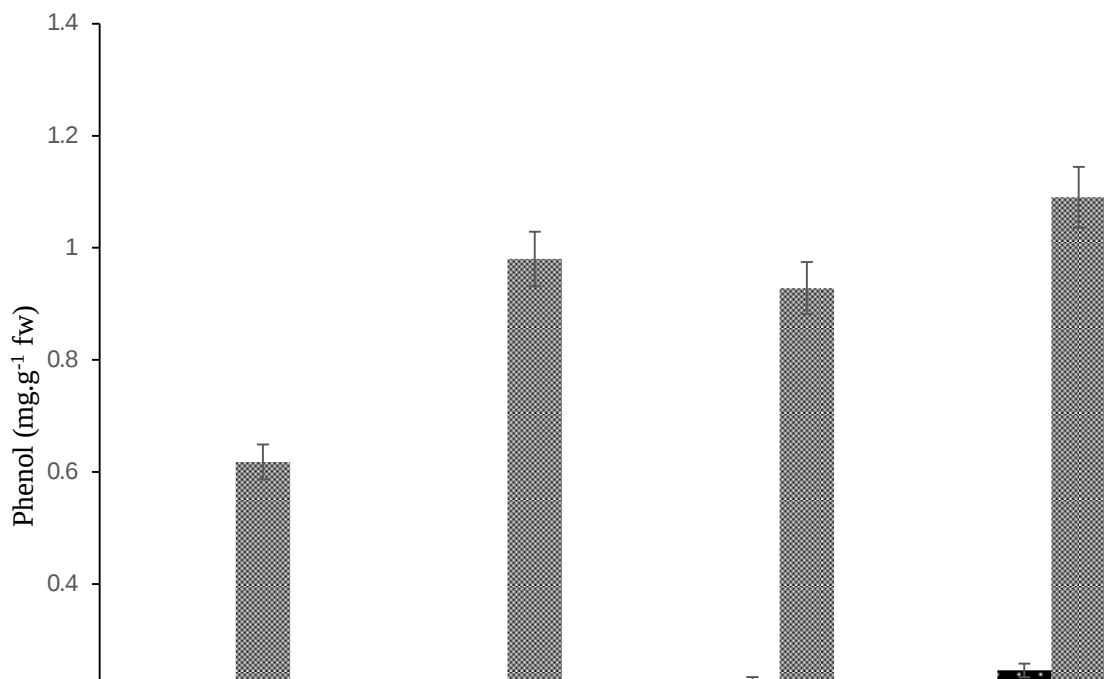
مقدار فسفر نمونه‌های پیاز موسیر نیز طبق شکل ۳ (مقایسه میانگین اثر متقابل کود در سال) متأثر از تیمارهای مورد استفاده افزایش محسوسی یافت، چنانکه هم در سال اول و هم در سال دوم کاربرد تیمار ورمی کمپوست در تلقیح با کود زیستی بیشترین تأثیر را بر افزایش مقدار فسفر داشت، اما تأثیرگذاری این تیمار با تیمار کود دامی در تلقیح با کود زیستی تفاوت معنی‌داری نداشت؛ این در حالی است که سایر تیمارهای نیز تأثیر معنی‌داری بر مقدار این پتاسیم داشتند. بررسی‌ها نشان داد که کاربرد کودهای دامی افزایش فسفر را در پیاز خوراکی در پی داشت (Bolandnazar et al., 2007). نتایج مطالعات فیتو و های (Fitter & Hay, 2002) نشان داد که حتی در خاک‌های غنی از عنصر فسفر به‌دلیل هم‌زیستی گیاه با قارچ‌های موجود در کودهای زیستی سرعت و مقدار جذب این عنصر غذایی مهم در گیاه افزایش می‌یابد؛ که نتایج مشابهی نیز در پیاز توسط بلندنظر و همکاران (Bolandnazar et al., 2018) گزارش گردید. هم‌چنین در تره ایرانی نیز کاربرد کودهای زیستی سبب بالا رفتن جذب فسفر شدند (Bolandnazar et al., 2007).

1 - Allium ampeloprasum L.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات کمی و کیفی پیازهای موسیر تحت تأثیر کاربرد کودی (شیمیایی، آلی و بیولوژیک)
Table 3- Analysis of variance (mean of squares) quantitative and qualitative traits of shallots under the influence of fertilizer application (chemical, organic and biological)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	فنل Phenol	فلاونوئید Flavonoid	آنتی اکسیدانی Antioxidant	گلوکز Glucose	نشاسته Starch	پروتئین Protein	نیترژن N	فسفر P	پتاسیم K	وزن پیاز موسیر Weight	اندازه پیاز موسیر Size
سال Year	2	5.322**	2970.4**	1959.25**	0.2541**	0.2977798**	250.67**	7.74**	1.121**	2.4990**	0.0053**	21.38**
خطای اصلی Error _a	2	0.004	700.0	3.13	0.0270	0.029076	66.09	0.01	0.0006	0.0050	0.0005	0.203
کود Fertilizer	6	0.0908**	1183.4**	35.40**	0.00003 ^{NS}	0.0000020 ^{NS}	12.41**	0.89*	0.212**	0.2907**	0.001**	8.74**
کود × سال F × Y	6	0.0853**	9.8**	3.03 ^{NS}	0.000008 ^{NS}	0.00000061 ^{NS}	3.20**	0.34 ^{NS}	0.024**	0.0371**	0.00009**	0.19**
تفاعل خطای فرعی Error _b	12	0.0027	0.000001	3.37	0.0004	0.0057	0.09	0.26	0.0008	0.0009	0.00001	0.04

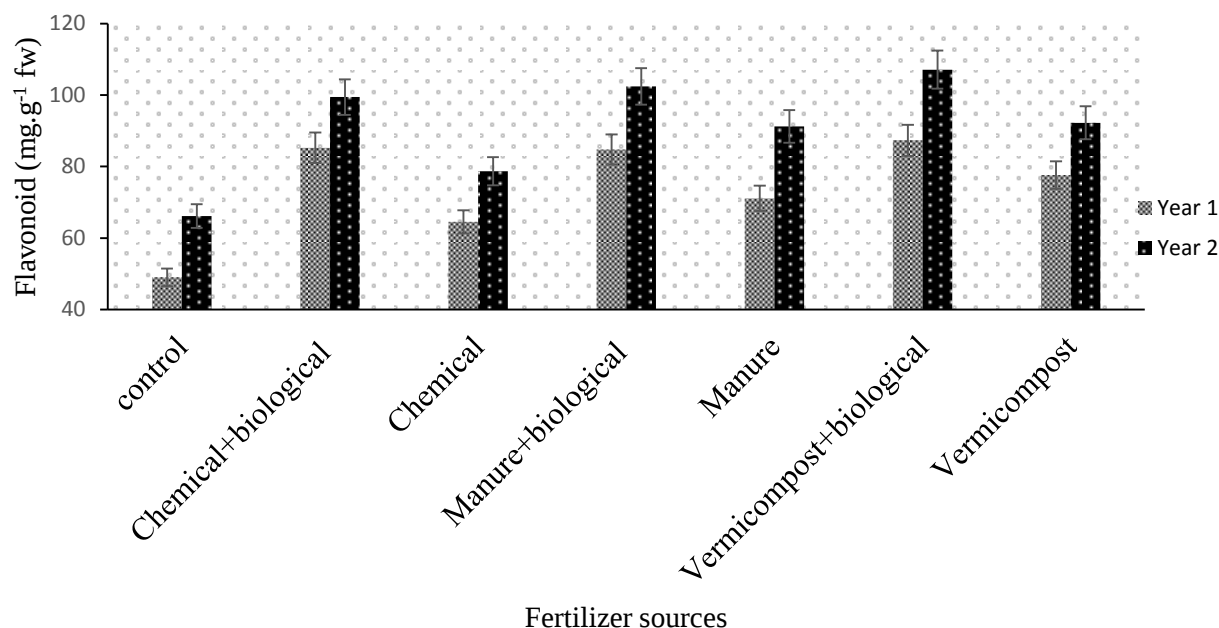
*, **, NS: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و عدم معنی داری
*, **, NS: Significant at the level of $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$ and non-Significant, respectively.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل کودهای مختلف در دو سال بر مقدار فنل نمونه‌های پیاز موسیر (در سطح احتمال یک درصد)
Fig. 1- Mean comparison of interaction effect of different fertilizers in two years on the phenol amount of Iranian shallot bulbs (at the 5% level)

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر کودهای شیمیایی، آلی و بیولوژیک در دو سال متوالی بر صفات کمی و کیفی پیازهای موسیر
Table 4- Mean comparison for the effect of chemical, organic and biological fertilizers in two consecutive years on quantitative and qualitative traits of Iranian shallot bulbs

	تیمار Treatment	آنتی اکسیدانی Antioxidant (%)	گلوکز Glucose (mg.g ⁻¹ fw)	نشاسته Starchm (mg.g ⁻¹ fw)	نیترोजن N (%)
سال Year	سال اول First	29.05	0.23	0.23	1.44
	سال دوم second	42.71	0.38	0.40	2.30
	LSD _{0.05}	1.517	0.140	0.146	0.120
کود Fertilizer	شاهد control	31.11	0.307	0.320	1.16
	شیمیایی + زیستی Chemical + biological	36.64	0.308	0.325	2.29
	شیمیایی Chemical	35.30	0.309	0.322	2.04
	حیوانی + زیستی Manure + biological	37.35	0.315	0.324	2.16
	حیوانی Manure	35.56	0.308	0.322	1.99
	ورمی کمپوست + زیستی Vermicompost + biological	38.94	0.308	0.325	1.87
	ورمی کمپوست Vermicompost	36.24	0.310	0.322	1.57
	LSD _{0.05}	2.190	0.024	0.090	0.619



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل کودهای مختلف در دو سال بر مقدار فلاونوئید (در سطح احتمال پنج درصد)

Fig. 2- Mean comparison of interaction effect of different fertilizers in two years on the flavonoid amount of Iranian shallot bulbs (at the 5% level)

(Sharma, 1992) و موسیر می‌شود. پژوهشگران با بررسی تأثیر کود نیتروژن و اثر متقابل کود نیتروژن و فسفر بر روی موسیر (*Allium altissimum* Regel.) بیان داشتند که این تیمارها موجب افزایش غلظت نیتروژن این گیاه شدند (Arefi et al., 2012). افزایش نیتروژن پیازهای موسیر به این جهت است که مقدار زیادی از نیتروژن در طول فصل رشد و در مرحله انتقال مجدد وارد پیازهای آن می‌شود (Arefi et al., 2012). همچنین محققان گزارش دادند که کودهای آلی در تلقیح با کودهای زیستی سبب افزایش غلظت نیتروژن موسیر (*Allium ascalonicum* L.) شدند (Sudadi et al., 2021).

پروتئین کل

نتایج مربوط به جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) حاکی از آن است که مقدار پروتئین اندازه‌گیری شده در نمونه‌های پیاز موسیر تحت تأثیر اثر ساده سال، کود و اثر متقابل سال در کود معنی‌دار ($p \leq 0.01$) شد. بنابراین، (شکل ۵) بیشترین مقدار پروتئین در تیمار ورمی-کمپوست در تلقیح با کود زیستی و کمترین مقدار این صفت در شاهد

نتایج حاصل از جدول ۴ نشان‌دهنده تأثیر کاربرد تیمارهای کودی بر مقدار نیتروژن پیازهای موسیر می‌باشد، به‌طوری‌که سبب افزایش مقدار نیتروژن در پیازهای موسیر شدند و بالاترین مقدار این عنصر مهم و ضروری در کاربرد کود شیمیایی در تلقیح با کود زیستی مشاهده گردید، اما نتایج نشان داد که همه تیمارها موجب بالارفتن مقدار نیتروژن گردیده‌اند، کاربرد ورمی‌کمپوست بدون تلقیح با کود زیستی اختلاف معنی‌داری در مقایسه با شاهد در مقدار نیتروژن نمونه‌های پیاز موسیر نداشت. همچنین در سال دوم نیز مقدار نیتروژن بیشتری نسبت به سال اول مشاهده گردید. محققان نشان دادند که غلظت نیتروژن سیر، موسیر و تره‌ایرانی در اثر کاربرد کود نیتروژن افزایش یافت (Bolandnazar et al., Ershadi et al., 2009; Arefi et al., 2012; Sardi & Tima'r, 2005; 2018).

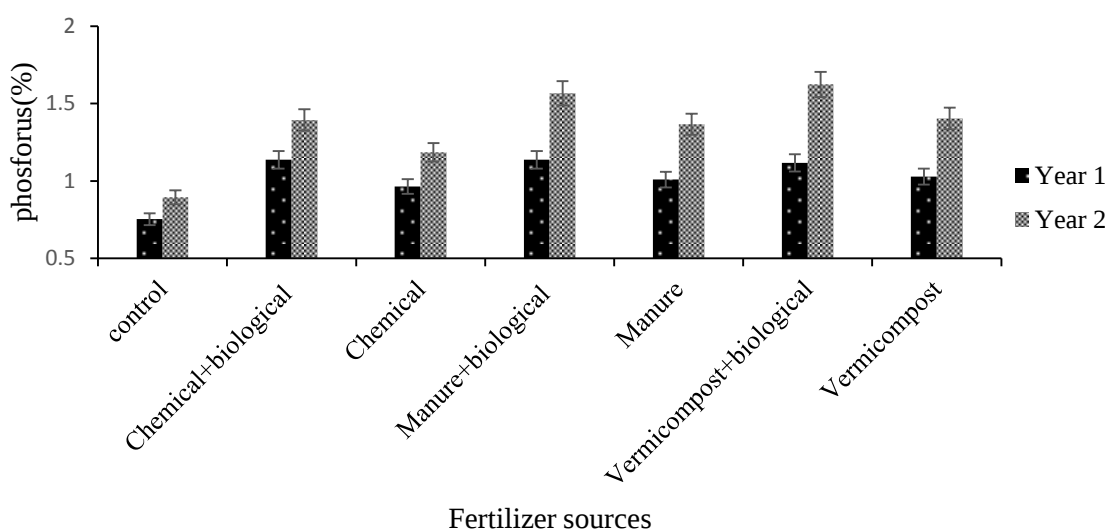
با افزایش نیتروژن در خاک، غلظت نیتروژن به‌طور معنی‌داری در پیاز گیاه موسیر افزایش پیدا کرد، به نظر می‌رسد کودهای آلی به‌ویژه کود دامی باعث می‌شود عناصر غذایی مخصوصاً نیتروژن در دسترس ریزوسفر ریشه قرار گرفته و باعث افزایش نیتروژن توسط گیاه و افزایش فتوسنتز و در نتیجه، رشد و عملکرد گیاه پیاز خوراکی

عملکرد

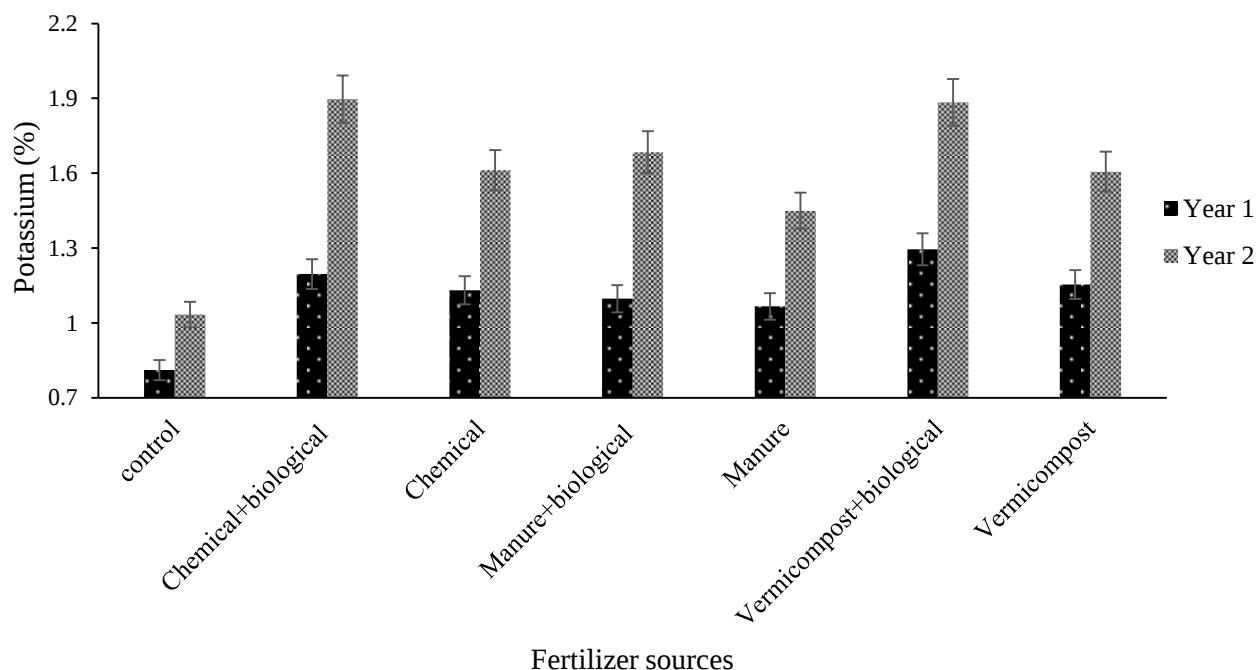
وزن و اندازه پیازهای موسیر به‌عنوان اجزای عملکرد نیز تحت تأثیر تیمارهای به‌کار رفته در این آزمایش قرار گرفتند (جدول ۳)، به‌طوری‌که اندازه و وزن پیازهای موسیر متأثر از کاربرد تیمارهای سال، کود و اثر متقابل این دو تیمار در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد و با توجه به شکل‌های ۸ و ۹ که نمایگر اثر متقابل کود در سال می‌باشند، تیمار ورمی کمپوست در تلقیح با کود زیستی در سال دوم دارای بالاترین اندازه و وزن پیازهای موسیر (Alizad et al., 2017) بود که این تیمار با تیمارهای کود دامی و شیمیایی در تلقیح با کود زیستی اختلاف معنی‌داری در بالابردن اندازه و وزن پیازهای موسیر نداشتند؛ نتایج مقایسه میانگین نیز نشان‌داد که در نمونه‌های تیمار نشده کمترین میزان اندازه و وزن مشاهده گردیده است. امین و همکاران (Amin et al., 2017) بیان داشتند که کاربرد کود دامی باعث بالا رفتن وزن سرچه‌های گیاه سیر (*Allium sativum*) شد. کود دامی می‌تواند عملکرد گیاه را از طریق تأمین مواد غذایی گیاه افزایش دهد (Maguire et al., 2011). علی و همکاران (Ali et al., 2018) گزارش دادند که کود دامی موجب بهبود عملکرد پیاز (*A. Cepa L.*) شد.

یافت شد. این در حالی است که سایر تیمارها از جمله کود شیمیایی در تلقیح با کود زیستی نیز تأثیر محسوسی بر مقدار پروتئین گذاشتند. هم چنین نتایج نشان داد که تیمار ورمی کمپوست در تلقیح با کود زیستی در سال دوم بیشترین تأثیر مثبت را در افزایش محتوای پروتئین گذاشت.

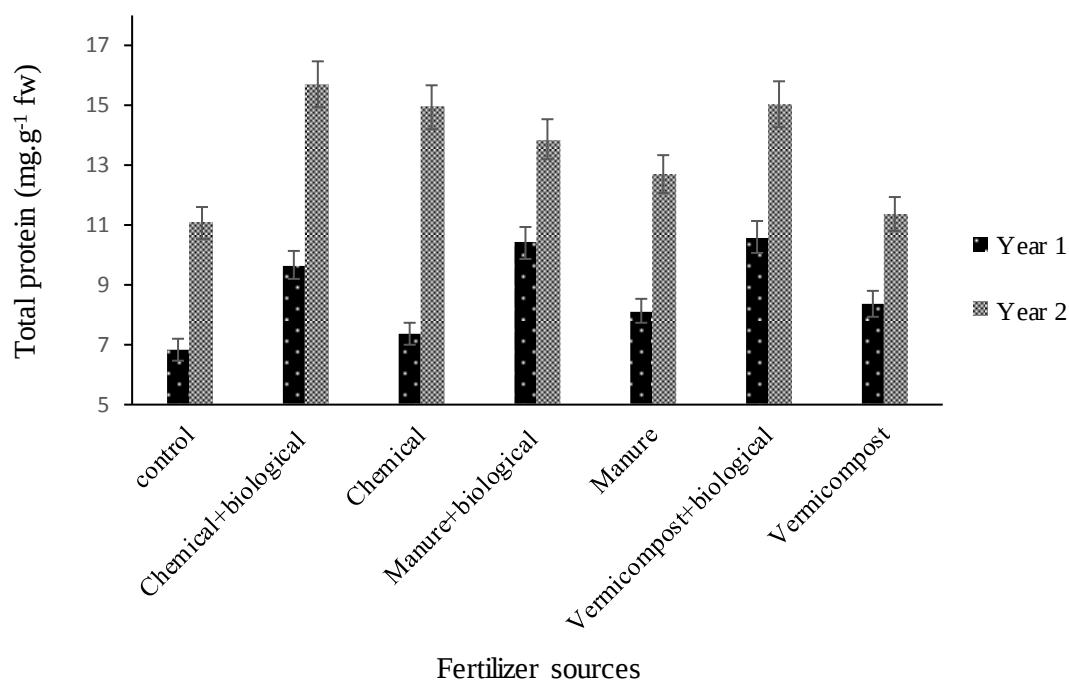
سزپونر کرک و همکاران (Szpunar-Krok et al., 2012) گزارش دادند که کاربرد تیمار کود شیمیایی و آلی مقدار پروتئین نخود را نسبت به شاهد به طرز محسوسی افزایش داد که نتایج این تحقیق نشان داد مقدار نیتروژن در پیازهای موسیر افزایش یافت و در نتیجه، این نیتروژن به شکل پروتئین در گیاه ذخیره گردید (Tabatabai, 2010). هم‌چنین باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از طریق فراهم نمودن نیتروژن سبب بالا رفتن مقدار پروتئین شدند، به‌طوری‌که تحقیقات از اثر مثبت کاربرد تلفیقی کودهای زیستی (باکتری‌ها و قارچ‌ها) بر افزایش مقدار پروتئین گیاه تره ایرانی حکایت دارد (Bolandnazar et al., 2007).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل کودهای مختلف در دو سال بر مقدار فسفر پیازهای موسیر (در سطح احتمال پنج درصد)
Fig. 3- Mean comparison of interaction e of different fertilizers in two years on the phosphorus amount of Iranian shallot bulbs (at the 5% level)



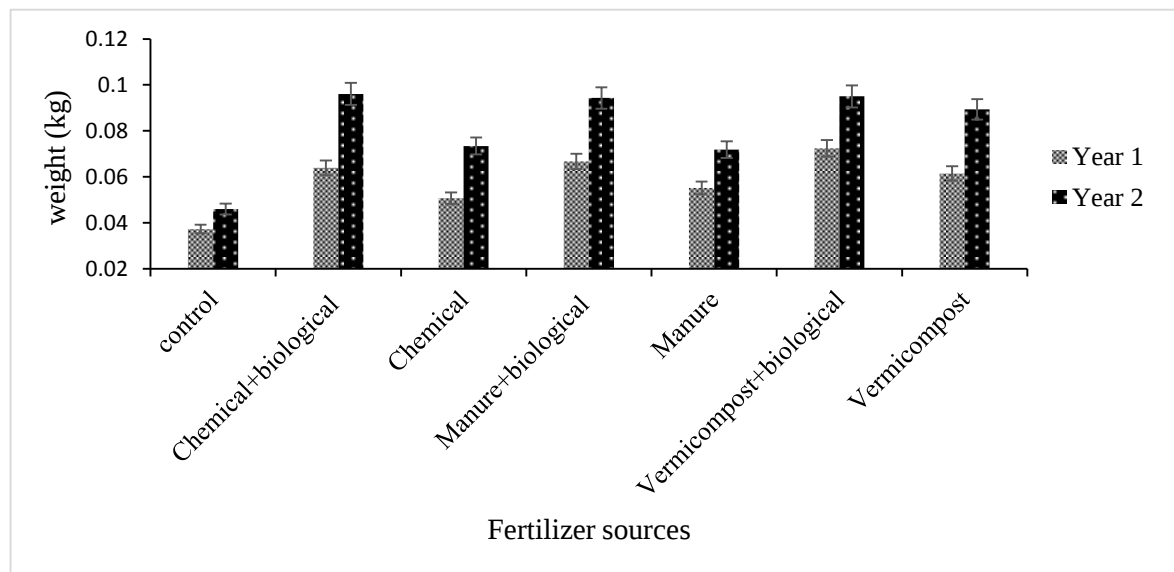
شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل کودهای مختلف در دو سال بر مقدار پتاسیم پیازهای موسیر (در سطح احتمال پنج درصد)
 Fig. 4- Mean comparison of interaction effect of different fertilizers in two years on the potassium amount of Iranian shallot bulbs (at the 5% level)



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل کودهای مختلف در دو سال بر مقدار پروتئین پیازهای موسیر (در سطح احتمال پنج درصد)
 Fig. 5- Mean comparison of interaction effect of different fertilizers in two years on the total protein amount of Iranian shallot bulbs (at the 5% level)

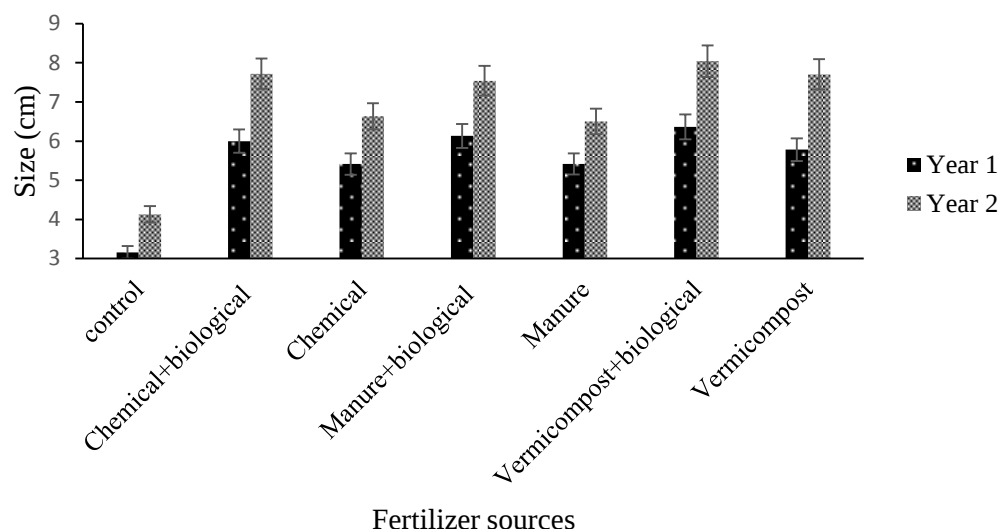
پیشتر گزارش شد که کاربرد ترکیبی (نسبت ۱۵-۱۵-۱۵) کیلوگرم NPK در هکتار در تلقیح با کود زیستی سبب افزایش عملکرد موسیر و وزن پیازها شد (Fatchullah et al., 2018)، کاربرد ترکیبی کود نیتروژن و فسفر عملکرد پیاز (*Allium cepa* L.) را به‌طور محسوس بالا برد (Al-Moshileh, 2001)، همچنین نتایج تاهوری (Tahouri, 2013) نشان داد که وزن سیرچه‌ها در اثر کاربرد کود ورمی‌کمپوست افزایش پیدا کرد. درزی و همکاران (Darzi et al., 2010) گزارش کردند که عملکرد بیولوژیک انیسون در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست افزایش یافت. بررسی‌ها بیانگر آن‌است که تغذیه مناسب از طریق فراهم‌شدن عناصر غذایی باعث افزایش اندازه سیرچه‌های گیاه سیر گردید (Amin et al., 2017). نتایج تحقیقات نشان داد که بسته به شرایط محیطی، گونه و عملیات کاشت کاربرد کود ترکیبی NPK شامل مقدار ۱۰۰ تا ۲۸۰، ۱۲۰ تا ۱۶۰ و ۵۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب نیتروژن، فسفر و پتاسیم تأثیر محسوس در بالا بردن عملکرد موسیر داشت (Mansouri et al., 2015).

مشخص شد که کاربرد کود ورمی‌کمپوست در تلقیح با کود زیستی و کود شیمیایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) در تلقیح با کود زیستی افزایش عملکرد و وزن سیرچه گیاه سیر شد (Gowda et al., 2007). افزایش عملکرد پیاز تحت تأثیر کاربرد تلفیقی نیتروژن و فسفر در تلقیح با کود زیستی مشاهده گردید که دیگر محققان (Kore et al., 2006; Chattoo et al., 2007; Dashrath et al., 2005) در پیاز نتایج مشابهی ارائه نمودند. تأثیر مثبت کودهای زیستی بر روی پارامترهای مختلف رشد و عملکرد مشاهده شده در مطالعه حاضر ممکن است به‌دلیل افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاهان باشد (Borea, 1992). دلایل احتمالی افزایش عملکرد موسیر ممکن است با استفاده از نیتروژن و فسفات غیرآلی بهتر در حضور کودهای زیستی، افزایش تثبیت نیتروژن، در دسترس بودن فسفات، توسعه بهتر سیستم ریشه و سنتز بالاتری از هورمون رشد گیاه همراه باشد (Kumar et al., 2001; Pandey & Kumar, 1989).



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل کودهای مختلف در دو سال بر مقدار وزن پیازهای موسیر (در سطح احتمال پنج درصد)

Fig. 6- Mean comparison of interaction effect of different fertilizers in two years on the weight of Iranian shallot bulbs (at the 5% level)



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل کودهای مختلف در دو سال بر اندازه پیازهای موسیر

Fig. 7- Mean comparison of interaction effect of different fertilizers in two years on the size of Iranian shallot bulbs (at the 5% level)

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از کودهای بیولوژیک تأثیر مثبتی بر کارایی اثر کودهای آلی و شیمیایی در گیاه موسیر گذاشت، به طوری که تیمار کاربرد ۱۰ تن ورمی کمپوست در تلقیح با کود زیستی در سال دوم بهترین تیمار جهت افزایش عملکرد کیفی و کمی موسیر ایرانی در این تحقیق شناخته شد بنابراین، با توجه به اینکه موسیر

کاربرد دارویی، صنعتی و خوراکی دارد و تولید ارگانیک آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، بنابراین می‌توان از این تیمار با توجه به ارگانیک بودن و نداشتن تأثیر سوء بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه موسیر ایرانی به جای استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی که باعث ایجاد اثرات مخرب در گیاهان، محیط زیست و خاک می‌شوند، استفاده نمود.

References

- Abe, N., Murata, T., & Hirota, A. (1998). Novel 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl- radical scavengers, bisorbicillin and demethyltrichodimerol, from a fungus. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 62, 661-662. DOI: org/10.1271/bbb.62.661
- Albrechtova, J., Latr, A., Nedorost, L., Pokluda, R., Posta, K., & Vosatka, M. (2012). Dual inoculation with mycorrhizal and saprotrophic fungi applicable in sustainable cultivation improves the yield and nutritive value of onion. *The Scientific World Journal*, DOI:10.1100/2012/374091
- Ali, M., Khan N., Khan, A., Ullah, R., Naeem, A., Wasiullah, Khan, M., Khan, K., Farooq, S., & Rauf, K. (2018). Organic manures effect on the bulb production of onion cultivars under semiarid condition. *Pure and Applied Biology*, 7(3), 1161–70. DOI:org/10.19045/bspab.2018.700135
- Alizad, L., Rad, M.M., & Aghaei, K. (2017). Effect of nitrogen sources type and plant growth promoting bacteria on yield and its attributes of Talesh local garlic in Rasht. *Crops Improvement*, 20(2), 533-545. (In Persian with English Summary)
- Al-Moshileh, A.M. (2001). Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer on onion productivity in central region of Saudi Arabia. *Assiut Journal of Horticultural Science*, 32, 291-305.
- Alt, D., Ladebusch, H., & Melzer, O. (1999). Long-term trial with increasing amounts of phosphorus, potassium and

- magnesium applied to vegetable crops. *Acta Horticulturae*, 506, 29-36. DOI:org/10.17660/ActaHortic.1999.506.2
- Amin, Z., Fallah, S., & Abbasi Surki, A. (2017). Effect of application method and different levels of cattle manure on performance and concentration of some nutrients of garlic (*Allium sativum*). *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 7(3), 107-121. (In Persian with English Summary). doi.10.22069/EJSMS.2017.11481.1661
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Bierman, P., Welch, C., & Metzger, J.D. (2004). Influences of Vermicomposts on field strawberries: Part 1. Effects on growth and yields. *Bioresource Technology Journal*, 93(2), 145-153. DOI:org/10.1016/j.biortech.2003.10.014
- Arefi, I., Kafi, M., Khazaii, H.M., & Banayan Aval, M. (2012). Investigation of the effect of different of nitrogen, phosphorus and potassium on yield, photosynthesis and Photosynthesis pigments, chlorophyll and nitrogen concentration of components of medicinal and industrial plant shallots (*Allium altissimum* Regel.) *Journal of Agroecology*, 4(3), 207-214. (In Persian with English Summary). DOI:10.22067/JAG.V4I3.15309
- Arefkhani, M., Khairkhan, M., Naghab, M.G., & Babaeiyan, M. (2017). Effect of initial weight of shallot bulb and farm manure on reproduction and shallot yield (*Allium altissimum* Regel) in Shirvan climate. *Journal of Agroecology*, 9(3), 749-59. (In Persian with English Summary). DOI:10.22067/JAG.V9I3.50987
- Atmaja, D., Wirajaya, A.A.N.M., & Kartini, L. (2019). Effect of goat and cow manure fertilizer on the growth of shallot (*Allium ascalonicum* L.). *Sustainable Environment Agricultural Science*, 3(1), 19-23. DOI:org/10.22225/seas.3.1.1336.19-23
- Baslam, M., Garmendia, I., & Goicoechea, N. (2013). The arbuscular mycorrhizal symbiosis can overcome reductions in yield and nutritional quality in greenhouse-lettuces cultivated at inappropriate growing seasons. *Scientia Horticulturae*, 164, 145-154. DOI:org/10.1016/j.scienta.2013.09.021
- Bhat, A., Gupta, M., Ganai, M.A., Ahanger, R.A., & Bhat, H.A. (2013). Yield, soil health and nutrient utilization of field pea (*Pisum sativum* L.) as affected by phosphorus and bio-fertilizers under subtropical conditions of Jammu. International. *Journal of Modern Plant and Animal Sciences*, 1(1), 1-8. DOI:10.13140/RG.2.2.33954.86729.
- Bhushan, C., Katiyar, S., & Vikram, N. (2020). Effect of bio-fertilizers on growth behaviour and quality parameters of garlic (*Allium sativum* Linn.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(7), 2319-7706. DOI:org/10.20546/ijcmas.2020.907.025
- Bolandnazar, S., Aliasgarzad, N., Neishabury, M.R., & Chaparzadeh, N. (2007). Mycorrhizal colonization improves onion (*Allium cepa* L.) yield and water use efficiency under water deficit condition. *Scientia Horticulturae*, 114, 11-15. DOI:org/10.1016/j.scienta.2007.05.012
- Bolandnazar, S., Karimi, K., & Sarikhani, M.R. (2018). Effect of some Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) and Arbuscular Mycorrhiza Fungi (AMF) on physiological traits of tareh Irani (*Allium ampeloprasum* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(1), 121-136. (In Persian with English Summary)
- Bona, E., Cantamessa, S., Massa, N., Manassero, P., Marsano, F., Copetta, A., Lingua, G., D'Agostino, G., Gamalero, E., & Berta, G. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting *Pseudomonads* improve yield, quality and nutritional value of tomato: A field study. *Mycorrhiza*, 27. DOI: 10.1007/s00572-016-0727-y
- Borea, J.M. (1991). Vesicular arbuscular mycorrhizae as modifiers of soil fertility. *Advances in Soil Science*, 15, 2-31. Springer-Verlag, New York. DOI: 10.1007/978-1-4612-3030-4_1
- Bremness, L., 1999. Herbs. Eyewitness Handbook, London, 176 p.
- Cangahuala-Inocente, G.C., Silveira, V., & Caprestano, C.A. (2014). Dynamics of physiological and biochemical changes during somatic embryogenesis of *Acca sellowiana*. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Animal*, 50, 166-175.
- Carletti, S., Caceres, E.R., & Liorent, B. (1994). Growth promotion by PGPR on different plant species growing in hydroponics conditions. In: Improving plant productivity with rhizosphere bacteria. Proc. 3rd Intl. Workshop on Plant Growth Promoting Rhizobacteria, Adelaide, Australia.
- Caruso, G., Golubkina, N.A., Seredin, T.M., & Sellitto, V.M. (2018). Utilization of arbuscular-mycorrhizal fungi in *Allium* production. *Vegetable crops of Russia*, 3, 85-90.
- Chaharmahal and Bakhtiari meteorological administration. Available at: Web site. www.Chaharmahalme.ir
- Chattoo, M.A., Ahmed, N., Faheema, S., Narayan, S., Khan, S.H., & Hussain, K. (2007). Response of garlic (*Allium sativum* L.) to biofertilizer application. *The Asian Journal of Horticulture*, 2, 249-52.
- Darzi, M., Haj-Seyedhadi, M., & Rejali, F., (2010). Effects of vermicompost and phosphate biofertilizer application on

- yield and yield components in anise (*Pimpinella anisum* L.). *Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 26(4), 452-465. (In Persian with English Summary). DOI: 10.22092/IJMAPR.2011.6655
- Dashrath, Y., Prasad, V.M., & Gujar, K.D., (2005). Effect of different biofertilizers in association with phosphorus on growth and yield of onion (*Allium cepa* L.), a white onion var Jndwo. *New Agriculturist*, 16(1), 87-89.
- Dorais, M., Papadoulos, A.P., & Gosselin, A. (2001). Greenhouse tomato fruit quality. *Horticultural Review*, 26, 262-319. DOI:org/10.1002/9780470650806.ch5.
- Douds, D.D., Nagahashi, J.G., Reider, C., & Hepperly, P.R. (2007). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi increases the yield of potatoes in a high p soil. *Biological Agriculture and Horticulture*, 25, 67-78. DOI:org/10.1080/01448765.2007.10823209
- Elizabeth, A., Ainsworth, K., & Gillespie, M. (2007). Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using folin-ciocalteu reagent. *Nature Protocols*, 24, 875-877. (Protocol).
- Emami, A. (1996). Plant Decomposition Methods. *Agricultural Education Publishing, Karaj, Iran*. 1, p. 128.
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254. DOI: 10.1006/abio.1976.9999
- Ershadi, A., Noori, M., Dashti, F., & Bayat, F. (2009). Effect of different nitrogen fertilizer on yield, pungency and nitrate accumulation in garlic (*Allium sativum*). *International Symposium on Medicinal and Aromatic Plants*. March 26, Djerba, Tunisia.
- Fallah, S., Ghalavand, A., & Khajehpour, M.R. (2004). Study chemical properties and corn yield by using organic fertilizer, chemical and combined. *Journal of Environmental Sciences*, 5, 69-78.
- Farhadi, N., & Salteh, S.A. (2018). The effect of Forchlorfenuron on bulblet formation, antioxidant characteristics and phytochemicals compounds of Persian shallot (*Allium hirtifolium*). *Journal of Horticultural Sciences*, 31(3), 565-76. DOI:10.22067/jhorts4.v31i3.56997
- Fatchullah, D., Masnenah, E., & Rahman, R.A. (2018). Optimizing the use of synthetic NPK 15-15-15 compound fertilizers with biological fertilizers *Trichoderma* sp. for shallot plant (*Allium ascalonicum*). *Journal Biodjati*, 3(2), 173-82. DOI:10.15575/biodjati.v3i2.3008
- Filho, J.A.C., Sobrinho, R.R., & Rascholat, S.F. (2017). Arbuscular mycorrhizal symbiosis and its role in plant nutrition in sustainable agriculture. In V.S., Meena, P., Mishra, J., Bisht, A., Pattanayak, (Eds.). *Agriculturally Important Microbes for Sustainable Agriculture; Springer, Singapore*. p. 129-164. DOI: 10.1007/978-981-10-5343-6_5
- Fitter, A.H., & Hay, R.K.M. (2002). Environmental Physiology of Plants. 3rd Ed. *Academic Press. London*.p.367. DOI: org/10.1016/C2009-0-03411-4
- Ghahremani, M.H., & Dashti, F. (2014). Genetic diversity of Persian shallot (*Allium hirtifolium* Boiss.) populations based on morphological traits and RAPD markers. *Plant Systematics and Evolution*, 300(5), 1021-30. DOI:10.1007/s00606.013.0940.5
- Ghanbari, J., Khajoei-Nejad, G., Ruth, S.M., & Aghighi, S. (2019). The possibility for improvement of flowering, bulb properties, bioactive compounds, and antioxidant activity in saffron (*Crocus sativus* L.) by different nutritional regimes. *Industrial Crops and Products*, 135, 301-310. DOI: org/10.1016/j.indcrop.2019.04.064
- Golubkina, N., Zamana, S., Seregin, T., Poluboyarinov, P., Sokolov, S., Baranova, H., Krivenkov, L., Pietrantonio, L., & Caruso, G. (2019). Effect of selenium biofortification and beneficial microorganism inoculation on yield, quality and antioxidant properties of shallot bulbs. *Plants*, 8(4), 102. DOI: 10.3390/plants8040102
- Gosling, P., Hodge, A., Goodlass, G., & Bending, G.D. (2006). Arbuscular mycorrhiza fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 113, 17-35. DOI:org/10.1016/j.agee.2005.09.009
- Gowda, M.C., Vijayakumar, M., & Gowda, A.P.M. (2007). Influence of integrated nutrient management on growth, yield and quality of garlic (*Allium sativum* L.). *Crop Research Hisar*, 33, 144-147.
- Hakim, N. (1986). *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Lampung University. p.488.
- Harrier, L.A., & Watson, C.A. (2004). The potential role of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in the bioprotection of plants against soil-borne pathogens in organic and/or other sustainable farming systems. *Pest Management Science*, 60(2), 149-157. DOI: 10.1002/ps.820
- Hooshidari, F. (2009). Medicinal plants of Kurdistan province. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 25(1), 92-103. (In Persian with English Summary)
- Kebede, W. (2003). Shallot (*Allium cepa* var. ascalonicum) responses to plant nutrients and soil moisture in a sub-humid tropical climate. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 78(4), 549-555.

- Kore, M.S., Shembekar, R.Z., Chopde, N.K., Kuchanwar, O.D., Pillewan, S.S. & Godse, S.B. (2006). Nutrient management in garlic (*Allium sativum* L.). *Journal of Soils and Crops*, 16, 465-68.
- Kumar, A., Singh, R., & Chhillar, R.K. (2001). Influence of nitrogen and potassium application on growth, yield and nutrient uptake by onion (*Allium cepa*). In *Indian Journal of Agronomy*, 46(4), 742-746.
- Lone, R., Shuab, R., Sharma, V., Kumar, V., Mir, R., & Koul, K.K. (2015). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and development of potato (*Solanum tuberosum*) plant. *Asian journal of crop science*, 7, 233-243. DOI:10.3923/ajcs.2015.233.243
- Maguire, R.O., Peter, J.A., Kleinman, P.J., & Beegle, D.B. (2011). Novel manure management technologies in no-till and forage systems: Introduction to the Special Series. *Journal of Environmental Quality*, 40(2), 287-91. DOI: org/10.2134/jeq2010.0396
- Manivannan, P., Jaleel, C.A., Kishorekumar, A., Sankar, B., Somasundaram, R., Sridharan, R., & Panneerselvam, R. (2007). Changes in antioxidant metabolism of *Vigna unguiculata* L. Walp. By propiconazole under water deficit stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 57, 69-74. DOI:org/10.1016/j.colsurfb.2007.01.004
- Mansouri, H., Banayan Aval, M., Rezvani Moghaddam, P., & Lakzian, A. (2015). Management of nitrogen, irrigation and planting density in Persian shallot (*Allium hirtifolium*) by using central composite optimizing method. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 24(4.1), 41-60. (In Persian with English Summary)
- McCready, R.M., Guggolz, J., Silviera, V., & Owens, H.S. (1950). Determination of starch and amylose in vegetables. *Journal of Analytical Chemistry*, 22, 1156-1158. DOI:org/10.1021/ac60045a016
- Menichini, F., Tundis, R., Bonesi, M., Loizzo, M.R., Conforti, F., Statti, G., Di Cindi, B., Houghton, P.J., & Menichini, F. (2009). The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of *Capsicum Chinense* Jacq. Habanero. *Food Chemistry*, 114, 553- 560. DOI: org/10.1016/j.foodchem.2008.09.086
- Minardi, S., Winarno, J., & Abdillah, H.N. (2013). Effects of Balance Organic and inorganic fertilizer on the Andisols soil chemistry at Tawangmangu to yield of carrot (*Daucus carota* L.). *Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 6, 111-116.
- Mosawi, Z., Ahmadian, A., Kaweh, H., & Salari, A. (2018). Effect of different levels of stress and vermicompost fertilizer on yield, yield component and active compound of allicin in garlic medicinal herbs. *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(1). (In Persian with English Summary). DOI: 10.22069/jwsc.2018.14167.2889
- Padmavathiamma, P.K., Li, L.Y., & Kumari, U.R. (2008). An experimental study of vermin-biowaste composting for agriculture soil improvement. *Bioresource Technology*, 99, 1672-1681. DOI: org/10.1016/j.biortech.2007.04.028
- Pandey, A., and Kumar, S. (1989). Potential of *Azotobacter* and *Azospirillum* as biofertilizers for upland agriculture-A review. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 48, 134-44.
- Parham, J.A., Denge, S.P., Raun, W.R., & Johnson, G.V. (2002). Long term cattle manure application in soil I. Effect on soil phosphorus levels, microbial biomass C and dehydrogenase and phosphatase activities. *Biology and Fertility of Soils*, 35, 328-337. DOI: 10.1007/s00374-003-0657-7
- Piga, P., Belanger, R., Paulitzand, T.Z., & Benhanau, N. (1997). Increased resistance to *Fusarium oxysporum* f .sp. Radicis-lycopersici in tomato plants treated with the endophytic bacterium *Pseudomonas fluorescens*, strain 63-28. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 50, 301-320. DOI: org/10.1006/pmpp.1997.0088
- Purba, J.H., Wahyun P.S., Naen, Z., Sasmita, N., Yuniti, G.A.D., & Pandawani, N.P. (2020). Growth and yield response of shallot (*Allium ascalonicum* L. var. Tuktuk) from different source materials applied with liquid biofertilizers. *Nusantara Bioscience*, 12 (2), 127-133. DOI: org/10.13057/nusbiosci/n120207
- Rai, S.N., & Gaur, A.C. (1988). Characterization of *Azotobacter* spp. and effect of *Azotobacter* and *Azospirillum* as inoculant on the yield and N-uptake of wheat crop. *Plant and Soil Science*, 109, 131-134.
- Raja Sekar, K., & Karmegan, N. (2010). Earthworm casts as an alternate carrier material for biofertilizers: Assessment of endurance and viability of *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megaterium* and *Rhizobium leguminosarum*. *Scientia Horticulturae*, 124, 286-289. DOI: org/10.1016/j.scienta.2010.01.002
- Rolland, F., Baena-Gonzalez, E., & Sheen, J. (2006). Sugar sensing and signaling in plants: Conserved and novel mechanisms. *Annual Review of Plant Biology*, 57, 675-709. DOI: 10.1146/annurev.arplant.57.032905.105441
- Sangwan, P., Kaushik, C.P., & Garg, V.K. (2008). Feasibility of utilization of horse dung spiked filter cake in vermicomposters using exotic earthworm *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology*, 99, 2442-2448. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.04.061
- Sardi, K., & Timar, E. (2005). Responses of garlic (*Allium sativum* L.) to varying fertilization levels a nutrient ratios.

- Soil Science and Plant Analysis*, 36, 673-679. DOI:org/10.1081/CSS-200043326
- Sepahvand, A., Astereki, H., Naghavi, M.R., Daneshian, J., & Mohammadian, A. (2008). Evaluation of morphological variation in different accession of *Allium hirtifolium* Boissier from Lorestan province. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 24, 109-116. (In Persian with English Summery)
- Sharma, R.P. (1992). Effect of planting material, nitrogen and potash on bulb yield of rainy season onion (*Allium cepa* L.). *Indian Journal of Agronomy*, 37, 868-869.
- Singh, M., Tripathi, A.K., & Reddy, D.D. (2002). Potassium balance and release kinetics of non-exchangeable K in a TypicHaplustert as influenced by cattle manure application under a soybean-wheat system. *The Annual Review of Plant Biology*, 40 (3), 533-541.
- Sudadi, M., Nurjanah, M., & Minardi, S. (2021). Organic fertilizer dosages and biofilmed biofertilizer formula on nitrogen uptake and shallot yields in slightly acid soil. *Earth and Environmental Science*, 637. DOI:10.1088/1755-1315/637/1/012092
- Sudadi, M., Nurjanah, M., & Minardi, S. (2021). Uptake and shallot yields in slightly acid soil. The 7th International Conference on Sustainable Agriculture and Environment. Conference. Series: *Earth and Environmental Science*, 637(2021) 012092.
- Sutedjo, M.M. (2008). Pupuk dan Cara Pemupukan, Jakarta.
- Szpunar-Krok, E., Kuźniar, P., Pawlak, R., & Migut, D. (2021). The effect of foliar fertilization on the resistance of pea (*Pisum sativum* L.) seeds to mechanical damage. *Agronomy*, 11, 189. DOI:org/10.3390/agronomy11010189
- Tabatabai, S.J. (2010). Essential Elements, the Book of Principles of Mineral Plant Nutrition, First Edition, *Tabriz University press, Tabriz, Iran*. p. 83. (In Persian)
- Tahouri, H. (2013). Encyclopedia of Medicinal Plants. Seventh edition, *Padideh Danesh Publications, Tehran, Iran*. 155 p. (In Persian)
- Triharyanto, E., Sudadi, S., & Rawandari, S. (2018). Adaptation of six shallots varieties to phosphate solubilizing bacteria on the flower formation, seeds formation, and yields on the lowland. IOP Conference Series. *Earth and Environmental Science*, 142(1), 012-67. DOI:10.1088/1755-1315/142/1/012067
- Verma, L.N. (1993). Organics in Soil Health and Crop Production. In: P.K. Thampan (Ed.). *Tree Crop Development Foundation, Cochin*. 151-184
- Winarso, S. (2005). Kesuburan Tanah Dasar Kesehatan dan Kualitas Tanah. Yogyakarta: Gava Media.
- Yang, J., Kloepper, J.W., & Ryu, C.M. (2009). Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends in Plant Science*, 14, 1-4. DOI: 10.1016/j.tplants.2008.10.004



Evaluation of DSSAT-CROPGRO-Canola Model to Simulate Growth and Yield of Two Canola (*Brassica napus* L.) Cultivars in Karaj

Gelareh Goodarzi¹, Ahmad Ghanbari^{2*}, Saeid Soufizadeh³, Hamid Jabbari⁴ and Ali Eskandari⁵

Received: 01-03-2021
Revised: 30-08-2021
Accepted: 31-08-2021
Available Online: 31-08-2021

How to cite this article:

Goodarzi, G., Ghanbari, A., soufizadeh, S., Jabbari, H., and Eskandari, A., 2023. Evaluation of DSSAT-CROPGRO-Canola model to simulate growth and yield of two canola (*Brassica napus* L.) cultivars in Karaj. Journal of Agroecology 15(1): 51-74.
DOI: [10.22067/agry.2021.68623.1027](https://doi.org/10.22067/agry.2021.68623.1027)

Introduction

Canola (*Brassica napus* L.) is known as the third most important oil crop in the world and is now cultivated over a large area of the world's farms in rotation with various crops, especially cereals (Reddy and Redi, 2003). Simulation models are a useful tool for predicting crop responses to different environments. The CSM-CROPGRO model (Jones et al., 2003) was integrated into the Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) for simulating spring rapeseed (Saseendran et al., 2010). Due to limited studies on simulating the growth and yield of rapeseed in Iran, especially using DSSAT models, the purpose of this study was to calibrate and evaluate the DSSAT-CROPGRO-Canola model for simulating the growth and yield of two canola cultivars with different treatments of planting date and nitrogen in Karaj, Iran.

Materials and Methods

A field experiment was performed as a split-plot factorial based on a randomized complete block design with three replications in 2017 and 2018. Two spring canola cultivars (Dalgan and Hyola-420) were planted under three levels of nitrogen (0, 70, and 210 kg.ha⁻¹) on two planting dates (28 Feb and 19 Mar). Planting date was considered as the main factor, and cultivars and nitrogen levels were considered as sub-factors. Measured data during the growing season were leaf area index (LAI), total dry matter (TDM), yield and yield components, and dates of flowering and physiological maturity. Daily weather data, management events, and soil characteristics are imported to DSSAT. The first-year experimental data were used for calibration, and second-year data were used for model evaluation of developmental stages, LAI, TDM, and grain yield. The performance of the DSSAT-CROPGRO-Canola model during the calibration and evaluation was assessed using different statistics, root mean square error (RMSE), normalized RMSE (nRMSE), Willmott's index (d), and coefficient of determination (R²) of a 1:1 regression line.

Results and Discussion

The results of evaluating phenological stages (anthesis day, first pod day, first seed day, and physiological maturity day) showed that the RMSE for the Dalgan cultivar was less than four days, and for the Hyola-420 cultivar, it was less than five days. This indicates that the model performed excellently in accurately simulating developmental stages. The model was able to simulate LAI up to the pod formation stage in different treatments.

1- Ph.D. Student of Crop Ecology, Department of Agroecology, Faculty of Agriculture, Zabol University, Zabol, Iran.

2- Professor, Department of Agroecology, Faculty of Agriculture, Zabol University, Zabol, Iran.

3- Assistant Professor, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

4- Assistant Professor, Crop Physiology, Seed and Plant Improvement Institute (SPII) Department of Oilseeds. Karaj, Alborz Province, Iran.

5- Assistant Professor, Crop Physiology, Nuclear Agriculture Research Institute, Iran.

(*- Corresponding author's Email: ghanbari@uoz.ac.ir)

The nRMSE and d were 24.88% and 0.92 for the Dalgan cultivar and 22.72% and 0.95 for the Hyola-420 cultivar, respectively.

The model was also able to simulate the total dry matter at different planting dates as well as different levels of nitrogen fertilizer, and the values of nRMSE, d, and R2 for the Dalgan cultivar were 24.97%, 0.97 and 0.91**. For the Hyola-420 cultivar, the values were 22.73%, 0.98, and 0.94**. Additionally, the nRMSE, d, and R2 values for the number of grains per square meter were 14.97%, 0.98, and 0.91** for the Dalgan cultivar and 15.37%, 0.98, and 0.90** for the Hyola-420 cultivar, respectively.

The evaluation results for grain yield of canola cultivars showed that the RMSE was 395 and 265 kg.ha-1, d was 0.97, and R2 was 0.89** and 0.91** for Dalgan and Hyola-420 cultivars, respectively, confirming the high accuracy of the calibration. Therefore, this model can be used to evaluate the different effects of crop management and make decisions in canola cultivation systems. One of these decisions is to determine the best planting date for spring canola cultivars in the region. Based on the long-term model simulation of cultivars in different planting dates, it is recommended to plant spring canola up to 11 March in this region.

Conclusion

The results of this study showed that the DSSAT-CROPGRO-Canola model had reliably good performance under different management and environmental conditions. CSM-CROPGRO-Canola model predicts grain yield responses to management and environmental conditions well and can now be employed for assessing the impacts of various agronomic management strategies and decisions making in canola production systems in Iran.

Keywords: Developmental stages, Genetic coefficients, Leaf area index, Modeling

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، ص ۷۴-۵۱

ارزیابی مدل DSSAT-CROPGRO-Canola برای شبیه سازی رشد و عملکرد دو رقم کلزا (*Brassica napus* L.) در منطقه کرج

گلاره گودرزی^۱، احمد قنبری^{۲*}، سعید صوفی زاده^۳، حمید جباری^۴ و علی اسکندری^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۶/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۹

چکیده

مدل سازی رشد و عملکرد کلزا یک روش مفید برای پیش بینی پاسخ کلزا (*Brassica napus* L.) به محیط های مختلف است. در این مطالعه، مدل CSM-CROPGRO-Canola در نرم افزار DSSAT v4.7 برای شبیه سازی رشد و عملکرد دو رقم کلزای بهاره (دلگان و هایولا ۴۲۰) در منطقه کرج بررسی شد. این مدل با استفاده از داده های گیاهی و خصوصیات خاک جمع آوری شده از آزمایش های مزرعه ای تحت تیمارهای تاریخ کاشت و کود نیتروژن طی دو فصل رشد (۹۷-۱۳۹۵) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج اعتبارسنجی مراحل فنولوژیکی (شروع گل دهی، شروع خورجین دهی، شروع تشکیل دانه و رسیدگی فیزیولوژیک) نشان داد که برای رقم دلگان مقادیر جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) کمتر از چهار روز و برای رقم هایولا کمتر از پنج روز بود که نشان دهنده توانایی مدل در شبیه سازی مراحل نمو بوده است. همچنین مدل به خوبی توانست در تاریخ های مختلف کاشت و همچنین سطوح مختلف کود نیتروژن، ماده خشک کل را شبیه سازی کند. نتایج اعتبارسنجی عملکرد دانه ارقام کلزا نیز نشان داد که مقدار RMSE ۳۹۵ و ۲۶۵ کیلوگرم در هکتار، R^2 و d ۰/۹۷ و R^2 برابر با $0/۸۹^{**}$ و $0/۹۱^{**}$ به ترتیب برای رقم دلگان و هایولا ۴۲۰ بود که نشان از دقت بالای مدل و واسنجی مناسب آن می باشد. بنابراین، می توان نتیجه گرفت که شبیه سازی کلزا با استفاده از مدل CSM-CROPGRO-Canola رضایت بخش بوده است و نشان دهنده برآورد صحیح پارامترهای مدل و تصدیق کننده کارایی مدل در پیش بینی مراحل نمو و صفات مربوط به رشد و عملکرد ارقام کلزا می باشد. بدین ترتیب این مدل می تواند برای ارزیابی تاثیرات مختلف مدیریت زراعی و تصمیم گیری در نظام های کشت کلزا مورد استفاده قرار گیرد. یکی از این تصمیم گیری ها تعیین بهترین تاریخ کاشت کلزای بهاره در منطقه است. با توجه به نتایج شبیه سازی عملکرد دانه ارقام در تاریخ کاشت های مختلف با داده های بلندمدت، توصیه می شود، عملیات کاشت کلزای بهاره در این منطقه حداکثر تا ۲۰ اسفند انجام شود.

واژه های کلیدی: شاخص سطح برگ، ضرایب ژنتیکی، مدل سازی، مراحل نمو

۱- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران.

۲- استاد گروه اکولوژی دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۳- استادیار دانشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران.

۴- استادیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات و تهیه نهال و بذر، کرج، ایران.

۵- استادیار پژوهشگاه انرژی اتمی - پژوهشکده کشاورزی هسته ای، ایران.

* - نویسنده مسئول: (Email: ghanbari@uoz.ac.ir)

مقدمه

ایران تا حد زیادی به دانه‌های روغنی وارداتی وابسته است تا بیش از ۱/۵ میلیون تن از مصرف روغن نباتی سالانه خود را تأمین کند (Negares, 2011). در حال حاضر، نزدیک به ۸۰ درصد روغن نباتی مورد نیاز به صورت دانه روغنی وارد می‌شود (Bakhshi et al., 2021). در حال حاضر دو دهه، یکی از سیاست‌های اصلی غذایی دولت، خودکفایی در دانه‌های روغنی بود. از این میان کانولا به عنوان روغنی که به محصول رسیده بسیار مورد توجه قرار گرفته است. کلزا (*Brassica napus* L.) به عنوان سومین گیاه روغنی مهم دنیا شناخته شده است و به دلیل خصوصیتی مانند مقاومت به کم آبی، شوری و سرما، ارزش تناوبی زیاد، مقاومت نسبی به بافت خاک و قابلیت بالا برای رقابت با علف‌های هرز هم اکنون در سطح وسیعی از مزارع جهان در تناوب با محصولات مختلف به ویژه غلات کشت می‌شود (Reddy & Redi, 2003). عملکرد دانه کلزا از دهه ۱۹۷۰ دو برابر شده است (FAOSTAT, 2019) و با افزایش تقاضا برای انرژی تجدیدپذیر و مصرف رژیم غذایی، انتظار می‌رود تولید افزایش یابد. ارزش غذایی این محصول و سازگاری آن با اقلیم‌های مختلف باعث شده است تا این گیاه در اکثر نقاط کشور کشت شود (Zomorodian et al., 2010).

ارزیابی پاسخ کلزا به تغییرات آب و هوا و شیوه‌های مدیریت از طریق آزمایش‌های واقعی می‌تواند بسیار گران باشد. از طرف دیگر، مدل‌های رشد محصول با ادغام عوامل محیطی و شیوه‌های مدیریت محصول، عملکرد را شبیه‌سازی می‌کنند و از این رو، ابزاری قدرتمند برای ارزیابی پاسخ محصولات به شرایط مختلف آب و هوایی و شیوه‌های مدیریت محصول هستند (RaesGeerts & Raes, 2009; Boogaard et al., 1988; Van Dam et al., 1997). 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 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 دامنه‌ی وسیعی از شرایط مورد ارزیابی و اعتبارسنجی قرار گرفته باشد (Kassie et al., 2016).

در مقایسه با غلات، تنها چند مدل محصول برای کلزا ساخته شده است. مدل APSIM-Canola برای شبیه‌سازی کلزا در محیط‌های دیم استرالیا (Robertson et al., 1999) و مدل CSM-CROPGRO (Jones et al., 2003; Boote et al., 1998)؛ در سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری برای انتقال فناوری زیستی (DSSAT) برای شبیه‌سازی کلزای بهاره (Saseendran et al., 2010) تهیه شده است. سازگاری کامل‌تری برای کلزای پاییزه در شرایط مدیریت‌های توسط دلیگیوس و همکاران (Deligios et al., 2013) انجام شد و در DSSAT نسخه ۴/۷ ادغام شده است (Hoogenboom et al., 2017). 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 به عنوان یک ابزار پژوهش، می‌توان توصیه‌هایی در ارتباط با مدیریت محصول و بررسی مسائل زیست محیطی و پایداری را از آن استخراج کرد. این بسته شامل سیستم‌های مدیریت پایگاه داده‌ها برای خاک، داده‌های هواشناسی، ضرایب ژنتیکی و ورودی مدیریت، مدل‌های شبیه‌سازی محصول، مجموعه‌ای از ابزار و برنامه‌های اقلیمی 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 (Fallah et al., 2021). در واقع، DSSAT ابزاری بسیار مفید برای کاهش قابل ملاحظه زمان و هزینه در آزمایشات مزرعه‌ای برای ارزیابی مناسب ارقام جدید و نظام‌های مدیریتی جدید است (Ooteng-Darko et al., 2013; Bannayan et al., 2003).

مدل CROPGRO فرآیندهایی مانند نمو رویشی و زایشی را شبیه‌سازی می‌کند که براساس آن طول دوره رشد گیاه، طول دوره رشد ریشه و برگ، شروع و طول دوره رشد اندام‌های زایشی مانند غلاف و دانه‌ها را تعیین می‌کند (Boote et al., 2002). در مدل CROPGRO خصوصیات گونه، اکوتیپ و رقم در فایل‌های جداگانه

(Rahban et al., 2021) با هدف شبیه‌سازی فنولوژی، عملکرد و بهره‌وری آب گیاه کلزا در سطح کشور، مدل SSM-iCrop را مورد ارزیابی قرار دادند. ایشان نتیجه گرفتند که شبیه‌سازی رشد کلزا با استفاده از مدل SSM-iCrop رضایت‌بخش بوده است و نتایج حاکی از برآورد صحیح پارامترهای مدل و تصدیق‌کننده کارایی مدل در پیش‌بینی عملکرد کلزا در ایران می‌باشد. زلک و همکاران (Zelege et al., 2011) و موسوی‌زاده و همکاران (Mousavizadeh et al., 2016) نیز با واسنجی و صحت‌سنجی مدل AquaCrop برای محصول کلزا گزارش کردند که این مدل توانایی قابل قبولی برای شبیه‌سازی عملکرد کلزا داشت. نتایج واسنجی مدل APSIM برای شبیه‌سازی عملکرد و مراحل نمو کلزا در استان چهارمحال و بختیاری نشان داده است که مقدار nRMSE برای مراحل نمو کمتر از دو درصد و برای عملکرد ۷/۲ درصد بوده است (Heidarybeni et al., 2018). همچنین مطالعه دیگری شبیه‌سازی عملکرد کلزا با استفاده از مدل WOFOST انجام شد که مقدار nRMSE برای عملکرد دانه کلزا نه درصد و برای عملکرد بیولوژیک ۶/۷ درصد مشاهده شد (Farhangfar et al., 2017).

ابراهیمی پاک و همکاران (Ebrahimipak et al., 2019) در پژوهشی به‌منظور ارزیابی سه مدل گیاهی WOFOST، AquaCrop و CropSyst با استفاده از داده‌های دو سال زراعی ایستگاه تحقیقاتی اسماعیل‌آباد قزوین گزارش کردند که متوسط اختلاف مقادیر عملکرد دانه اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای مدل‌های AquaCrop، WOFOST و CropSyst به‌ترتیب ۱۰/۲، ۱۲/۱ و ۱۲/۶ درصد بود. با توجه به مطالعات اندک شبیه‌سازی رشد و عملکرد کلزا در ایران به‌خصوص مدل‌های DSSAT، هدف از این مطالعه واسنجی و ارزیابی مدل DSSAT-CROPGRO-Canola برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد دو رقم کلزا در منطقه کرج با تیمارهای مختلف تاریخ کاشت و نیتروژن بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مزرعه‌ای

آزمایش‌های مزرعه‌ای در دو سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۶ و ۱۳۹۶-۱۳۹۷ در مزرعه پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای کرج واقع در جاده قدیم کرج- قزوین انجام شد. خصوصیات خاک محل آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. همچنین میانگین دمای ماهیانه حداقل

تعریف شده که برای شبیه‌سازی محصولات خاص استفاده می‌شود و به‌راحتی می‌توان بدون ایجاد تغییر در کد برنامه، صرفاً با تغییر در پارامترهای موجود در این فایل‌ها این مدل را برای شبیه‌سازی محصولات جدید سازگار کرد (Jones et al., 2003). فرض بر این است که بیشتر این فرآیندها در سیستم گیاه - خاک در بین گونه‌ها ثابت مانده و بنابراین، کمبود مطالعات مربوط به فرآیندهای خاص برای یک محصول خاص برای مدل‌سازی مانعی برای توسعه مدلی برای آن محصول نباشد. در نتیجه، مدل CROPGRO برای شبیه‌سازی محصولاتی از قبیل کلزا (*Brassica napus* L.)، سویا (*Glycine max*)، بادام زمینی (*Arachis hypogaea*)، لوبیا (*Phaseolus vulgaris*)، نخود (*Cicer arietinum*)، گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) و گیاهان برآکیاریا (*Brachiaria* sp.) با موفقیت سازگار شده است (Jones et al., 2003).

تاکنون تحقیقات محدودی در خصوص گیاه کلزا با استفاده از این مدل‌ها انجام شده است. مدل CSM-CROPGRO-Canola برای کلزای بهار در شرق کانادا برای پیش‌بینی عملکرد و مراحل نمو مورد بررسی قرار گرفت (Jing et al., 2016). نتایج آن‌ها نشان داد که پارامترهای کالیبره شده مراحل رشد و عملکرد کلزای بهاری را به‌خوبی شبیه‌سازی کرده و نیاز به برنامه‌های کاربردی، مانند شبیه‌سازی پاسخ کلزا بهار به حالات اقلیمی آینده را برآورده می‌کند. هونار و همکاران (Honar et al., 2011) مدل CropSyst را برای شبیه‌سازی عملکرد کلزا واسنجی کردند و نشان دادند که نتایج به‌دست آمده تطابق بالایی با نتایج مزرعه‌ای داشتند. مجرد و همکاران (Mojarrad et al., 2014) در تحقیقی به بررسی نقش عوامل آب و هوایی در تعیین تاریخ کشت و طول دوره رشد کلزا با استفاده از مدل CropSyst پرداختند. نتایج این محققان بر اساس مدل CropSyst بیانگر اعتماد به این مدل جهت ارائه نتایج قابل قبول بود. جیلاردلی و همکاران (Gilardelli et al., 2016) نیز با واسنجی و صحت‌سنجی مدل WOFOST به این نتیجه رسیدند که این مدل دقت مناسبی برای شبیه‌سازی عملکرد کلزا داشت. در تحقیقی از داده‌های برداشت شده یک مزرعه کلزا در دهلران برای واسنجی مدل AquaCrop استفاده کردند (Arvaneh et al., 2011). پس از واسنجی، این محققان به شبیه‌سازی عملکرد کلزا با استفاده از این مدل پرداختند و نشان دادند که نتایج به‌دست آمده تطابق قابل قبولی با نتایج مزرعه‌ای داشت. راهبان و همکاران

کاشت به عنوان عامل اصلی و رقم و سطوح نیتروژن به عنوان عوامل فرعی در نظر گرفته شد. عملیات کشت بذر به صورت دستی با عمق کشت ۲-۲/۵ سانتی متر و به صورت سه عدد بذر در هر گودال کشت شد. عملیات تنک و مبارزه با علف های هرز برای هر یک از تیمارهای آزمایشی به صورت یکسان و جداگانه انجام شد.

و حداکثر و بارش ماهیانه دوره کاشت تا برداشت کلزا در هر دو سال در جدول ۲ نشان داده شده است. آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار به اجرا در آمد. دو رقم کلزای بهاره (دلگان و هایولا ۴۲۰) در دو تاریخ کاشت (۹ و ۲۹ اسفند) تحت سه سطح نیتروژن (صفر، ۷۰ و ۲۱۰ کیلوگرم در هکتار) کاشته شد. تاریخ

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش در سال مختلف
Table 1- Physical and chemical properties of soil at two different years

سال Year	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	نقطه پژمردگی دائم Permanent wilting point	نقطه ظرفیت زرعی Field capacity	رطوبت اشباع Saturation	وزن مخصوص ظاهری Bulk density (g.cm ⁻³)	کربن آلی Organic C (%)	اسیدیته pH
2017	14.3	24.1	61.6	0.128	0.244	0.439	1.40	1.13	7.8
2018	15.6	22.2	62.2	0.131	0.240	0.430	1.42	1.02	7.7

جدول ۲- میانگین ماهانه دما و بارش در طول دوره رشد کلزا برای سال های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸
Table 2- Monthly mean temperatures and accumulated precipitation during the canola growing season, February to July 2017-2018

ماه Month	دمای حداقل Tmin (°C)		دمای حداکثر Tmax (°C)		بارش Precipitation (mm)	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Feb.	-5.2	-0.2	5.4	10.1	80.8	51.9
Mar.	1.2	5.0	12.0	18.8	51.8	14.5
Apr.	6.2	5.5	19.0	18.7	51.4	46.2
May.	12.3	10.7	26.8	23.7	20.2	34.9
Jun.	15.9	16.6	32.4	32.4	4.9	13.8
Jul.	19.9	21.4	34.7	37.3	3.9	5.8

هزارم گرم توزین و عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. تجزیه های آماری و ترسیم گراف ها با استفاده از نرم افزارهای SAS و Excel صورت پذیرفت.

شبیه سازی رشد و عملکرد کلزا توصیف مدل

مدل CROPGRO یک مدل محصول معمولی است که با استفاده از پارامترهای فتوسنتز سطح برگ و محاسبات جذب نور، فتوسنتز کنوپی را به صورت روزانه محاسبه می کند. مدل CROPGRO به عنوان یک رویکرد عمومی برای مدل سازی محصولات زراعی به این مفهوم که دارای یک کد منبع مشترک است، توسعه یافته است، اما می تواند رشد تعدادی از محصولات

داده های گیاهی که در طول دوره رشد اندازه گیری شدند عبارت از سطح برگ، ماده خشک کل، عملکرد و اجزای عملکرد، تاریخ های گل دهی و رسیدگی فیزیولوژیک بود. نمونه برداری های تخریبی در طول دوره رشد گیاه از زمان سبز شدن تا برداشت صورت پذیرفت. برای تعیین اجزای عملکرد از هر کرت ۱۰ بوته به طور تصادفی انتخاب و متوسط تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف محاسبه گردید. برای محاسبه وزن هزاردانه، هشت نمونه ۱۰۰ تایی از دانه های هر کرت آزمایشی به طور تصادفی انتخاب و با ضرب کردن میانگین وزن آنها در عدد ۱۰ وزن هزاردانه محاسبه شد. برای تعیین عملکرد دانه از ردیف های میانی هر کرت با رعایت حاشیه، برداشت صورت گرفت و در نهایت، عملکرد دانه محاسبه شد. به این صورت که پس از آنکه رطوبت دانه ها به ۱۰ درصد رسید، وزن دانه ها با ترازوی یک

در ارتباط با هر مرحله کالیبراسیون، یک مقایسه گرافیکی بصری انجام شد و RMSE بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده محاسبه شد و پارامترهای بهینه با کمترین RMSE به‌دست آمد. 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) 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 درصد باشد شبیه‌سازی عالی، بین ۱۰ تا ۲۰ درصد خوب، بین ۲۰ تا ۳۰ درصد متوسط و بیشتر از ۳۰ درصد 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). مقادیر پارامترهای کالیبره شده در جدول ۳ آمده است. داده‌های مستقل از آزمایش سال دوم برای ارزیابی مدل کالیبره شده استفاده شد.

برازش رگرسیونی بین مشاهدات و داده‌های شبیه‌سازی شده و مقایسه آن با خط ۱:۱ از جمله رایج‌ترین و دقیق‌ترین روش‌های اعتبار مدل‌هاست (Nassiri Mahallati, 2000). مدل در صورتی از دقت کافی در پیش‌بینی مشاهدات برخوردار خواهد بود که خط رگرسیون دارای شیبی برابر یک بوده و بر خط ۱:۱ ($y=x$) منطبق باشد. برای این منظور معادله خط رگرسیونی برازش داده شده بین داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده که معادله آن در زیر آمده است با خط ۱:۱ از طریق آزمون t مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$\text{Predicted} = a + (b \times \text{Observed}) \quad (۱)$$

که در آن، $b=1$ به‌عنوان فرض صفر (H_0) و $b \neq 1$ به‌عنوان فرض یک (H_1) در آزمون t در نظر گرفته شد. همچنین برای ارزیابی عرض از مبدأ دو خط، $a=0$ به‌عنوان فرض صفر (H_0) و $a \neq 0$ به‌عنوان فرض یک (H_1) در آزمون t مدنظر قرار گرفت. اگر فرض صفر رد نشود، به این معنی است که اختلاف بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده معنی‌دار نیست و فرض یک نیز عکس این موضوع را نشان می‌دهد.

مختلف را پیش‌بینی کند. این مدل برای شبیه‌سازی بیش از ۱۰ محصول از جمله حبوبات، محصولات دانه روغنی، سبزیجات و علوفه‌ای با موفقیت سازگار شده است و در بسته DSSAT ادغام شده است (Jones et al., 2003; Hoogenboom et al., 2017).

داده‌های ورودی مدل

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 4.7 DSSAT، فایل داده‌های هواشناسی ساخته شد. همچنین فایل خصوصیات خاک هر سال آزمایش از قبیل بافت خاک، ظرفیت نگهداری آب، میزان ماده آلی و اسیدیته خاک توسط ابزار SBuild ساخته و به DSSAT معرفی شد.

ارزیابی مدل

از داده‌های آزمایشی سال اول برای واسنجی مدل برای مراحل نمو، LAI، زیست‌توده و عملکرد دانه استفاده شد. در این مطالعه، برآورد پارامترهای مدل 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). پارامترهای تعیین‌کننده زمان ظهور گل به‌تدریج در حدود مقدار پیش فرض کاهش یا افزایش یافت تا تاریخ گل‌دهی شبیه‌سازی شده با مقدار اندازه‌گیری شده مطابقت پیدا کرد. کار مشابهی با سایر پارامترهای تعیین‌کننده مراحل نمو محصول انجام شد. پس از کالیبره شدن پارامترهای نمو محصول، پارامترهای تعیین‌کننده سطح برگ کالیبره شدند. به‌طور مشابه، سطح ویژه برگ در اطراف مقادیر پیش فرض تنظیم شد تا LAI شبیه‌سازی شده با LAI مشاهده شده در طول فصل رشد محصول مطابقت داشته باشد. پس از آن، سایر پارامترها به همان روش برای زیست‌توده و عملکرد دانه کالیبره شدند.

جدول ۳- ضرایب ژنتیکی پیش فرض و کالیبره شده مدل CROPGRO-Canola برای دو رقم کلزا

Table 3- The calibrated genetic coefficients in the CROPGRO-Canola model with their default values and calibrated values for two canola cultivars

پارامتر Parameter	تعریف Definition	پیش فرض Default†	دلگان Dalgan	هایولا ۴۲۰ Hyola-420
PP-SEN	شیب پاسخ نسبی نمو در مقابل دوره نوری Slope of the relative response of development vs. photoperiod (1/h)	-0.011	-0.021	-0.009
EM-FL	زمان بین جوانه و ظهور گل Time between emergence and flower appearance (PD‡)	28.5	21.0	25.5
FL-SH	زمان بین اولین گل و غلاف دهی Time between first flower and beginning pod (PD)	13	10	11
FL-SD	زمان بین اولین گل و دانه بستن Time between first flower and beginning seed (PD)	19.0	14.5	17.5
SD-PM	زمان بین دانه بستن و رسیدگی فیزیولوژیکی Time between beginning seed and physiological maturity (PD)	26.5	30.5	25.5
FL-LF	زمان بین دانه بستن و پایان توسعه برگ Time between beginning seed and end of leaf expansion (PD)	3	3	3
LFMAX	حداکثر میزان فتوسنتز برگ Maximum leaf photosynthetic rate (mg CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	1.28	1.13	1.00
SLAVR	سطح برگ ویژه رقم در شرایط رشد استاندارد Specific leaf area of cultivar under standard growth conditions (cm ² g ⁻¹)	330	350	340
SIZLF	حداکثر اندازه برگ کامل Maximum size of full leaf (cm ²)	100	100	110
XFRT	حداکثر کسری از رشد روزانه که به پوسته بذر تخصیص داده می شود Maximum fraction of daily growth that is partitioned to seed-shell	1.00	1.00	1.00
WTPSD	حداکثر وزن تک دانه Maximum weight per seed (g)	0.003	0.003	0.003
SFDUR	مدت زمان پر شدن بذر برای غلاف در شرایط استاندارد Seed filling duration for pod cohort under standard conditions (PD)	20	25	25
SDPDV	بذر در هر غلاف در شرایط رشد استاندارد Seeds per pod at standard growth conditions (no.pod-1)	22	18	18
PODDUR	مدت زمان افزودن غلاف در شرایط استاندارد Duration of pod addition under standard conditions (PD)	10	10	10
THRSH	درصد دانه خالص [دانه (دانه + پوسته)-۱] Threshing percentage [seed (seed + shell)-1]	81	81	81
SDPRO	درصد پروتئین در دانه Fraction protein in seeds (g. g ⁻¹)	0.23	0.23	0.23
SDLIP	درصد روغن در دانه Fraction oil in seeds (g.g-1)	0.480	0.403	0.417

روز فتوترمال

‡ Photothermal day

نتایج و بحث

واسنجی مدل

نتایج برآورد ضرایب ژنتیکی برای ارقام دلگان و هایولا در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج واسنجی مدل براساس مقایسه مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده با استفاده از شاخص های آماری RMSE، nRMSE، D-index و R² انجام شد (جدول ۴). نتایج حاصل از

شبیه سازی مراحل فنولوژیکی (شروع گل دهی، شروع خورجین دهی، شروع تشکیل دانه و رسیدگی فیزیولوژیک) نشان داد که برای رقم های دلگان و هایولا، مدل DSSAT با دقت خوبی مراحل مذکور را شبیه سازی نموده است (شکل ۱). برای روز تا گل دهی مقدار RMSE ۲/۳۱ و ۲/۶۸ روز به ترتیب برای ارقام دگان و هایولا به دست آمد که این معیار آماری نشان دهنده توانایی عالی مدل در شبیه سازی روز تا

شاخص سطح برگ

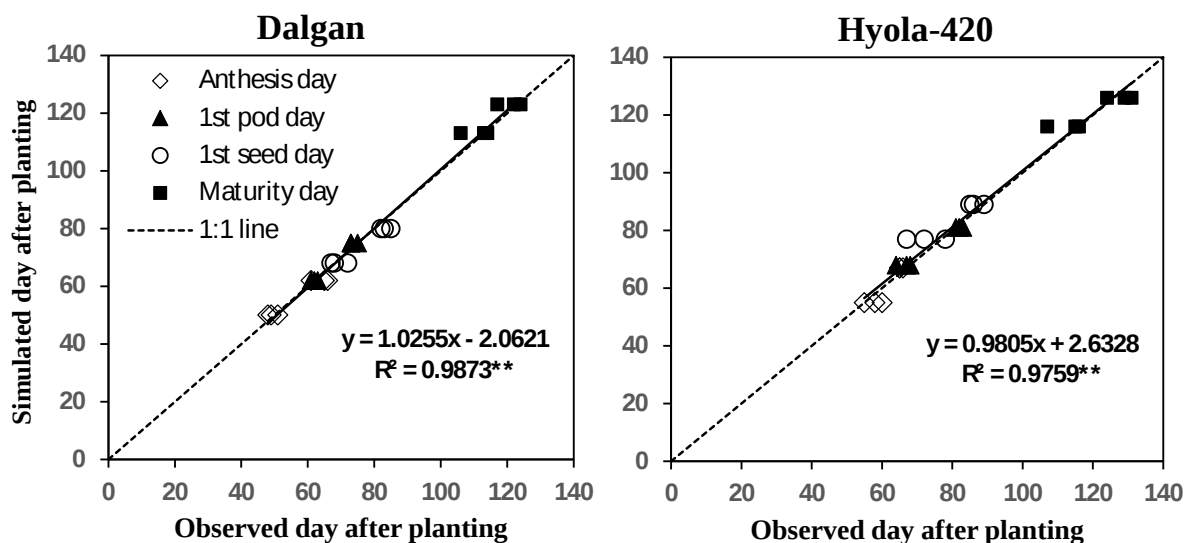
با تغییر پارامترهای SIZLF و SLAVR سعی شد تا مقادیر شبیه‌سازی شده شاخص سطح برگ به نقاط اندازه‌گیری شده نزدیک شده و حداقل RMSE و شاخص‌های آماری مطلوبی به‌دست آید (جدول ۲). شکل ۲ روند شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده در مقابل نقاط مشاهده‌ای ارقام دلگان و هایولا ۴۲۰ در تیمارهای مختلف تاریخ کاشت و سطوح کودی نیتروژن در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ را نشان می‌دهد. این مدل توانست LAI را تا مرحله تشکیل خورجین در تیمارهای مختلف شبیه‌سازی کند.

گل‌دهی بوده است. مدل در شبیه‌سازی شروع خورجین‌دهی، شروع تشکیل دانه و رسیدگی فیزیولوژیک نیز موفق بوده است، به‌طوری‌که برای رقم دلگان RMSE کمتر از چهار روز و برای رقم هایولا کمتر از پنج روز بود. همچنین سایر شاخص‌های آماری نیز دقت واسنجی مراحل نمو را تأیید می‌کنند (جدول ۴). همچنین نتایج آزمون t مربوط به مقایسه خط رگرسیون برازش داده شده با خط ۱:۱ برای مراحل نمو ارقام دلگان و هایولا ۴۲۰ نشان داد که شیب و عرض از مبدأ خط رگرسیون برازشی با خط ۱:۱ اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۵).

جدول ۴- نتایج واسنجی مدل برای شبیه‌سازی مراحل فنولوژیک، عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک کل و شاخص سطح برگ دو رقم کلزا
Table 4- Results of model calibration to simulate phenological stages, grain yield, total dry matter, and leaf area index of two canola cultivars

صفات Variable	n	دلگان Dalgan				هایولا ۴۲۰ Hyola-420			
		مجذور میانگین	مجذور میانگین مربعات خطا نرمال شده	d	R ² (1:1)	مجذور میانگین	مجذور میانگین مربعات خطا نرمال شده	d	R ² (1:1)
		RMSE	nRMSE (%)			RMSE	nRMSE (%)		
شروع گل‌دهی Anthesis day	6	2.31	4.05	0.97	0.94**	2.68	4.32	0.93	0.87**
شروع خورجین‌دهی 1 st pod day	6	1.29	1.90	0.99	0.98**	1.91	2.59	0.98	0.97**
شروع تشکیل دانه 1 st seed day	6	3.03	3.98	0.95	0.94**	5.02	6.27	0.87	0.82**
رسیدگی فیزیولوژیک Maturity day	6	3.83	3.30	0.87	0.70**	4.47	3.73	0.88	0.82**
شاخص سطح برگ* LAI	42	0.34	26.95	0.93	0.77**	0.50	32.22	0.93	0.75**
ماده خشک کل Total dry matter (kg.ha ⁻¹)	57	1086	19.43	0.98	0.92**	1224	25.59	0.97	0.95**
تعداد دانه در مترمربع Number of seed (#/m ²)	6	5980	9.85	0.99	0.97**	14130	34.33	0.89	0.80**
عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)	6	140	8.61	0.99	0.97**	241	23.37	0.95	0.88**

*: شاخص سطح برگ از ابتدای دوره رشد تا مرحله خورجین‌دهی (هفت مرحله)
*: LAI from the beginning to the pod formation (7 stages)



شکل ۱- شروع گل‌دهی، شروع خورجین‌دهی، شروع تشکیل دانه و رسیدگی فیزیولوژیک شبیه‌سازی شده در مقابل مقادیر مشاهده‌ای ارقام دلگان و هایولا ۴۲۰ در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵

Fig. 1- Anthesis day, 1st pod day, 1st seed day, and physiological maturity day: simulated values vs. observed values. Dalgan (left) and Hyola-420 (right) cultivars in 2017

تعداد نقاط در هر مرحله شش عدد که مربوط به سه سطح کود در دو تاریخ کاشت می‌باشند. رگرسیون برازش داده شده بین داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده (خط مماس) در مقایسه با خط ۱:۱ (خط منقطع) در شکل نشان داده شده است.

The number of points in each stage is 6, which are related to the three levels of fertilizer on two different planting dates. The fitted regression line for observed vs. predicted data (solid line) is compared with the 1:1 line (dotted line).

جدول ۵- نتایج آزمون t برای مقایسه شیب و عرض از مبدأ خط ۱:۱ با معادله رگرسیونی برازش داده شده با داده‌های مرحله واسنجی

Table 5- Results of the t-test for comparing slope (b) and intercept (a) of the 1:1 line against the fitted linear regression by calibration data

صفات Variable	پارامتر Parameter	مقدار Value	خطای استاندارد Standard error	t	فرض صفر H0
مراحل نمو Phenological stages					
دلگان Dalgan	عرض از مبدأ Intercept (a)	-2.062	2.043	1.009	قبول Accepted
	شیب Slope (b)	1.026	0.025	1.031	قبول Accepted
هایولا ۴۲۰ Hyola-420	عرض از مبدأ Intercept (a)	2.633	2.858	0.921	قبول Accepted
	شیب Slope (b)	0.981	0.033	0.593	قبول Accepted
تعداد دانه Seed numbers	عرض از مبدأ Intercept (a)	-1274	7486	0.170	قبول Accepted
	شیب Slope (b)	1.064	0.132	0.490	قبول Accepted
عملکرد دانه Seed yield	عرض از مبدأ Intercept (a)	26.91	125.2	0.215	قبول Accepted
	شیب Slope (b)	1.005	0.082	0.059	قبول Accepted
شاخص سطح برگ* LAI	عرض از مبدأ Intercept (a)	0.084	0.092	0.911	قبول Accepted
	شیب Slope (b)	0.900	0.056	1.770	قبول Accepted

*: داده‌ها مربوط به شاخص سطح برگ از ابتدای دوره رشد تا مرحله خورجین‌دهی (هفت مرحله) بوده است.

*: LAI data is from the beginning of growth to the pod formation (7 stages).

ماده خشک کل

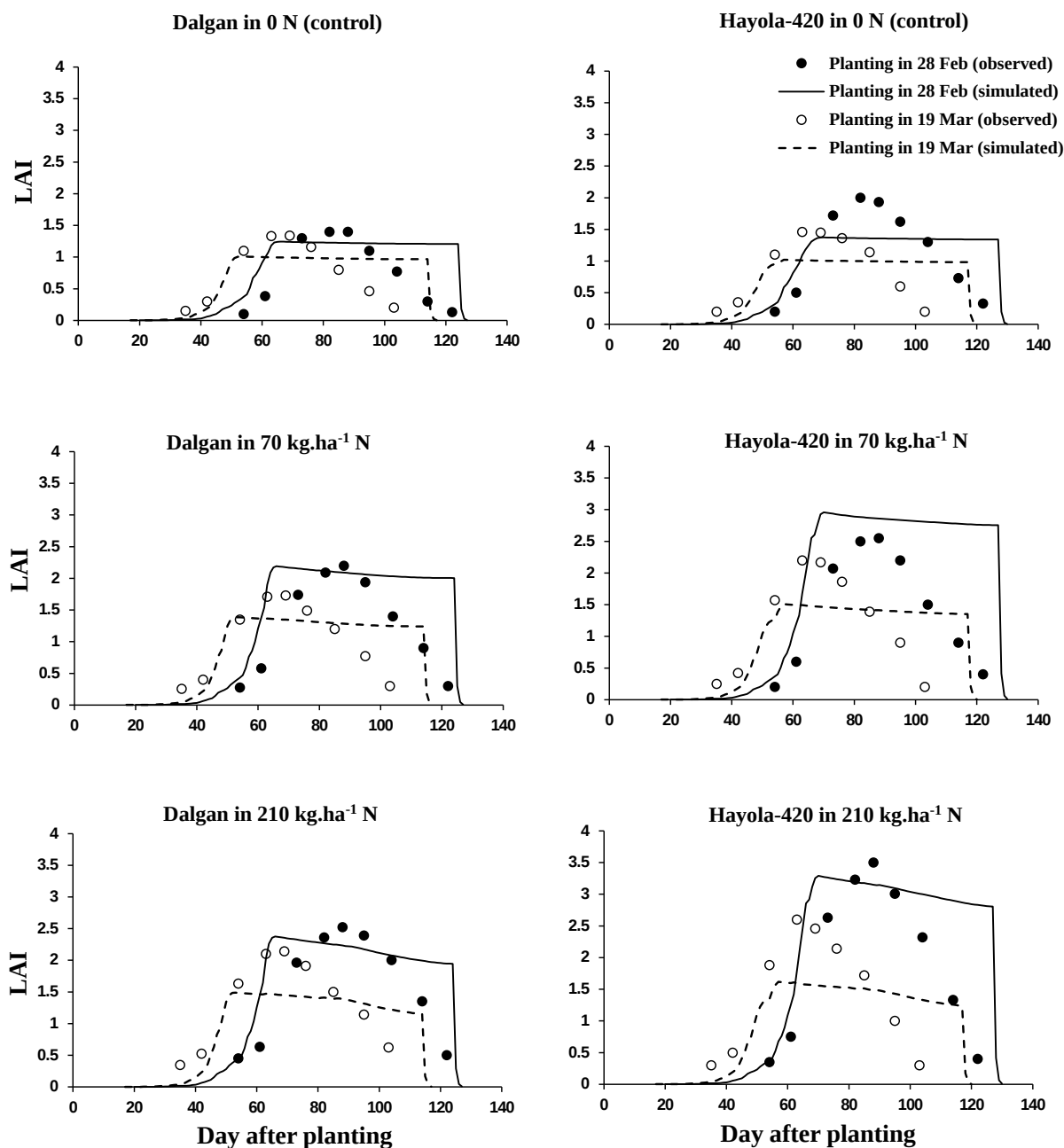
پس از کالیبره شدن مدل برای پارامترهای مربوط به مراحل نمو و LAI، پارامترهای مربوط به ماده خشک کل کالیبره شدند تا فاصله بین زیست توده شبیه سازی شده و اندازه گیری شده به حداقل برسد (شکل ۳). معیارهای ارزیابی مدل (جدول ۲) شبیه سازی قابل قبول مدل با توجه به روند تجمع زیست توده کلزا را نشان داده است. شبیه سازی ماده خشک کل با nRMSE بسیار کمتری (۱۹/۴۳ درصد برای رقم دلگان و ۲۵/۵۹ درصد برای رقم هایولا ۴۲۰) نسبت به مطالعه (Deligios et al., 2013) داشت که nRMSE را ۴۱ درصد گزارش کرده است. بنابراین، نتایج نشان دهنده موفقیت مدل در شبیه سازی ماده خشک کل است (جدول ۲).

تعداد دانه در مترمربع و عملکرد دانه

پارامترهای مربوط به مدت زمان پرشدن بذر (SFDUR) و تعداد دانه در غلاف (SDPDV) نسبت به مقادیر پیش فرض مدل تغییر کردند تا تعداد دانه در مترمربع و عملکرد دانه شبیه سازی شده به مقادیر اندازه گیری شده آزمایش سال اول به عنوان داده های کالیبراسیون نزدیک شوند (جدول ۱). در تیمارهای مختلف تاریخ کاشت و کود نیتروژن، تعداد دانه در مترمربع و عملکرد دانه شبیه سازی شده نزدیک به مقدار اندازه گیری شده بود (شکل ۴). در رقم دلگان تیمارهای بدون کود، تعداد دانه در مترمربع شبیه سازی شده کمتر برآورد شد و همچنین مدل در تیمارهای کودی ۲۱۰ کیلوگرم در هکتار رقم هایولا ۴۲۰ تعداد دانه در مترمربع بیش برآورد کرد (شکل ۴). معیارهای ارزیابی مدل برای عملکرد دانه نشان داد که RMSE، nRMSE و R^2 برای رقم دلگان به ترتیب ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار، ۸/۶۱ درصد، ۰/۹۹ و ۰/۹۷** و برای رقم هایولا ۴۲۰ به ترتیب ۲۴۱ کیلوگرم در هکتار، ۲۳/۳۷ درصد، ۰/۹۵ و ۰/۸۸** بود که نشان دهنده دقت بالای واسنجی مدل است (جدول ۲). این نتایج قابل مقایسه با نتایج سایر محققین در ارتباط با شبیه سازی کلزا بود (Jing et al., 2016; Deligios et al., 2013). همچنین نتایج آزمون t مربوط به مقایسه خط رگرسیون برازش داده شده با خط ۱:۱ برای تعداد دانه در مترمربع و عملکرد دانه نشان داد که شیب و عرض از مبدأ خط رگرسیون برازشی با خط ۱:۱ اختلاف معنی داری ندارد (جدول ۵).

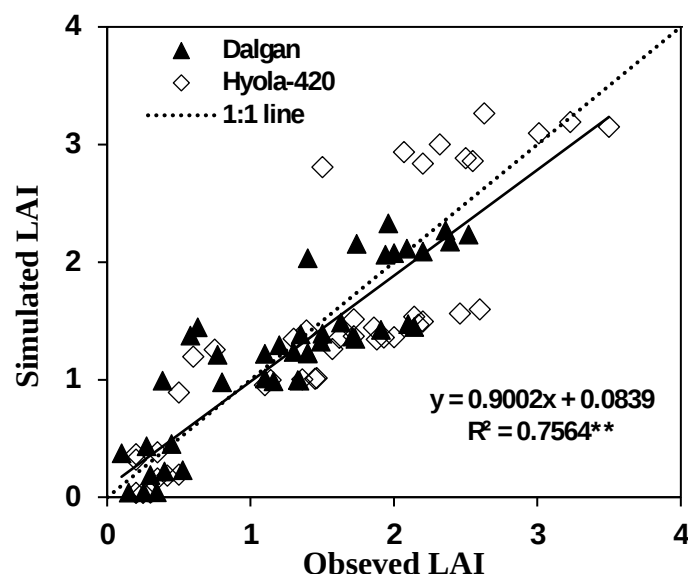
اما در دوره پایانی رشد کلزا LAI شبیه سازی شده بیشتر از مقادیر اندازه گیری LAI حداکثر بود. به عنوان مثال، مقدار LAI اندازه گیری شده بسیار کمتر از LAI شبیه سازی شده در ۱۲۰ روز پس از کاشت بود. در این مدل، LAI شبیه سازی شده به جای LAI اندازه گیری، از الگوی شاخص سطح سبز گیاه (PAI) پیروی می کند. این موضوع را می توان با ویژگی ویژه بیوفیزیکی گیاه کلزا که قبل از رسیدگی فیزیولوژیک، ریزش برگ ها اتفاق افتاده ولی غلاف های سبز منبع اصلی فتوسنتز هستند، توضیح داد (Gammelvind et al., 1996). در نسخه فعلی مدل CSM-CROPGRO-Canola در DSSAT v4.6، توابع جذب نور و فتوسنتز غلاف مشخص نشده است، اگرچه یک مدل CROPGRO اختصاصی برای شبیه سازی سطح برگ و سطح غلاف ها برای سویا ایجاد شده است (Timsina et al., 2007). این مدل در اواخر فصل رشد، از غلاف ها برای جذب نور و فتوسنتز برای رشد را استفاده می کند. بنابراین، برآورد بیش از حد LAI از شروع غلاف دهی کلزا اتفاق افتاده است (Jing et al., 2016). با این حال، با مقایسه شاخص سطح برگ شبیه سازی شده با مقادیر مشاهده ای در ارقام از ابتدای رشد تا شروع تشکیل خورجین نشان از دقت قابل قبول مدل در شبیه سازی LAI تا مرحله تشکیل خورجین بود (شکل ۳). به طوری که مقادیر nRMSE و R^2 برای رقم دلگان به ترتیب ۲۶/۹۵ درصد، ۰/۹۳ و ۰/۷۷** و برای رقم هایولا ۴۲۰ به ترتیب ۳۲/۲۲ درصد، ۰/۹۳ و ۰/۷۵** به دست آمد (جدول ۴). همچنین نتایج آزمون t مربوط به مقایسه شیب و عرض از مبدأ خط رگرسیون برازش داده شده با خط ۱:۱ نشان داد که از لحاظ آماری تفاوت معنی داری با هم نداشتند (جدول ۵).

PAI و LAI برای محاسبه جذب نور و فتوسنتز در بعضی از مدل های محصول که برای شبیه سازی کلزا مانند CERES-Rape (Gabrielle et al., 1998) و LINTUL-BRASNAP (Robertson et al., 1997) و APSIM-Canola (Habekotté, 1999) لحاظ شده اند. به طور کلی، در این مدل های کلزا، ضریب خاموشی و کارایی مصرف نور در خورجین ها کمتر از برگ ها بود، که این مطلب در آزمایش های واقعی نیز به اثبات رسیده است (Gammelvind et al., 1996). در مدل فعلی CSM-CROPGRO-Canola، رشد خورجین ها شبیه سازی شده بودند، اما توابع جذب و استفاده از نور مشخص نشده اند (Jing et al., 2016).



شکل ۲- شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده در مقابل مقادیر مشاهده‌ای ارقام دلگان و هایولا ۴۲۰ در تیمارهای مختلف تاریخ کاشت و سطوح کودی نیتروژن در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶

Fig. 2- Trend of leaf area index simulated against the observed values of Dalgan and Hyola-420 cultivars in various treatments of planting dates and nitrogen fertilizer levels in 2017



شکل ۳- شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده در مقابل مقادیر مشاهده‌ای ارقام دلگان و هایولا ۴۲۰ در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶

Fig. 3- Simulated LAI vs. observed values of Dalgan and Hyola-420 cultivars in 2017

تعداد نقاط در هر رقم ۴۲ عدد که مربوط به سه سطح کود در دو تاریخ کاشت در ۷ مرحله رشدی از کاشت تا شروع تشکیل خورجین می‌باشند. رگرسیون برازش داده شده بین داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده (خط ممند) در مقایسه با خط ۱:۱ (خط منقطع) در شکل نشان داده شده است.

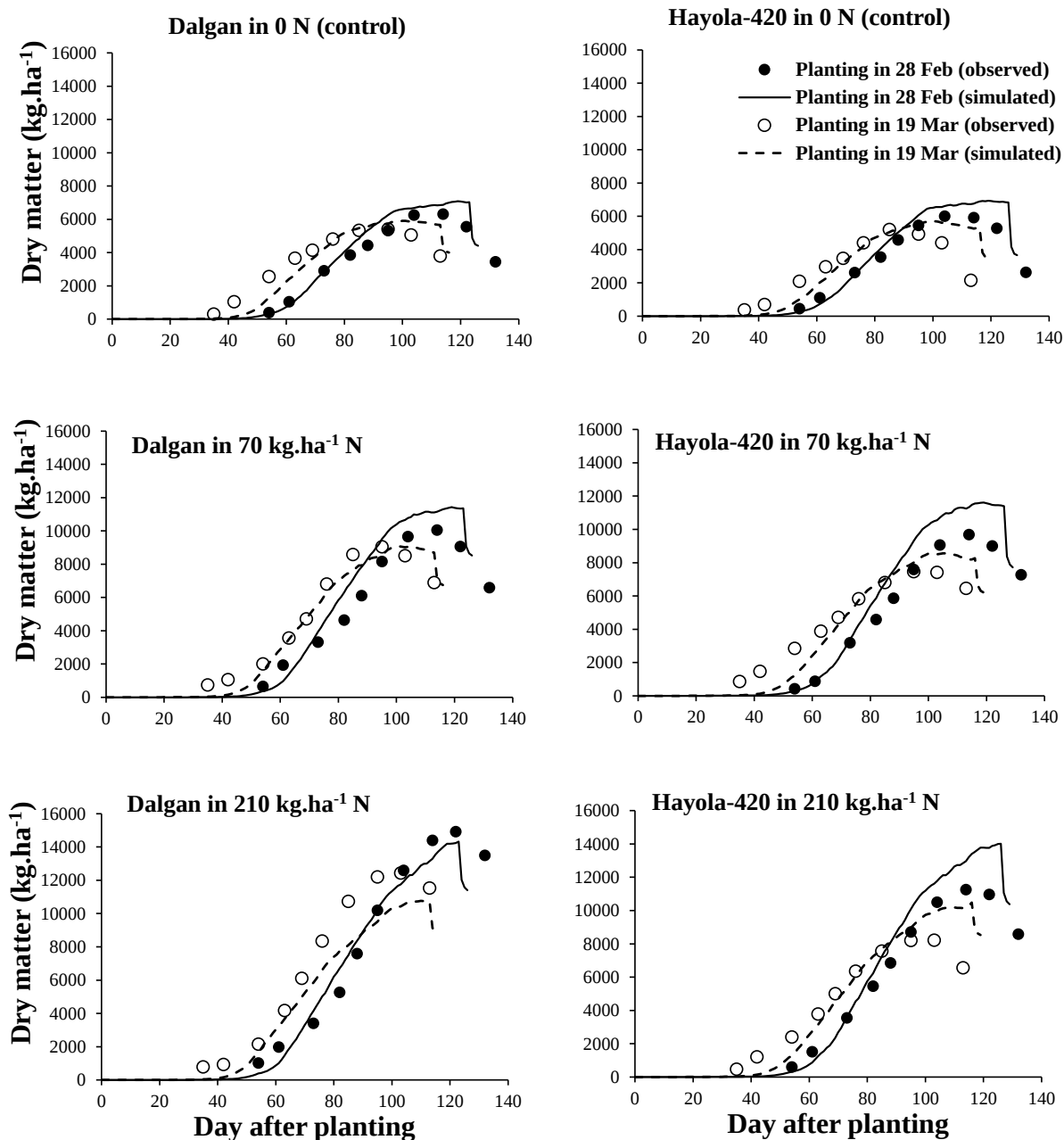
The number of points in each cultivar is 42, which corresponds to three levels of N fertilizer on two planting dates during seven growth stages from cultivation to pod formation. Fitted regression among observed and predicted data (solid line) vs. the 1:1 line (dotted line) is shown in the figure.

(et al., 2006).

نتایج اعتبارسنجی مدل برای شبیه‌سازی شاخص سطح برگ ارقام دلگان و هایولا ۴۲۰ در تیمارهای مختلف تاریخ کاشت و سطوح کودی نیتروژن نشان داد که این مدل تا حد بسیار خوبی توانسته LAI را در طول فصل رشد تا مرحله تشکیل خورجین شبیه‌سازی کند (شکل ۷). اما در اواخر دوره رشد کلزا LAI شبیه‌سازی شده بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری LAI حداکثر بود. همان‌طور که قبلاً ذکر شد در این مدل شاخص سطح سبز گیاه را متناسب با تعداد غلاف‌ها در نظر گرفته با LAI تلفیق می‌کند. بنابراین بهتر است شاخص سبز گیاه را در آزمایش‌ها، اندازه‌گیری و به‌عنوان داده‌های اندازه‌گیری شاخص سطح برگ مدل را ارزیابی کرد (Jing et al., 2016). با این حال مقدار d , $nRMSE$ و R^2 برای رقم دلگان به‌ترتیب ۲۴/۸۸ درصد، ۰/۹۲ و ۰/۷۴** و برای رقم هایولا ۴۲۰ به‌ترتیب ۲۲/۷۲ درصد، ۰/۹۵ و ۰/۸۱** بود که با توجه موارد ذکر شده نتایج این مدل در شبیه‌سازی LAI تا مرحله تشکیل خورجین در تیمارهای مختلف تاریخ کاشت و کود نیتروژن قابل قبول بوده است (جدول ۶).

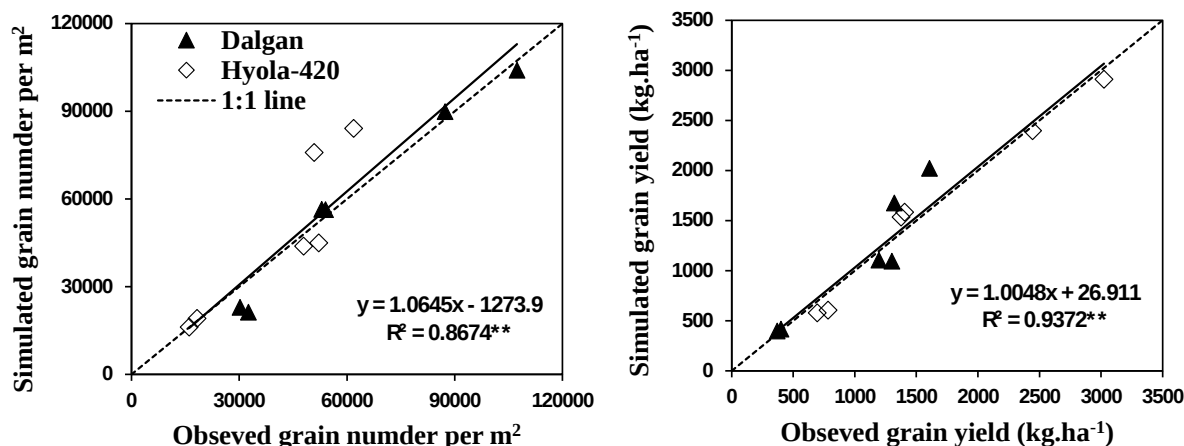
اعتبارسنجی مدل: برای تعیین اعتبار مدل از مجموعه‌ای از

داده‌های آزمایش سال دوم که در برآورد ضرایب ژنتیکی مدل در مرحله واسنجی به کار نرفته بودند، استفاده شد. نتایج اعتبارسنجی طول دوره کاشت تا گل‌دهی ارقام در شکل ۶ نشان داده شده است. مقادیر RMSE کوچک‌تر از سه روز نشان از دقت بالای واسنجی مدل دارد (جدول ۶). این دقت بالا در مورد مرحله فنولوژیکی شروع خورجین‌دهی، شروع تشکیل دانه و کاشت تا رسیدگی هر دو رقم کلزا نیز مشاهده شد (شکل ۶). معیارهای آماری نشان از توانایی مدل در شبیه‌سازی صفات فنولوژیکی ارقام کلزا در تیمارهای مختلف تاریخ کاشت و کود نیتروژن می‌باشد (جدول ۶). همچنین شیب و عرض از مبدأ خط رگرسیون برازش داده شده مراحل نموی ارقام دگان و هایولا از طریق آزمون t اختلاف معنی‌داری با خط ۱:۱ نشان نداد (جدول ۷). پیش‌بینی نمو فنولوژیک یا مراحل نموی 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 فرایندها به پیش‌بینی نمو فنولوژیک وابسته باشند (Soltani



شکل ۴- روند تجمع ماده خشک شبیه‌سازی شده در مقابل مقادیر مشاهده‌ای ارقام دلگان و هایولا ۴۲۰ در تیمارهای مختلف تاریخ کاشت و سطوح کودی نیتروژن در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶

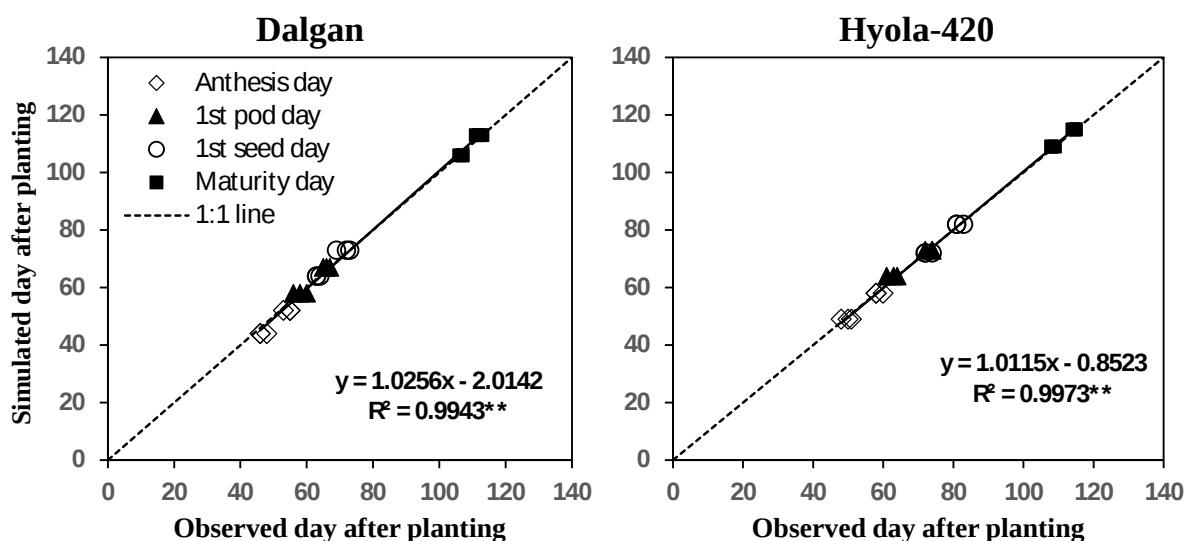
Figure 4- Accumulation of simulated dry matter vs. the observed values of Dalgan and Hyola-420 cultivars in various treatments of planting dates and nitrogen fertilizer levels in 2017



شکل ۵- تعداد دانه در مترمربع و عملکرد دانه شبیه‌سازی شده در مقابل مقادیر مشاهده‌ای ارقام دلگان و هایولا ۴۲۰ در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶
Fig. 5- Simulated number of grains per square meter (left) and simulated seed yield (right) vs. respective observed values of Dalgan and Hyola-420 cultivars in 2017

تعداد نقاط هر صفت ۶ عدد که مربوط به سه سطح کود نیتروژن در دو تاریخ کاشت می‌باشند. رگرسیون برازش داده شده بین داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده (خط ممند) در مقایسه با خط ۱:۱ (خط منقطع) در شکل نشان داده شده است.

The number of points for each trail is 6, which corresponds to the three levels of N fertilizer on two planting dates. Fitted regression among observed and predicted data (solid line) against the 1:1 line (dotted line) is shown in the figure.



شکل ۶- شروع گل‌دهی، شروع خورجین‌دهی، شروع تشکیل دانه و رسیدگی فیزیولوژیک شبیه‌سازی شده در مقابل مقادیر مشاهده‌ای ارقام دلگان و هایولا ۴۲۰ در سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷

Fig. 6- Anthesis day, 1st pod day, 1st seed day, and physiological maturity day simulated against observed values of Dalgan and Hyola-420 cultivars in 2018

تعداد نقاط در هر مرحله ۶ عدد که مربوط به سه سطح کود نیتروژن در دو تاریخ کاشت می‌باشند. رگرسیون برازش داده شده بین داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده (خط ممند) در مقایسه با خط ۱:۱ (خط منقطع) در شکل نشان داده شده است.

The number of points in each stage is 6, which relates to the three levels of fertilizer on two planting dates. Fitted regression among observed and predicted data (solid line) against the 1:1 line (dotted line) is shown.

جدول ۶- نتایج اعتبارسنجی مدل برای شبیه‌سازی مراحل فنولوژیک، عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک کل و شاخص سطح برگ دو رقم کلزا
Table 6- Results of model evaluation to simulate phenological stages, seed yield, total dry matter yield, and leaf area index of two canola cultivars

صفات Variable	n	دلگان Dalgan				هایولا ۴۲۰ Hyola-420			
		مجذور میانگین	مجذور میانگین مربعات خطای	d	R ² (1:1)	مجذور میانگین	مجذور میانگین مربعات خطای	d	R ² (1:1)
		مربعات خطا RMSE	نرمال شده nRMSE (%)			مربعات خطا RMSE	نرمال شده nRMSE (%)		
شروع گل‌دهی Anthesis day	6	2.68	5.35	0.89	0.94**	1.29	2.39	0.98	0.94**
شروع خورجین‌دهی 1 st pod day	6	1.47	2.37	0.97	0.91**	1.47	2.16	0.98	0.96**
شروع تشکیل دانه 1 st seed day	6	1.78	2.66	0.96	0.91**	1.08	1.40	0.99	0.96**
رسیدگی فیزیولوژیک Maturity day	6	1.08	0.99	0.97	0.94**	0.71	0.63	0.99	0.98**
شاخص سطح برگ* LAI*	42	0.38	24.88	0.92	0.74**	0.36	22.72	0.95	0.82**
ماده خشک کل Total dry matter (kg.ha ⁻¹)	57	1285	24.97	0.97	0.91**	1150	22.73	0.98	0.94**
تعداد دانه در مترمربع Number of seed (#/m ²)	6	13043	14.97	0.98	0.91**	10294	15.37	0.98	0.90**
عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)	6	395	16.98	0.97	0.89**	265	16.25	0.97	0.91**

*: داده‌ها مربوط به شاخص سطح برگ از ابتدای دوره رشد تا مرحله خورجین‌دهی (هفت مرحله) بوده است.

*: Data belonged to LAI from the beginning to the pod formation (7 stages).

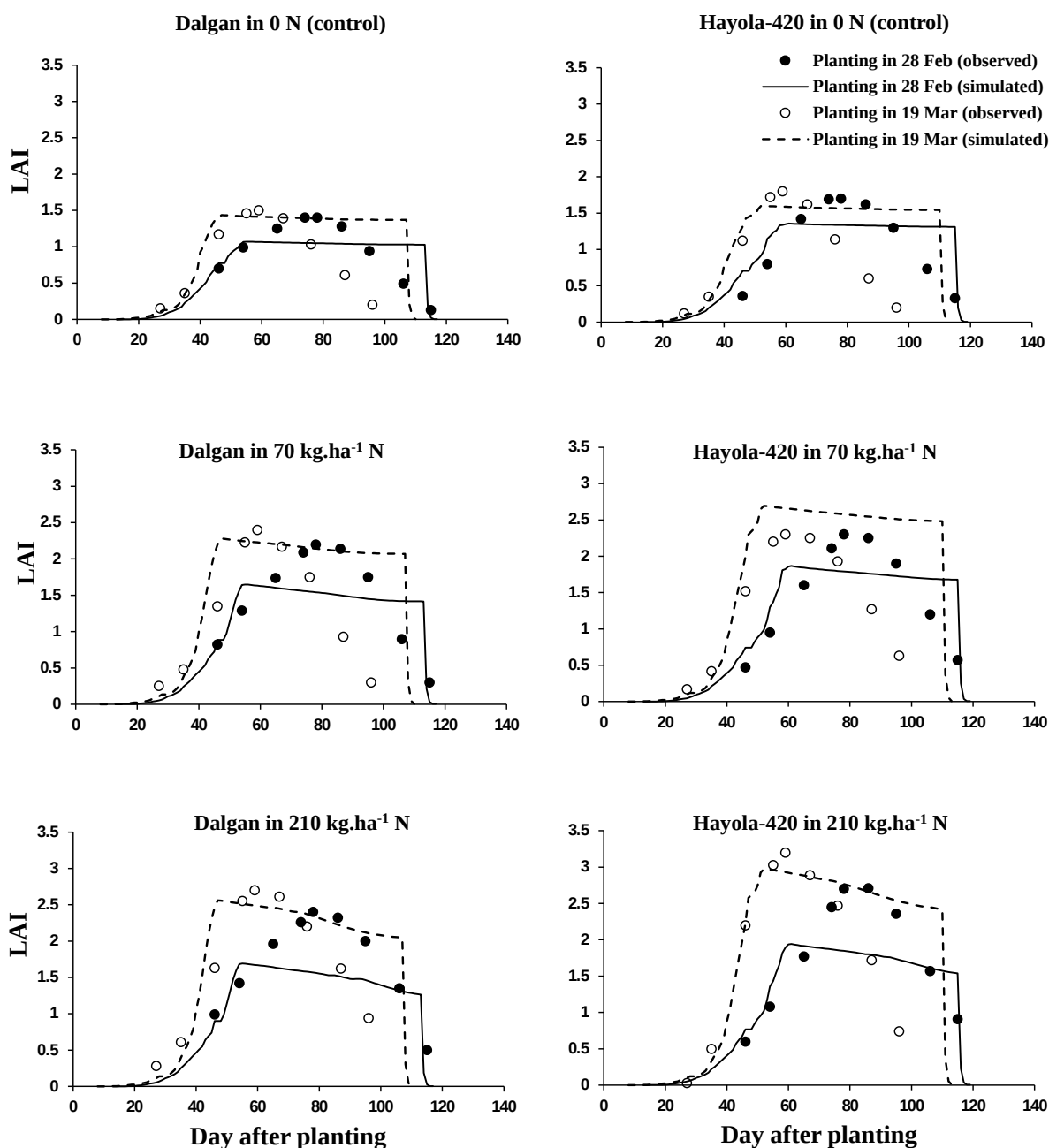
شبیه‌سازی شده در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده نزدیک به خط ۱:۱ هستند و این یعنی مدل به‌خوبی واسنجی شده و می‌توان با آن عملکرد را در سال‌های مختلف با دقت خوبی شبیه‌سازی کرد. همچنین نتایج آزمون t مربوط به مقایسه خط رگرسیون برازش داده شده با خط ۱:۱ برای تعداد دانه در مترمربع و عملکرد دانه نشان داد که شیب و عرض از مبدأ خط رگرسیون برازشی با خط ۱:۱ اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۷). میزان RMSE ۳۹۵ و ۲۶۵ کیلوگرم در هکتار، d ۰/۹۷ و R² ۰/۸۹** و ۰/۹۱** به‌ترتیب برای رقم دلگان و هایولا ۴۲۰ دقت مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه را تأیید می‌کند (جدول ۶). همچنین مقادیر RMSE، d و R² برای تعداد دانه در

نتایج اعتبارسنجی روند ماده خشک کل شبیه‌سازی شده نشان داد که مدل به‌خوبی توانسته در تاریخ‌های مختلف کاشت و همچنین سطوح مختلف کود نیتروژن ماده خشک کل را شبیه‌سازی کند (شکل ۸). به‌طور کلی، میزان RMSE، d و R² برای رقم دلگان به‌ترتیب ۲۴/۹۷ درصد، ۰/۹۷ و ۰/۹۱** و برای رقم هایولا ۴۲۰ به‌ترتیب ۲۲/۷۳ درصد، ۰/۹۸ و ۰/۹۴** بود که نشان‌دهنده دقت مدل در شبیه‌سازی ماده خشک کل است (جدول ۶).

اعتبارسنجی مدل برای شبیه‌سازی تعداد دانه در مترمربع و عملکرد دانه دو رقم کلزا در تاریخ کاشت‌های مختلف و سطوح مختلف کود نیتروژن در شکل ۹ نشان داده شده است که نقاط

گندم در مناطق مختلف اقلیمی ایران بررسی شده بود، نشان داد که مقدار nRMSE و d به ترتیب کمتر از ۲۰ درصد و بالاتر از ۰/۸ بوده است که با نتایج این هماهنگ است (Fallah et al., 2021).

مترمربع به ترتیب ۱۴/۹۷، ۰/۹۸ و ۰/۹۱** برای رقم دلگان و ۱۵/۳۷، ۰/۹۸ و ۰/۹۰** برای رقم هایولا ۴۲۰ بود که نشان دهنده دقت بالای مدل و واسنجی مناسب آن می باشد (جدول ۶). نتایج اعتبارسنجی مدل DSSAT-Nwheat نیز که برای شبیه سازی عملکرد دانه ارقام



شکل ۷- شاخص سطح برگ شبیه سازی شده در مقابل مقادیر مشاهده ای ارقام دلگان و هایولا ۴۲۰ در تیمارهای مختلف تاریخ کاشت و سطوح کودی نیتروژن در سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷

Fig. 7- Simulated leaf area index vs. the observed values of Dalgan and Hyola-420 cultivars in different treatments of planting dates and nitrogen fertilizer levels in 2018

جدول ۷- نتایج آزمون t برای مقایسه شیب و عرض از مبدأ خط ۱:۱ با معادله رگرسیونی برازش داده شده با داده‌های اعتبارسنجی
Table 7. Results of the t-test for comparing slope (b) and intercept (a) of the 1:1 line against the fitted linear regression by evaluation data

صفات Variable	پارامتر Parameter	مقدار Value	خطای استاندارد Standard error	t	فرض صفر H0
مراحل نمو Phenological stages					
دلگان Dalgan	عرض از مبدأ Intercept (a)	-2.014	1.251	1.610	قبول Accepted
	شیب Slope (b)	1.026	0.017	1.547	قبول Accepted
هایولا ۴۲۰ Hyola-420	عرض از مبدأ Intercept (a)	-0.852	0.910	0.937	قبول Accepted
	شیب (b) Slope (b)	1.012	0.011	1.020	قبول Accepted
تعداد دانه Seed number	عرض از مبدأ Intercept (a)	279	8375	0.033	قبول Accepted
	شیب Slope (b)	0.984	0.098	0.162	قبول Accepted
عملکرد دانه Seed yield	عرض از مبدأ Intercept (a)	61.19	212.7	0.288	قبول Accepted
	شیب Slope (b)	0.936	0.094	0.676	قبول Accepted

می‌توان نتیجه گرفت که شبیه‌سازی کلزا با استفاده از مدل CSM-CROPGRO-Canola رضایت‌بخش بوده است و نشان‌دهنده برآورد صحیح پارامترهای مدل و تصدیق‌کننده کارایی مدل در پیش‌بینی مراحل نمو و صفات مربوط به رشد و عملکرد ارقام کلزا می‌باشد. بدین ترتیب، این مدل می‌تواند برای ارزیابی تأثیرات مختلف مدیریت زراعی و تصمیم‌گیری در نظام‌های کشت کلزا مورد استفاده قرار گیرد.

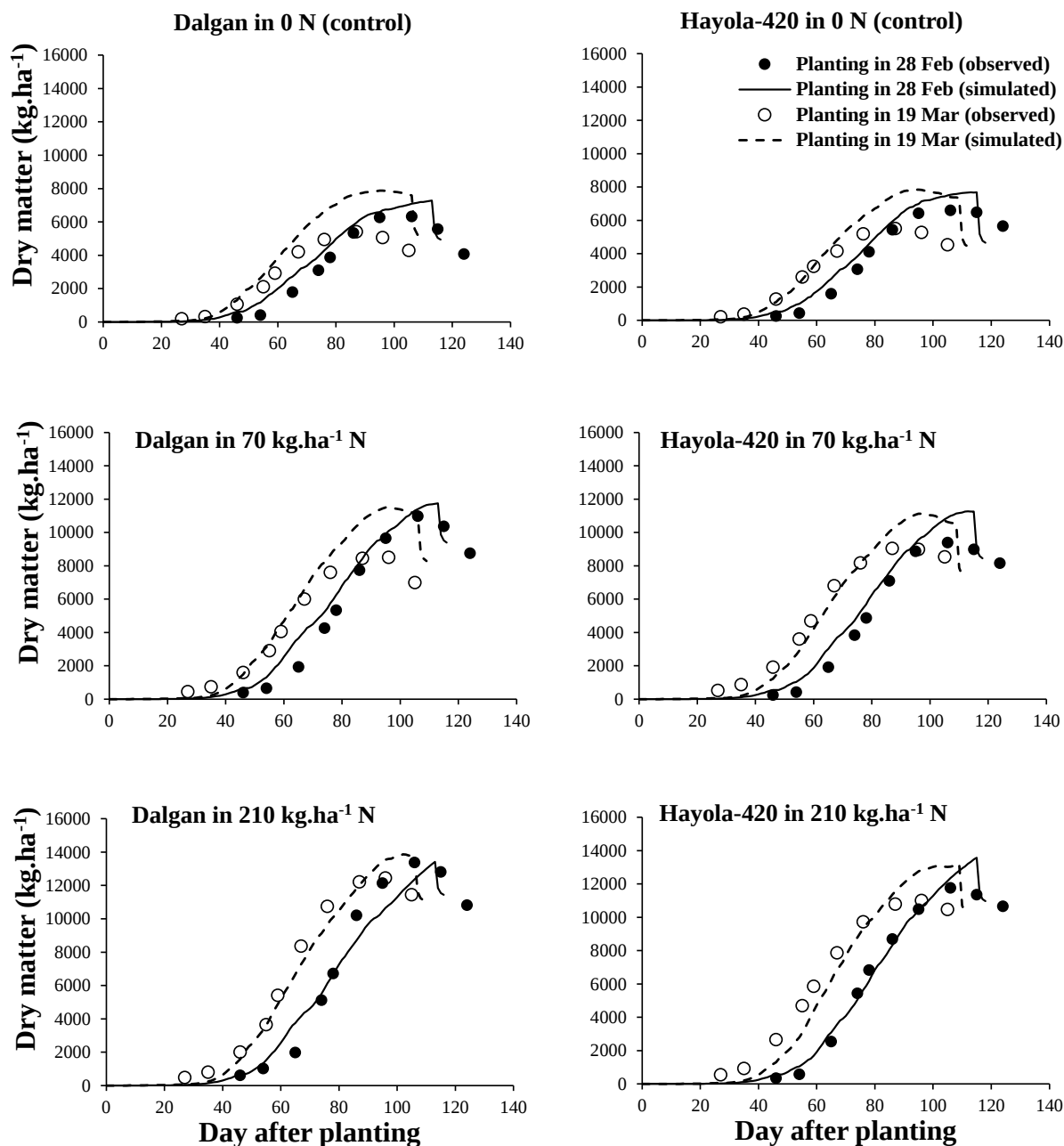
تعیین تاریخ کاشت بهینه کلزای بهاره در منطقه

یکی از کاربردهای مدل پس از اعتبارسنجی تعیین بهترین مدیریت مزرعه جهت حصول بالاترین عملکرد با استفاده از ابزار آنالیز فصلی DSSAT است. در اینجا ۱۰ تاریخ کاشت فرضی از ۱۰ بهمن تا ۱۰ اردیبهشت به فاصله ۱۰ روز تعریف شد و مدل برای هر دو رقم با داده‌های ۳۰ ساله (۱۳۹۷-۱۳۶۸) منطقه کرج اجرا و میزان عملکرد دانه شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که با تأخیر در کاشت عملکرد دانه ارقام کلزا کاهش می‌یابد که این کاهش عملکرد از تاریخ ۲۰ اسفند به بعد شدیدتر خواهد بود (شکل ۱۱). بنابراین، در این منطقه با توجه اقلیم بلندمدت بایستی حداکثر تا ۲۰ اسفند عملیات کاشت کلزای بهاره انجام شود. همچنین نتایج نشان داد که رقم دلگان به‌خصوص در تاریخ کاشت‌های زود هنگام از عملکرد بیشتری

برای آنکه دقت مدل در ارزیابی با قاطعیت بیشتری اعلام شود، تمام نقاط مربوط به آزمایشات تیمارهای کودی و تاریخ کاشت در دو سال با هم ادغام و یک شکل نهایی برای دو رقم کلزا ترسیم گردید (شکل ۱۰). نتایج ارزیابی کلی مدل براساس مقایسه هم‌زمان مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده صفات مربوط به مراحل نمو، شاخص سطح برگ حداکثر، ماده خشک کل، تعداد دانه در مترمربع و عملکرد دانه نشان داد که مدل به‌خوبی توانسته این صفات را در تیمارهای مختلف تاریخ کاشت و کود نیتروژن در دو سال آزمایش شبیه‌سازی کند. شاخص‌های آماری d ، $nRMSE$ و R^2 برای رقم دلگان به ترتیب ۱۰/۲۸ درصد، ۰/۹۹ و ۰/۹۷** و برای رقم هایولا ۴۲۰ به ترتیب ۱۰/۵۴، ۰/۹۹ و ۰/۹۷** بود که نتایج این ارزیابی را تأیید می‌کند (شکل ۱۰). معمولاً برای مدل‌ها مقدار $nRMSE$ کمتر از ۲۰ درصد دقت بالای مدل را نشان می‌دهد (Hammer et al., 2010; Fallah et al., 2021). همچنین مقدار شیب و عرض از مبدأ خط رگرسیون برازش داده شده برای ارقام دگان و هایولا از طریق آزمون t اختلاف معنی‌داری با خط ۱:۱ نشان نداد (جدول ۸). نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد کلزا با نتایج گزارش شده توسط سایر محققین (Amiri et al., 2018; Rahban et al., 2021a) هم‌خوانی داشت. بنابراین،

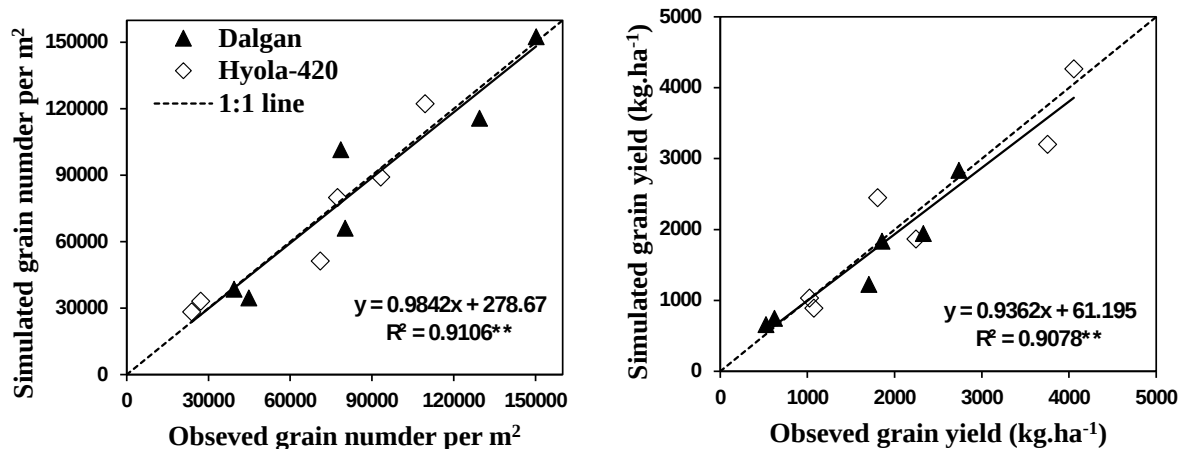
طیفی از داده‌های اقلیمی اهمیت زیادی پیدا کرده است (Amiri, Deihimfard et al., 20152018).

نسبت به رقم هایولا ۴۲۰ برخوردار خواهد بود (شکل ۱۱). استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی در تجزیه و تحلیل نظام‌های زراعی در واکنش به عملیات مدیریتی و تحت شرایط متغیر محیطی با وجود دسترسی به



شکل ۸- روند تجمع ماده خشک شبیه‌سازی شده در مقابل مقادیر مشاهده‌ای ارقام دلگان و هایولا ۴۲۰ در تیمارهای مختلف تاریخ کاشت و سطوح کودی نیتروژن در سال زراعی ۱۳۹۶-۹۷

Fig. 8- Trend of simulated dry matter accumulation vs. the observed values of Dalgan and Hyola-420 cultivars in different treatments of planting dates and nitrogen fertilizer levels in 2018

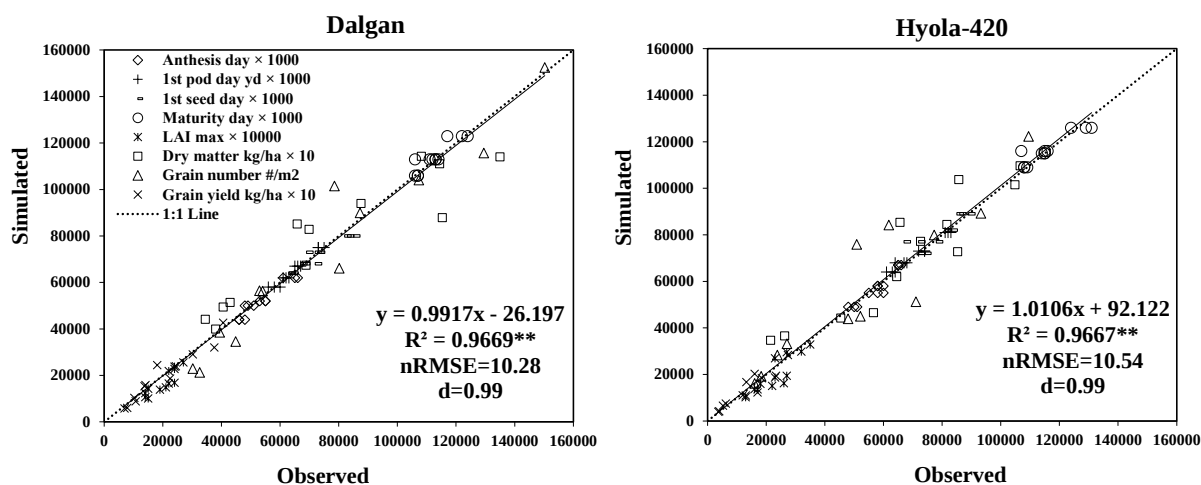


شکل ۹- تعداد دانه در مترمربع و عملکرد دانه شبیه‌سازی شده در مقابل مقادیر مشاهده‌ای ارقام دلگان و هایولا ۴۲۰ در سال ۱۳۹۶-۹۷

Fig. 9- Simulated number of seeds per square meter and simulated seed yield vs. respective observed values of Dalgan and Hyola-420 cultivars in 2018

تعداد نقاط هر صفت ۶ عدد که مربوط به سه سطح کود نیتروژن در دو تاریخ کاشت می‌باشد. رگرسیون برازش داده شده بین داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده (خط ممند) در مقایسه با خط ۱:۱ (خط منقطع) در شکل نشان داده شده است.

The number of points for each trail is 6, which corresponds to the three levels of N fertilizer on two planting dates. Fitted regression among observed and predicted data (solid line) against the 1:1 line (dotted line) is shown.



شکل ۱۰- ارزیابی کلی مدل در شبیه‌سازی صفات مراحل نمو، شاخص سطح برگ حداکثر، ماده خشک کل، تعداد دانه در مترمربع و عملکرد دانه شبیه‌سازی شده در مقابل مقادیر مشاهده‌ای ارقام دلگان و هایولا ۴۲۰

Fig. 10- Overall evaluation of the model for simulating the developmental (parameters) traits: maximum LAI, total dry matter, number of seeds per square meter and seed yield. Simulated values vs. the observed values of Dalgan and Hyola-420 cultivars are demonstrated for each parameter

تعداد نقاط برای هر صفت ۱۲ عدد که مربوط به سه تیمار کودی در دو تاریخ کاشت در دو سال آزمایش است. رگرسیون برازش داده شده بین داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده (خط ممند) در مقایسه با خط ۱:۱ (خط منقطع) در شکل نشان داده شده است.

The number of points for each trail is 12, which corresponds to the three levels of N fertilizer on two planting dates in two years. Fitted regression among observed and predicted data (solid line) against the 1:1 line (dotted line) is shown.

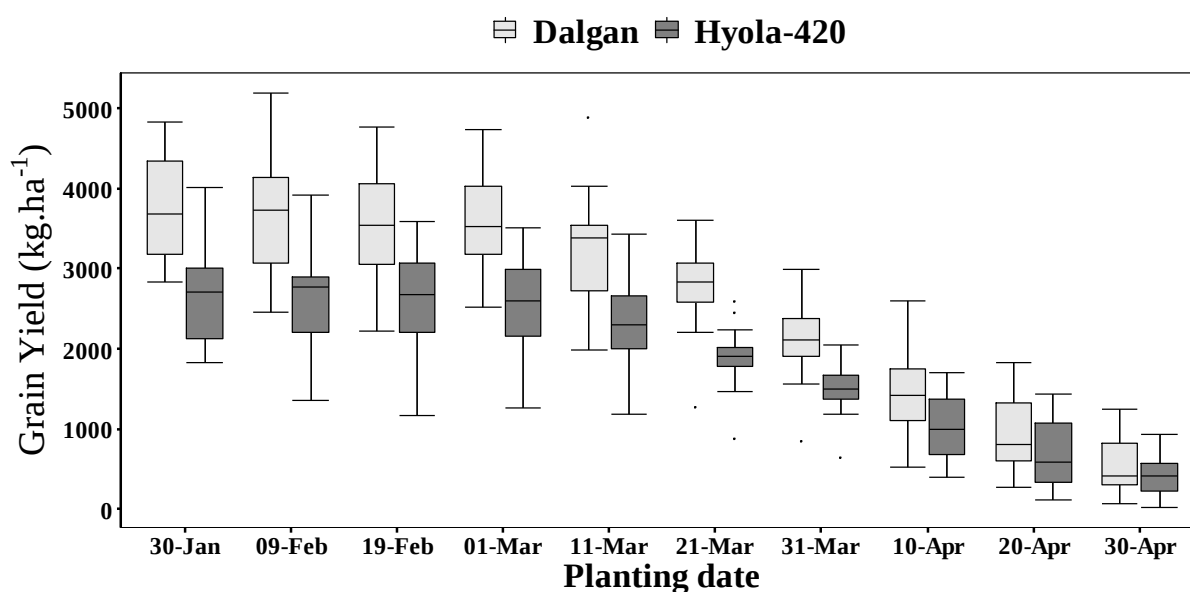
جدول ۸- نتایج آزمون t برای مقایسه شیب و عرض از مبدأ خط ۱:۱ با معادله رگرسیونی برازش داده شده با مجموعه‌ای از داده‌های هر رقم کلزا که در شکل ۹ نشان داده شده است

Table 8- Results of the t-test for comparing slope (b) and intercept (a) of the 1:1 line against the fitted linear regression by all data for each canola cultivar, as shown in figure 9

ارقام Variable	پارامتر Parameter	مقدار Value	خطای استاندارد Standard error	t	فرض صفر H0
دلگان Dalgan	عرض از مبدأ Intercept (a)	-26.197	1337.1	0.020	قبول Accepted
	شیب Slope (b)	0.9917	0.0189	0.440	قبول Accepted
هایولا-۴۲۰ Hyola-420	عرض از مبدأ Intercept (a)	92.122	1334.2	0.069	قبول Accepted
	شیب Slope (b)	1.0106	0.0193	0.548	قبول Accepted

دوران رشد زایشی گیاه خصوصاً گل‌دهی و غلاف‌دهی با تنش خشکی انتهایی فصل و دماهای بالا جلوگیری کرده و با افزایش کارایی مصرف آب، عملکرد بیولوژیک و نهایتاً عملکرد نخود را افزایش دهد (Amiri, 2018).

در مطالعه‌ای به‌منظور تعیین بهترین تاریخ کاشت نخود دیم در استان کرمانشاه با استفاده از مدل SSM-Chickpea مشخص شد که تاریخ کاشت زود هنگام اول اسفند می‌تواند ضمن افزایش طول دوره رشد گیاه و هم‌زمانی بیشتر باران با فصل رشد گیاه از مصادف شدن



شکل ۱۱- تغییرات عملکرد دانه شبیه‌سازی شده ارقام کلزا در تاریخ کاشت‌های مختلف در دوره ۳۰ ساله (۱۳۷۰-۱۳۹۹)

Fig. 11- Response of simulated seed yield of two canola cultivars in different planting dates during 30 years (1989-2018)

نتیجه‌گیری

مرحله تشکیل غلاف در تیمارهای مختلف شبیه‌سازی کند. اما در دوره پایانی رشد کلزا LAI شبیه‌سازی شده دارای خطای بیش‌برآورد بود که دلیل آن استفاده مدل از الگوی شاخص سطح سبز گیاه به‌جای LAI بود. همچنین مدل به‌خوبی توانست در تاریخ‌های مختلف کاشت و همچنین سطوح مختلف کود نیتروژن، ماده خشک کل را

نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مراحل فنولوژیکی (شروع گل‌دهی، شروع خورجین‌دهی، شروع تشکیل دانه و رسیدگی فیزیولوژیک) نشان‌دهنده توانایی بالای مدل در شبیه‌سازی مراحل نمو بوده است. این مدل تا حد بسیار خوبی توانست شاخص سطح برگ (LAI) را تا

ایران مورد استفاده قرار گیرد. یکی از این تصمیم‌گیری‌ها تعیین بهترین تاریخ کاشت کلزای بهار در منطقه است. نتایج شبیه‌سازی عملکرد دانه ارقام در تاریخ کاشت‌های مختلف با داده‌های بلندمدت نشان داد که با تأخیر در کاشت عملکرد دانه ارقام کلزا کاهش می‌یابد و بایستی حداکثر تا ۲۰ اسفند عملیات کاشت کلزای بهاره انجام شود.

شبیه‌سازی کند. نتایج اعتبارسنجی تعداد دانه در مترمربع و عملکرد دانه ارقام کلزا نیز نشان از دقت بالای مدل و واسنجی مناسب آن بود. به‌طور کلی، نتایج این مطالعه نشان داد که مدل CSM-CROPGRO-Canola پاسخ‌های عملکرد دانه به مدیریت و شرایط محیطی را به‌خوبی پیش‌بینی می‌کند و می‌تواند برای ارزیابی تأثیرات مختلف مدیریت زراعی و تصمیم‌گیری در نظام‌های کشت کلزا در

References

- Amiri, S.R. (2018). Determining the optimum sowing date of chickpea in Kermanshah province using modeling approach. *Journal of Plant Ecophysiology*, 10(32), 130-141. (In Persian with English Summary)
- Arvaneh, H., Abbasi, F., & Eslami, H. (2011). Validation and testing of AquaCrop under farmers' management, 1st National Conference on Agrometeorology and Agricultural Water Management. University of Tehran, Iran. 22 November 2011, p. 125.
- Bakhshi, B., Rostami-Ahmadvandi, H. & Fanaei, H. R. (2021). Camelina, an adaptable oilseed crop for the warm and dried regions of Iran. *Central Asian Journal of Plant Science Innovation*, 1(1), 39-45. http://www.cajpsi.com/article_128592.html
- Bannayan, M., Crout, N. M. J., & 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. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.1140a>
- Boogaard, H. L., Van Diepen, C. A., Rotter, R.P., Cabrera, J. M. C. A., & Van Laar, H. H. (1998). WOFOST 7.1; user's guide for the WOFOST 7.1 Crop Growth Simulation Model and WOFOST Control Center 1.5 (No. 52). SC-DLO.
- Boote, K. J., Jones, J.W., Hoogenboom, G., & Pickering, N. B. (1998). The CROPGRO model for grain legumes. In: G. Tsuji G. Hoogenboom and P. Thornton (Eds). Understanding options for agricultural production. *Springer, the Netherlands*. p. 99-128.
- Boote, K.J., Mínguez, M. I., & Sau, F. (2002). Adapting the CROPGRO-legume model to simulate growth of faba bean. *Agronomy Journal*, 94, 743-756.
- Deihimfard, R., Nassiri Mahallati, M., & Koocheki A. (2015). Yield gap analysis in major wheat growing areas of Khorasan province, Iran, through crop modeling. *Field Crops Research*, 184, 28-38. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.09.002>
- Deligios, P.A., Farci, R., Sulas, L., Hoogenboom, G., & Ledda, L. (2013). Predicting growth and yield of winter rapeseed in a Mediterranean environment: Model adaptation at a field scale. *Field Crops Research*, 144, 100-112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2013.01.017>
- Ebrahimipak, N., Egdernezhad, A., Tafteh, A., & Ahmadee, M. (2019). Evaluation of AquaCrop, WOFOST, and CropSyst to simulate rapeseed yield. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 13, 715-726. (In Persian with English Summary)
- Fallah, M. H., Nezami, A., Khazaie, H. R., & Nassiri Mahallati, M. (2021). Evaluation of DSSAT-Nwheat model across a wide range of climate conditions in Iran. *Journal of Agroecology*, 12, 561-580. (In Persian with English Summary) <https://doi.org/10.22067/jag.v12i4.77250>
- FAOSTAT. (2019). FAO, Statistics Division. <http://faostat3.fao.org/download/T/TP/E> (verified 15 March 2019).
- Farhangfar, S., Bannayan, M., Khazaei, H. R., & Mousavi Baygi, M. (2017). Evaluating canola yield under arid and climate change conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15, 355-367. (In Persian with English Summary)
- Gabrielle, B., Denoroy, P., Gosse, G., Justes, E., & Andersen, M. N. (1998). Development and evaluation of a CERES-type model for winter oilseed rape. *Field Crops Research*, 57, 95-111. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00120-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00120-2)
- Gammelvind, L. H., Schjoerring, J. K., Mogensen, V.O., Jensen, C.R., & Bock, J. G. H. (1996). Photosynthesis in leaves and siliques of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Plant and Soil*, 186, 227-236.

- Geerts, S., & Raes, D. (2009). Deficit irrigation as on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management*, 96, 1275-1284. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.04.009>
- Gilardelli, C., Stella, T., Frasso, N., Cappelli, G., Bregaglio, S., Chiodini, M. E., Scaglia, B., & Confalonieri, R. (2016). Wofost -GTC: A new model for the simulation of winter rapeseed production and oil quality. *Field Crops Research*, 197, 125-132.
- Habekotté, B. (1997). Options for increasing seed yield of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A simulation study. *Field Crops Research*, 54, 109-126. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00041-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00041-5)
- Hammer, G. L., Van Oosterom, E., McLean, G., Chapman, S. C., Broad, I., Harland, P., & Muchow, R. C. (2010). Adapting APSIM to model the physiology and genetics of complex adaptive traits in field crops. *Journal of Experimental Botany*, 61, 2185-2202. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq095>
- Heidarybeni, M., Yazdanpanh, H., & Mehnatkesh, A. (2018). Impacts of climate change on canola yields and phenology (Case study: Chahrmahal and Bakhtiari, Iran). *Physical Geography Research Quarterly*, 50, 373-389. (In Persian with English Summary)
- Honar, T., Sabet Sarvestani, A., Kamgar Haghighi, A. A., & Shams, S. (2011). Calibration of crop system model for growth simulation and yield estimation of canola. *Water Soil*, 25, 593-605. (In Persian with English Summary)
- 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., & 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., & Tsuji, G.Y. (1999). DSSAT v3, Vol. 4. University of Hawaii, Honolulu, HI.
- Jing, Q., Shang, J., Qian, B., Hoogenboom, G., Huffman, T., Liu, J., Ma, B.L., Geng, X., Jiao, X., Kovacs, J., & Walters, D. (2016). Evaluation of the CSM-CROPGRO-Canola model for simulating canola growth and yield at West Nipissing in Eastern Canada. *Agronomy Journal*, 108, 575-584.
- 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., & Ritchie, J. T. (2003). DSSAT Cropping System Model. *European Journal of Agronomy*, 18, 235-265.
- 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., & Ritchie, J. T. (2003). DSSAT Cropping System Model. *European Journal of Agronomy*, 18, 235-265.
- Kassie, B. T., Asseng, S., Porter, C. H., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.08.012>
- Mojarrad, F., Farhadi, B., & Kheyri, R. (2014). The role of climatic factors in determining the start date of planting and growing period of colza with application of CropSyst model, Case study: Coastal provinces of Caspian Sea in Iran. *Physical Geography Research*, 46, 463-476. (In Persian with English Summary)
- Mousavizadeh, S. F., Honar, T., & Ahmadi, S. H. (2016). Assessment of the AquaCrop Model for simulating canola under different irrigation managements in a semiarid area. *International Journal of Plant Production*, 10, 425-445.
- Nassiri Mahallati, M. (2000). Modeling the Growth Processes of Agricultural Plants. The Publications University of Mashhad. Mashhad, Iran.
- Negares, A. (2011). Development of oil seed cultivars. *Journal of Aftabgardan*, 27, 28-39. (In Persian with English Summary)
- Oteng-Darko, P., Yeboah, S., Addy, S. N. T., Amponsah, S., & Owusu Danquah, E. (2013). Crop modeling: A tool for agricultural research - A review. *E3 Journal of Agricultural Research and Development*, 2, 1-6.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., & Fereres, E. (2009). AquaCrop- the FAO crop model to simulate yield response to water II. Main algorithms and software description. *Agronomy Journal*, 101, 438-447. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0140s>
- Rahban, S., Torabi, B., Soltani, A., & Zeinali, E. (2021). Using SSM-iCrop model to predict phenology, yield, and water productivity of canola (*Brassica napus* L.) in Iran condition. *Journal of Agroecology*, 13, 157-177. (In Persian with English Summary)
- Reddy, T. Y., & Reddi, G. H. S. (2003). Principles of Agronomy. Kalyani Publishers, Ludhiana. pp. 48-77.
- Robertson, M. J., Holland, J. F., Kirkegaard, J.A., & Smith, C. J. (1999). Simulating growth and development of canola in Australia. 10th International Rapeseed Congress, Canberra, Australia, CSIRO, Dickson, Australia, 26-29

- September 1999, p. 245-247.
- Saseendran, S. A., Nielsen, D. C., Ma, L., & Ahuja, L. R. (2010). Adapting CROPGRO for Simulating Spring Canola Growth with Both RZWQM2 and DSSAT 4.0. *Agronomy Journal*, 102, 1606-1621.
- Saseendran, S. A., Nielsen, D. C., Ma, L., & Ahuja, L. R. (2010). Adapting CROPGRO for simulating spring canola growth with both RZWQM2 and DSSAT 4.0. *Agronomy Journal*, 102, 1606-1621.
- Soltani, A., Hammer, G. L., Torabi, B., Robertson, M. J., & Zeinali, E. (2006). Modeling chickpea growth and development: Phonological development. *Field Crops Research*, 99, 1-13.
- Timsina, J., Boote, K. J., & Duffield, S. (2007). Evaluating the CROPGRO soybean model for predicting impacts of insect defoliation and depodding. *Agronomy Journal*, 99, 148-157. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0338>
- Van Dam, J. C., Huygen, J., Wesseling, J. G., Feddes, R. A., Kabat, P., Van Walsum, P.E.V., Groenendijk, P., & Van Diepen, C.A. (1997). Theory of SWAP Version 2.0, Report #71. Department of Water Resources, Wageningen Agricultural University, pp. 167.
- Willmott, C. J. (1982). Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of American Meteorology Society*, 63, 1309-1313. <https://doi.org/10.1175/1520-0477>
- Yang, J. M., Yang, J. Y., Liu, S., & Hoogenboom, G. (2014). An evaluation of the statistical methods for testing the performance of crop models with observed data. *Agricultural System*, 127, 81-89.
- Zeileke, K., Luckett, D., & Cowley, R. (2011). Calibration and testing of the FAO AquaCrop model for canola. *Agronomy Journal*, 103, 1610-1618.
- Zomorodian, A., Kavosi, Z., & Momenzadeh, L. (2011). Determination of EMC isotherms and appropriate mathematical models for canola. *Food and Bioproducts Processing*, 89, 407-413. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.10.006>



Spatial Distribution Maps of Horticultural and Agricultural Crops Land Generating at the Country Scale for Iran

Seyyed Majid Alimagham¹, Afshin Soltani^{2*}, Amir Dadrasi³ and Alireza Nehbandani⁴

Received: 05-03-2022
Revised: 23-08-2021
Accepted: 11-09-2021
Available Online: 11-09-2021

How to cite this article:

Alimagham, S.M., Soltani, A., Dadrasi, A., & Nehbandani, A. (2023). Spatial distribution maps of horticultural and agricultural crops land generating at the country scale for Iran. *Journal of Agroecology*. 15(1), 75-88.
DOI: [10.22067/agry.2021.69619.1033](https://doi.org/10.22067/agry.2021.69619.1033)

Introduction

There are only a limited number of maps available regarding the distribution of agricultural and horticultural lands in the country. The existence of these maps can play an important role in various fields such as agricultural planning and development, climate change assessment, yield gap, and food security analysis, livestock production systems management, ecosystem service, fertilizer use management, agricultural optimal cropping pattern determination and other studies related to agriculture, forestry, and rangeland. For example, one of the relevant applications of these maps is their use in combination with climate zoning maps and soil maps to select the target meteorological stations in plant production simulation studies with different practical purposes. The SPAM project (Spatial Production Allocation Model) in IFPRI (International Food Policy Institute) is the main source of these kinds of maps. The accuracy of SPAM maps is acceptable at province or higher scales because they are prepared based on provincial data. However, these maps may not be precise on a smaller scale than the province. The SPAM data bank does not cover all main crops and none of the horticultural plants. Therefore, in this study, the land use maps of 33 main agricultural and horticultural plants were produced at the country scale using the simplified SPAM method. Materials and Methods: To generate these maps, a spatial overlay of land distribution (total rainfed land raster, total irrigated land raster, and total garden products raster for target crop) with polygon boundaries of cities was produced in ArcGIS. The value of the pixels in each county must be calculated in the created map. To do this, first, the number of pixels with land in each county was counted on this map. Then the area under cultivation of the target plant in each county was divided by the number of pixels counted in the same county. The number obtained in each county was considered as the pixel value of the land in that county for the target plant. The assumptions about the production of distribution maps for each plant in rainfed and irrigated Conditions are 1- To generate the distribution maps of each rainfed or irrigated annual plant; it is assumed that the distribution of the land of the given crop is the same as the distribution of all rainfed or irrigated lands within each county. It should be noted that this assumption can be incorrect if only the land distribution of the crop is considered in a particular crop year. Due to crop rotation, the distribution of a crop in the lands of a county changes every year. If the land distribution of a particular crop in a county is considered for a period of 3 years or more, the probability of target crop planting within each part of the county lands will be high. Because in the present study, information from the period 2014 to 2016 has been used, it is assumed that during this period, the distribution of lands the target rainfed and irrigated is similar to the distribution of total rainfed and irrigated lands in the given county. 2- In the case of horticultural crops that are perennial, it is assumed that the gardens of the target crop are distributed uniformly in the horticultural lands

1- Ph.D, Graduated of Agroecology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

2- Professor, Department of Agriculture, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

3- Ph.D Graduated of Agronomy, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran.

4- Ph.D, Graduated of Agroecology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

(*- Corresponding author's Email: Afshin.Soltani@gmail.com)

of that county. Therefore, the distribution of a particular horticultural crop in a county was similar to that of the total distribution of horticultural lands in that county.

Results and Discussion

The findings of this study suggest that SPAM2005 maps for various crops in Iran were less accurate than SPAM2010 maps at the province level. While the area of crops in SPAM maps was similar to statistical data at the province level, the spatial distribution of crops required modification. This issue became apparent when the grassland distribution map was compared with the crops SPAM maps, indicating that some crop land in SPAM maps was incorrectly located where grasslands should be. The approach used in this study resolved this problem and generated new spatial distribution maps for crops with higher accuracy.

Conclusion

This study utilized county-level data from over 400 counties to produce more accurate maps than the original SPAM maps. The advantages of the maps produced in this study compared to SPAM maps are (1) The use of up-to-date crop area information to generate the maps; (2) The use of crop area data at the county scale to increase map accuracy; (3) The application of country-specific land distribution maps to generate the maps; and (4) The production of distribution maps for all major horticultural and agricultural crops in the country, creating a comprehensive database in this field.

Keywords: Agronomy, Data bank, Horticulture, Land use map, SPAM map

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، ص ۷۵-۸۸

تهیه نقشه‌های پراکنش سطح زیرکشت گیاهان باغی و زراعی در سطح کشوری برای ایران

سید مجید عالی‌مقام^۱، افشین سلطانی^{۲*}، امیر دادرسی^۳ و علیرضا نه‌بندانی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۶/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۰

چکیده

وجود پراکنش اراضی زیرکشت، می‌تواند اهمیت زیادی در مطالعات و تصمیمات کلان کشوری در زمینه‌های مختلف مانند برنامه‌ریزی و توسعه کشاورزی، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، بررسی خلأ عملکرد و امنیت غذایی، مدیریت سیستم‌های تولید دام، خدمات اکوسیستم‌ها، مدیریت مصرف کود، تعیین الگوی کشت و سایر مطالعات در بخش‌های کشاورزی، جنگل‌داری و مرتع‌داری داشته باشد. یکی از کاربردهای مهم این نقشه‌ها استفاده از آن‌ها در ترکیب با نقشه‌های پهنه‌بندی اقلیمی و نقشه‌های خاک برای انتخاب ایستگاه هواشناسی در مطالعات شبیه‌سازی تولید گیاهی است. منبع اصلی این نقشه‌ها در سطح دنیا، پروژه SPAM مؤسسه IFPRI می‌باشد. نقشه‌های SPAM در مقیاس استانی برای کشور تهیه شده‌اند. بنابراین، در سطح استانی و بالاتر از دقت خوبی برخوردارند، ولی در مقیاس کوچک‌تر ممکن است همراه خطا باشند. پروژه SPAM فاقد نقشه پراکنش برای بسیاری از گیاهان است. در این مطالعه با استفاده از روش ساده شده SPAM به تولید نقشه‌های پراکنش ۳۳ گیاه مهم زراعی و باغبانی کشور اقدام شد. نقشه‌های حاصل در این مطالعه در مقایسه با نقشه‌های اصلی SPAM دقت بالاتری داشتند. مزایای نقشه‌های تولید شده در این مطالعه نسبت به نقشه‌های SPAM به این شرح می‌باشند: (۱) به‌روزر بودن اطلاعات سطح زیرکشت مورد استفاده برای تولید نقشه‌ها (۲) استفاده از داده سطح زیرکشت با مقیاس کوچک‌تر (در سطح شهرستان)، (۳) توجه به کاربری کنونی اراضی مختص کشور در تولید نقشه‌های پراکنش در مطالعه حاضر (۴) تولید نقشه پراکنش برای همه گیاهان مهم در کشور بر مبنای روش ارایه شده در مطالعه حاضر.

واژه‌های کلیدی: باغبانی، بانک داده، زراعت، نقشه کاربری اراضی، نقشه SPAM

مقدمه

هر سال در وزارت کشاورزی، آماری از مقدار تولید، سطح زیرکشت و عملکرد در واحد سطح محصولات گیاهی مختلف از سراسر کشور تهیه می‌شوند. هر چند این داده‌ها بسیار ارزشمند هستند، اما هیچ اطلاعاتی در خصوص نحوه پراکنش جغرافیای اراضی محصولات مختلف در اختیار کاربران نمی‌گذارد. در کشور، خلأ اطلاعاتی بزرگی در خصوص نحوه پراکنش اراضی به تفکیک محصولات مختلف وجود دارد. وجود این نقشه‌ها، اهمیت زیادی در مطالعات و تصمیمات کلان کشوری از قبیل نحوه توسعه اقتصادی روستاها و شهرها (Nelson, 2002)، اثرات تغییر اقلیم (Nelson et

- ۱- فارغ‌التحصیل دکتری، اکولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
 - ۲- استاد، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
 - ۳- فارغ‌التحصیل دکتری، گروه زراعت، دانشگاه ولیعصر رفسنجان، رفسنجان، ایران.
 - ۴- فارغ‌التحصیل دکتری، اکولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
- (*)- نویسنده مسئول: (Email: Afshin.Soltani@gmail.com)

DOI: [10.22067/agry.2021.69619.1033](https://doi.org/10.22067/agry.2021.69619.1033)

(Lobell et al., 2008a, 2010); وضعیت خلأ عملکرد و امنیت غذایی کشور (Hertel, 2011)، مدیریت سیستم‌های تولید دام (Robinson et al., 2011)، ارزیابی خدمات اکوسیستم (Nelson et al., 2011) و مدیریت مصرف کود (Liu et al., 2010) دارد.

روش‌های متعددی جهت تهیه نقشه‌های پراکنش گیاهی وجود دارند. این روش‌ها شامل:

(۱) نقشه‌برداری زمینی،

(۲) نقشه‌برداری هوایی،

(۳) تصاویر ماهواره‌ای و

(۴) تخصیص سطح زیرکشت به لایه‌های رستری در نرم‌افزار ArcGIS بر اساس اطلاعات سطح زیرکشت‌های جمع‌آوری شده توسط مراکز تحقیقاتی و جهاد کشاورزی می‌باشد.

هر یک از این روش‌ها مزایا و معایب خاص خود را دارا می‌باشند. به مجموعه عملیات نقشه‌برداری که اندازه‌گذاری آن روی سطح زمین انجام گیرد، نقشه‌برداری زمینی گفته می‌شود (Mobasheri et al., 2007). البته در بعضی موارد، برای تعیین موقعیت، بعد زمان نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. نقشه‌برداری زمینی وقت‌گیر و پرهزینه بوده و به مهارت‌های خاص نیاز دارد. همچنین گردآوری این اطلاعات همواره دارای خطای بسیاری می‌باشد. از این رو، روش‌های نوین همانند نقشه‌برداری هوایی ابداع شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند.

استفاده از داده‌های ماهواره‌ای با توجه به ویژگی‌هایی مانند دید وسیع، یکپارچه، هزینه و زمان کم، استفاده از قسمت‌های مختلف طیف تابشی برای ثبت خصوصیات پدیده‌ها، پوشش تکراری و امکان به‌کارگیری سخت‌افزارها و نرم‌افزارها موجب شده که در دنیا با استقبال خاصی روبرو شود و با استفاده از آن بتوان طیف وسیعی از پروژه‌ها را در سطح جهانی، منطقه‌ای، ملی، استانی و محلی به نتیجه رساند. لذا عدم پردازش و استخراج اطلاعات گوناگون از درون لایه‌های اطلاعاتی متفاوتی که این گونه جمع‌آوری می‌شود به نوعی اتلاف منابع و داده‌ها است، اما پردازش تصاویر ماهواره‌ای و طبقه‌بندی آن‌ها یعنی نمونه‌برداری از سطح محدودی از تصویر و تعمیم آن به کل تصویر در یک زمان کوتاه، کمک شایانی به صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌های پروژه‌ها خواهد نمود (Ziari, 2002). این روش نیز معایبی دارد که از آن جمله می‌توان به حجم بالای تصاویر ماهواره‌ای، عدم دسترسی راحت به تصاویر ماهواره‌ای در سطح وسیع مانند سطح کشور (به‌خصوص برای کشوری مانند

ایران که به‌دلیل مسایل سیاسی و تحریم، دسترسی به این تصاویر به آسانی انجام نمی‌شود)، دشواری تفکیک طیف‌های نوری در تصاویر ماهواره‌ای و همچنین عدم تشخیص راحت نوع محصول اشاره نمود.

اخیراً در مؤسسه IFPRI^۱، رهیافتی مبتنی بر ارزش‌دهی به پیسکل‌ها براساس سطح زیرکشت محصولات در لایه‌های رستری اقدام به تخمین و تولید نقشه پراکنش شده است که خروجی این کار به نقشه‌های SPAM^۲ موسوم بوده و روشی نسبتاً دقیق و کم‌هزینه‌ای جهت تولید نقشه پراکنش محصولات مختلف می‌باشد. نقشه‌های SPAM در چهار مرحله تهیه می‌شوند (You & Wood, 2004; You et al., 2006; You et al., 2014):

<http://mapspam.info/methodology>

تهیه و جمع‌آوری آمار سطح زیرکشت،

دریافت تصاویر پوشش سطح زمین و مکان‌هایی که زمین‌های زراعی وجود دارد،

جمع‌آوری اطلاعات مربوط به مناسب بودن محصول براساس ویژگی‌های محلی، آب و هوا و شرایط خاک در سطح پیکسل و ترکیب اطلاعات موجود در سه مرحله قبل و تولید نقشه پراکنش برای محصول مورد نظر.

اولین نقشه SPAM در سال ۲۰۰۰ تهیه و جهت استفاده عموم محققان در دسترس قرار گرفت. در سال ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰ دومین و سومین نسخه این نقشه‌ها در سطح جهان تولید و قابل استفاده شدند. در SPAM برای ۲۰ محصول زراعی نقشه موجود است. این گیاهان عبارتند از: گندم (*Triticum aestivum*)، برنج (*Oryza sativa*)، ذرت (*Zea mays*)، جو (*Hordeum vulgare*)، ارزن (*Panicum miliaceum*)، ذرت خوشه‌ای (*Sorghum bicolor*)، سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*)، سیب‌زمینی شیرین (*Ipomoea batatas*)، موز (*Musa sapientum*)، سویا (*Glycine max*)، حبوبات، نیشکر (*Saccharum officinarum*)، چغندر قند (*Beta vulgaris*)، پنبه (*Gossypium herbaceum*)، سایر الیاف، و سایر محصولات زراعی روغنی می‌باشند که همگی از سایت (<http://mapspam.info>) قابل دانلود و استفاده می‌باشند (You et al., 2014). از معایب این نقشه‌ها می‌توان به عدم کاربرد برای مقیاس کوچک (در سطح استان یا شهرستان) اشاره نمود. همچنین

1- International Food Policy Institute

2- Spatial Production Allocation Model

بود، به طوری که ارزش همه پیکسل‌های آن یکسان و برابر یک باشند^۱. لازم به ذکر است که در صورت وجود اطلاعات کافی^۲، هر چه دقت این نقشه رستری بالاتر باشد، در نهایت نقشه پراکنش ایجاد شده برای گیاه مورد نظر، با دقت بالاتری تولید خواهد شد. با توجه به اینکه گیاه مورد نظر چه نوعی است (دیم یا آبی، زراعی یا باغبانی) از هر یک از نقشه‌های پراکنش اراضی آبی، دیم و باغبانی استفاده شد. در فضای نرم‌افزار ArcGIS از تقسیم این نقشه‌ها به خودشان، نقشه رستری پراکنش دارای پیکسل‌های با ارزش یک، حاصل شد. از این به بعد این نقشه‌ها با عنوان "نقشه رستری با ارزش یک زراعی آبی"، "نقشه رستری با ارزش یک زراعی دیم" و "نقشه رستری با ارزش یک باغبانی" مشخص شده‌اند.

اطلاعات سطح زیر کشت در سطح شهرستان، یکی دیگر از اطلاعات لازم برای تولید نقشه پراکنش اراضی به تفکیک محصولات کشاورزی بود. لازم به ذکر است که هر چه این اطلاعات در سطح تقسیم‌بندی کوچک تری در اختیار باشد (مانند سطح زیرکشت محصولات در سطح بخش‌ها به جای شهرستان)، می‌توان نقشه پراکنش اراضی به تفکیک محصولات کشاورزی را با دقت بالاتری تولید کرد. در کشور، کوچک ترین مقیاس برای ثبت آمار سطح زیرکشت محصولات مختلف، شهرستان می‌باشد که این اطلاعات از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی تهیه شدند. این اطلاعات در نقشه پلی‌گونی مرز سیاسی شهرستان‌های کشور وارد شدند. به عبارتی دیگر، در این نقشه مشخص بود که در هر شهرستان، سطح زیرکشت هر محصول چقدر است. این اطلاعات شامل سطح زیرکشت همه گیاهان باغی و زراعی در شرایط دیم و آبی در سطح شهرستان (برای میانگین دوره زمانی ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ معادل سال میلادی ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ - سال برداشت) بودند که تعداد همه شهرستان‌های کشور که حداقل یکی از گیاهان در آن کشت می‌شود، بیش از ۴۰۰ می‌باشد. از این به بعد این نقشه با نام "نقشه شهرستانی" مشخص شده است.

در اینجا روش تهیه نقشه پراکنش گیاهان مختلف در شرایط دیم و آبی با استفاده از یک مثال، یعنی گندم دیم، توضیح داده می‌شود.

۱- تقسیم یک نقشه رستری با دقت پنج دقیقه در فضای نرم‌افزار ArcGIS، یکی از ساده‌ترین راه‌های تولید این نقشه می‌باشد.
۲- اطلاعات سطح اراضی زیرکشت برای هر محصول در سطح کوچک مانند سطح روستاها

نقشه‌های SPAM برای تمامی محصولات زراعی و باغبانی تهیه نشده‌اند (Wood-Sichra et al., 2016).

در SPAM نقشه‌هایی برای برخی از محصولات کشاورزی ایران نیز موجود است که مبتنی بر داده‌های استانی تولید شده‌اند (<https://www.mapspam.info/data/>). از آنجایی که این نقشه‌ها به طور عمده با هدف انجام مطالعات در سطح جهانی تولید شده‌اند، برای استفاده در مقیاس کوچک‌تر از سطح کشور (مانند سطح استان یا شهرستانی) از دقت بالایی برخوردار نیستند.

در طرح تحلیل امنیت غذایی کشور تا ۲۰۵۰ که با همکاری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان با سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی در حال اجرا است، برای آنالیز تولید محصولات مختلف کشاورزی نیاز به اطلاعات نحوه پراکنش اراضی محصولات مختلف در سطح کشور و استان‌ها بود. در این طرح، مهم‌ترین نیاز به این نقشه‌ها برای شناسایی ایستگاه‌های هواشناسی و نوع خاک در محدوده ایستگاه، برای هر گیاه در شرایط دیم و آبی در استان‌های کشور است. باید توجه داشت که تعیین ایستگاه‌های هواشناسی گیاه هدف در هر استان و تحلیل نتایج نهایی در تحلیل امنیت غذایی در سطح استان، باید نقشه پراکنش آن گیاه در مقیاس پایین‌تر از استان (مانند سطح شهرستان) وجود داشته باشد. بنابراین، این مطالعه با هدف تولید نقشه‌های پراکنش اراضی برای همه محصولات کشاورزی در ایران (زراعی و باغی) در سطح شهرستانی، انجام شد.

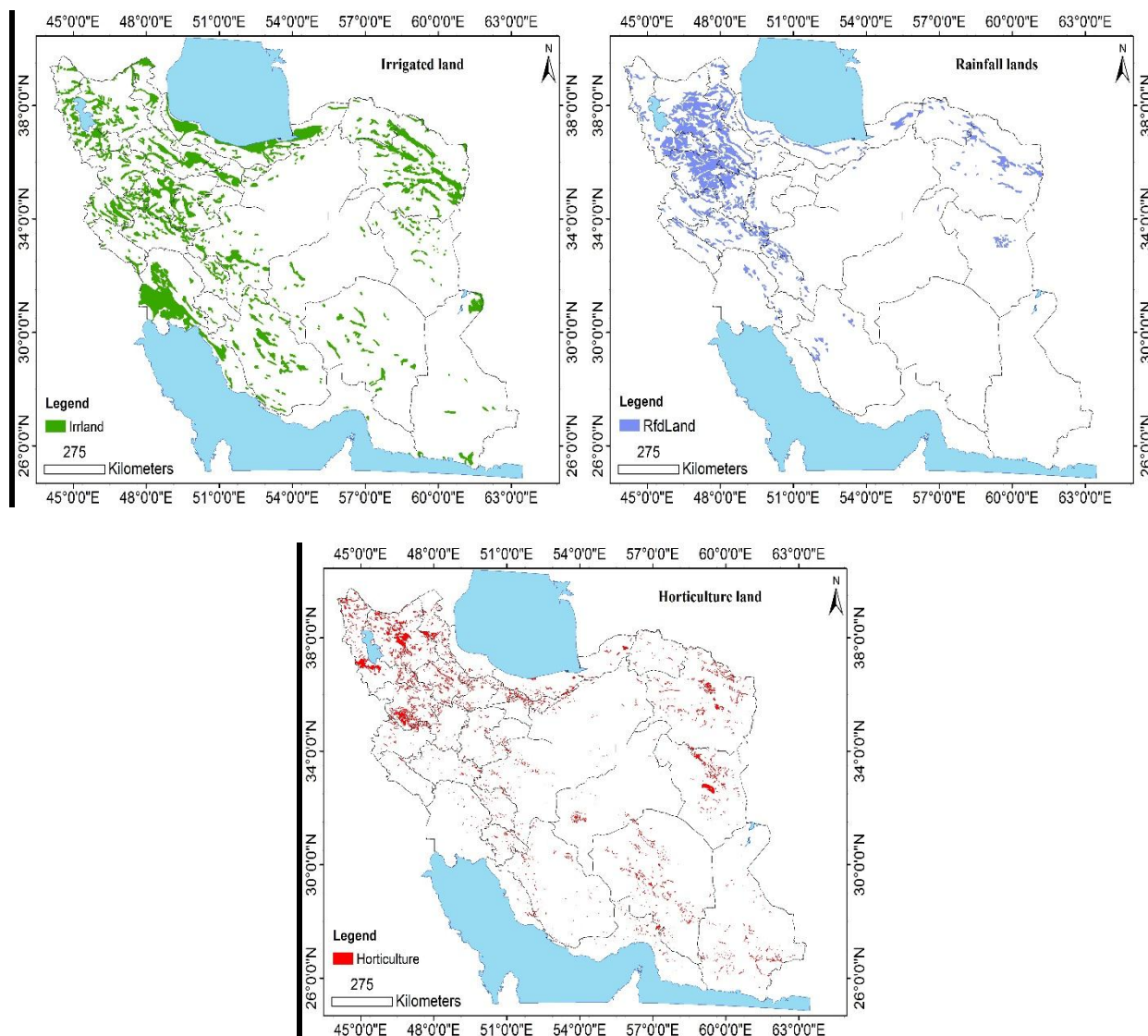
مواد و روش‌ها

برای تولید نقشه پراکنش اراضی یک گیاه خاص، به نقشه پراکنش کل اراضی کشور به تفکیک اراضی زراعی آبی، دیم و اراضی باغبانی نیاز بود. این نقشه‌ها از وزارت کشاورزی تهیه شدند (شکل ۱). لازم به ذکر است که نقشه پراکنش اراضی به تفکیک محصولات کشاورزی در کشور وجود ندارد، بلکه این نقشه‌ها به صورت پلی‌گونی برای تمامی اراضی آبی و دیم در کشور موجود می‌باشند. این نقشه‌ها با عنوان "نقشه پراکنش اراضی آبی" و یا "نقشه پراکنش اراضی دیم" و یا "نقشه پراکنش اراضی باغبانی" مشخص شده‌اند.

برای تولید نقشه پراکنش یک گیاه، به نقشه رستری پراکنش با دقت پنج دقیقه (به عبارت دیگر، دقت هر پیکسل ۰/۰۸۳۳ درجه که در این حالت ابعاد پیکسل در حدود ۹/۵ × ۹/۵ کیلومتر می‌شود) نیاز

پراکنش " مشخص می‌شود. نقشه هم‌پوشانی پراکنش نشان می‌دهد که اراضی دیم در سطح هر شهرستان چگونه توزیع شده‌اند.

برای تولید این نقشه، ابتدا در فضای ArcGIS، خروجی هم‌پوشانی نقشه رستری با ارزش یک پراکنش اراضی دیم با نقشه شهرستانی، تولید شد که از این به بعد این نقشه با نام "نقشه هم‌پوشانی



شکل ۱- نقشه پراکنش اراضی آبی، دیم باغبانی در کشور تهیه شده از وزارت کشاورزی

Fig. 1- Irrigated, rainfed, and horticultural lands distribution maps in the country prepared by the Ministry of Agriculture

RfdLand: اراضی زراعی دیم; IrrLand: اراضی زراعی آبی; Horticulture: اراضی باغی

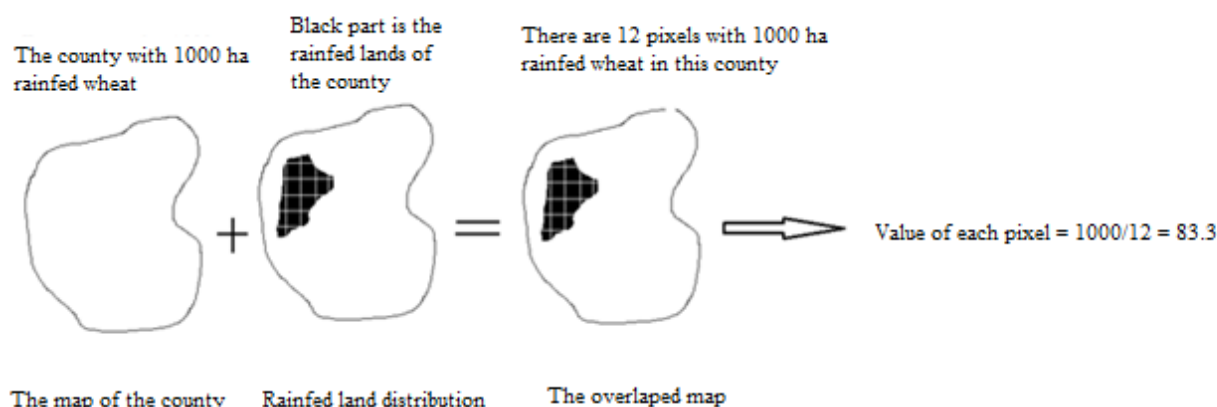
RfdLand" Rainfed crop lands; IrrLand: Irrigated crop lands; Horticultur: Horticultural lands

سطح زیر کشت گندم دیم موجود در هر شهرستان بر تعداد پیکسل‌ها شمارش شده در همان شهرستان تقسیم شدند. عدد به دست آمده در هر شهرستان به عنوان ارزش پیکسل در آن شهرستان در نظر گرفته شد. در شکل ۲ روند انجام این کار به صورت شماتیک ارایه شده است. در نقشه‌های SPAM، تولید نقشه پراکنش اراضی محصولات مختلف

در مرحله بعد باید در نقشه هم‌پوشانی پراکنش، ارزش پیکسل‌های موجود در هر شهرستان مشخص می‌شدند. تفاوت موجود برای تولید نقشه‌های پراکنش در مطالعه حاضر نسبت به نقشه‌های SPAM در همین بخش است. برای این کار ابتدا تعداد پیکسل‌ها دارای اراضی دیم در هر شهرستان در این نقشه شمارش شدند. سپس

بوده، از آن‌ها برای تولید نقشه‌های پراکنش گیاهان مختلف استفاده شده است. در نقشه‌های خروجی برای محصولات ایران در پروژه SPAM، با توجه به نوع پراکنش اراضی برای محصولات مختلف برای ایران، مشخص است که برای آن‌ها از نقشه پراکنش اراضی کشاورزی موجود برای کشور استفاده نشده است.

در هر کشور بر مبنای مدلی است که امکان تولید محصول مورد نظر در هر پیکسل بر اساس روش ارایه شده توسط فائو (FAO, 1981) مبتنی بر ارتفاع، دما و بارندگی محل را محاسبه می‌کند (You & Wood, 2004). همچنین در نقشه‌های SPAM مؤسسه IFPRI، برای کشورهایی که نقشه پراکنش کل اراضی کشاورزی در دسترس



شکل ۲- شکل شماتیک نحوه تولید نقشه پراکنش و ارزشگذاری پیکسل‌ها در هر شهرستان

Fig. 2- A schematic diagram of how to generate a distribution map and calculate pixels value in each county

شهرستان پخش شده‌اند. بنابراین، نحوه توزیع یک محصول باغبانی خاص در یک شهرستان نیز مشابه نحوه توزیع پراکنش اراضی باغبانی در آن شهرستان در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

برای بررسی دقت نقشه‌های ارایه شده توسط SPAM و نقشه تولید شده در مطالعه حاضر، نقشه پراکنش اراضی گندم دیم در کشور مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۳ نحوه توزیع اراضی گندم دیم بر اساس نتایج موجود در سایت MapSPAM برای نسخه ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰ نشان داده شده است. همچنین در این شکل نقشه پراکنش اراضی گندم دیم تولید شده در مطالعه حاضر نیز ارایه شده است. در نقشه ارایه شده توسط SPAM برای هر دو نسخه ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰، بیشتر مناطق شمالی، غربی و شمال غرب کشور تحت پوشش گندم دیم نشان داده شده است. این در حالی است که در این نواحی از کشور علاوه بر زمین‌های زراعی، مناطق کوهستانی، جنگل‌ها و مراتع نیز وجود دارند. بررسی نقشه پراکنش مراتع کشور نیز گواه بر این ادعا است که بسیاری از مناطقی که در نقشه‌های SPAM به‌عنوان اراضی

فرضیات مورد نظر در تولید نقشه‌های پراکنش به تفکیک هر گیاه در شرایط دیم و آبی عبارتند از:

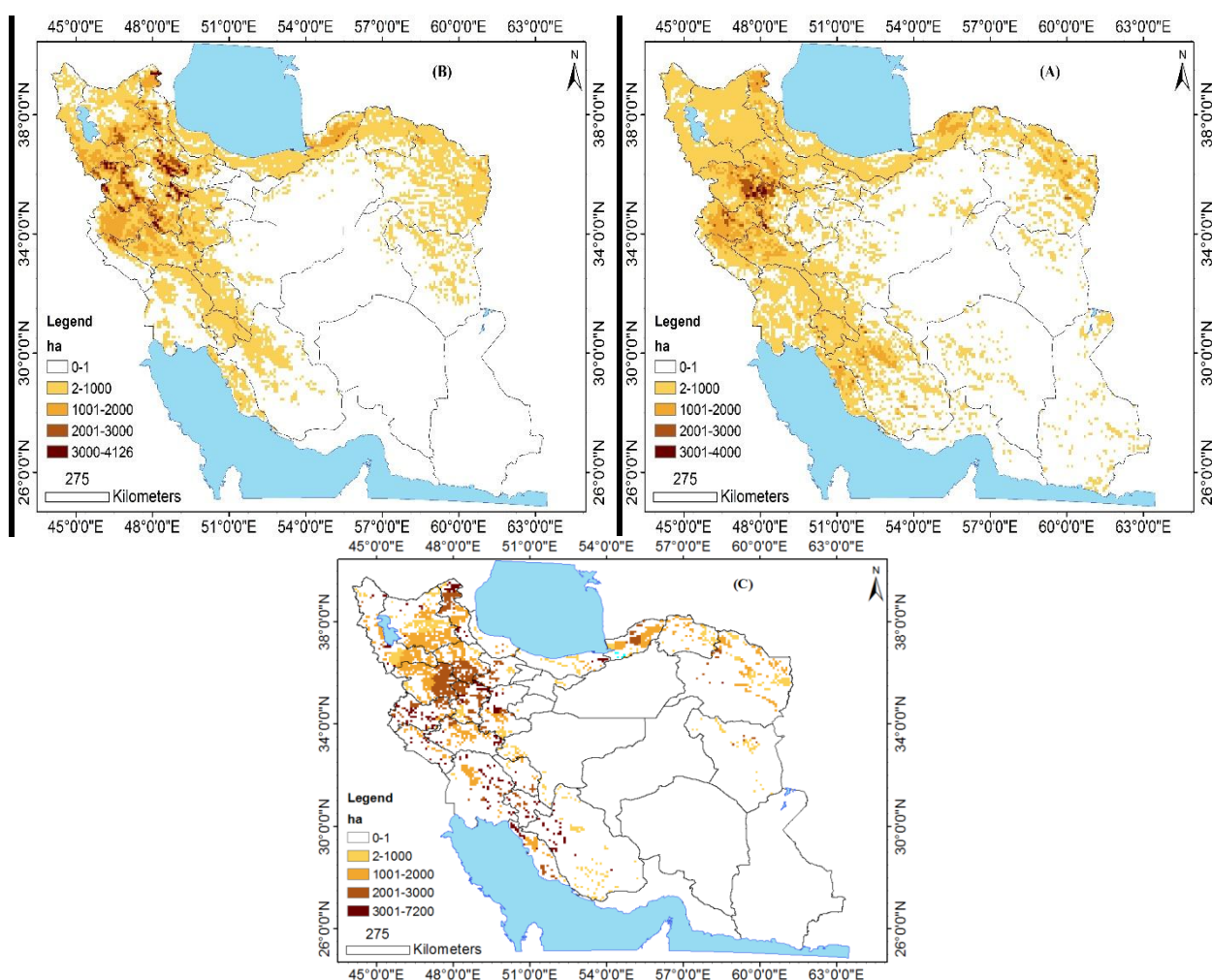
در تولید نقشه‌های پراکنش هر گیاه یک‌ساله، فرض شده است که در داخل هر شهرستان توزیع اراضی آن محصول مانند توزیع پراکنش اراضی دیم و آبی است. باید توجه داشت که اگر صرفاً توزیع اراضی یک محصول فقط در یک سال زراعی خاص در نظر گرفته شود، این فرضیه نادرست است. اما با توجه به وجود تناوب زراعی، هر سال نحوه توزیع اراضی یک محصول در یک شهرستان، تغییر می‌کند. در صورتی که پراکنش اراضی یک گیاه خاص در یک شهرستان در یک دوره زمانی سه ساله و یا بیشتر مد نظر قرار گیرد، در این دوره زمانی احتمال اینکه هر بخش از اراضی شهرستان حداقل یک بار به زیرکشت آن گیاه برود، بالاتر خواهد بود. چون در مطالعه حاضر از اطلاعات دوره زمانی ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ استفاده شده است، بنابراین فرض شده در طول این دوره زمانی، توزیع اراضی یک گیاه خاص در شرایط دیم و آبی مشابه توزیع اراضی دیم و آبی موجود در آن شهرستان باشد.

در مورد محصولات باغبانی که چندساله هستند، فرض شده است که باغات گیاهان مختلف به‌صورت موزاییکی در اراضی باغبانی آن

گندم دیم نشان داده شده‌اند، کاربری کشاورزی ندارند و عمدتاً مرتع می‌باشند (شکل ۴). این در حالی است که در نقشه تولید شده در مطالعه حاضر برای پراکنش اراضی گندم دیم، این مشکل برطرف شده است و اراضی گندم دیم در مناطق محدودتری متمرکز شده‌اند (شکل ۳).

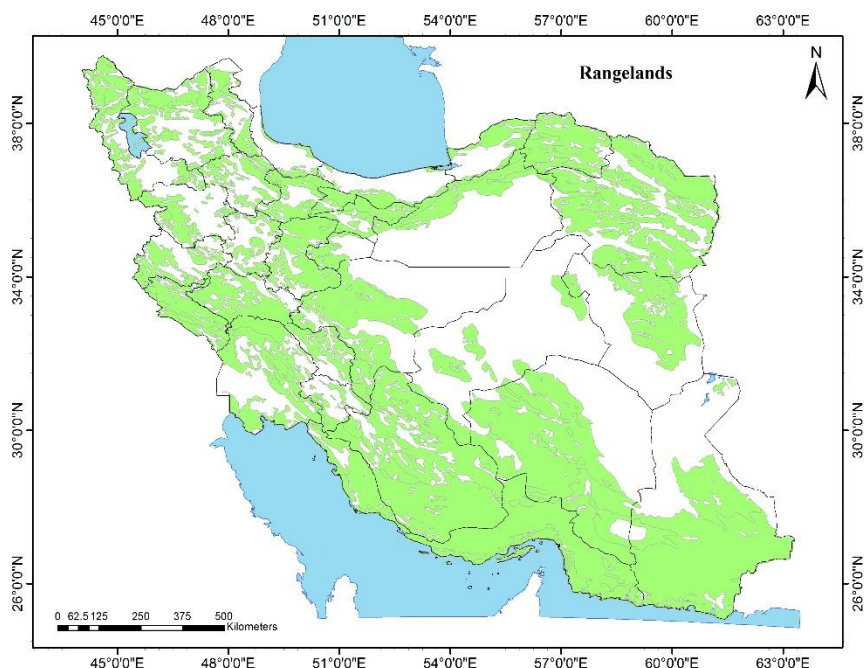
مقایسه سطح زیرکشت محصولات به تفکیک استان‌ها، دومین معیاری بود که برای ارزیابی دقت نقشه پراکنش ارایه شده در سایت MapSPAM و نقشه تولید شده در مطالعه حاضر مورد استفاده قرار گرفت. برای این منظور، سطح زیرکشت استانی اراضی گندم دیم از نقشه‌های پراکنش SPAM (نسخه‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰) و همچنین

برای نقشه تولید شده در مطالعه حاضر استخراج شدند. مقادیر استانی سطح زیرکشت گندم دیم استخراج شده از این نقشه‌ها با مقادیر گزارش شده در آمارنامه کشاورزی برای متوسط دوره زمانی ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶، مقایسه شدند (شکل ۵). نتایج نشان داد که مقادیر استانی موجود در نقشه SPAM نسخه ۲۰۰۵ از دقت پایینی برخوردار بود. دقت مقادیر سطح زیرکشت استانی در نسخه ۲۰۱۰ SPAM نسبت به نسخه ۲۰۰۵ بهتر بود. اما بالاترین دقت سطح زیرکشت اراضی گندم دیم استانی در نقشه تولید شده در مطالعه حاضر مشاهده شد (شکل ۵).



شکل ۳- پراکنش اراضی گندم دیم در ایران (A) بر اساس SPAM2005، (B) بر اساس SPAM2010 (<https://www.mapspam.info/data/>) و (C) نقشه تهیه شده در مطالعه حاضر

Fig. 3- Rainfed wheat spatial distribution map in the country based on (A) SPAM2005, (B) SPAM2010 (<https://www.mapspam.info/data/>), and (C) generated in the current study



شکل ۴- نحوه توزیع مراتع کشور تهیه شده در وزارت کشاورزی

Fig. 4- Rangelands spatial distribution map in the country prepared by the Ministry of Agriculture

دارد. با کوچک‌تر شدن مقیاس جمع‌آوری اطلاعات سطح زیرکشت، امکان تولید نقشه‌های پراکنش با دقت بالاتر فراهم می‌شود (Joglekar et al., 2019). بنابراین، به‌طور خلاصه دلایلی که می‌توان بر مبنای آن‌ها ادعا کرد نقشه پراکنش تولید شده برای محصولات در مطالعه حاضر از دقت بالاتری نسبت به نقشه‌های SPAM برخوردار هستند، عبارتند از:

به‌روزتر بودن اطلاعات سطح زیرکشت مورد استفاده برای تولید نقشه‌ها در مطالعه حاضر

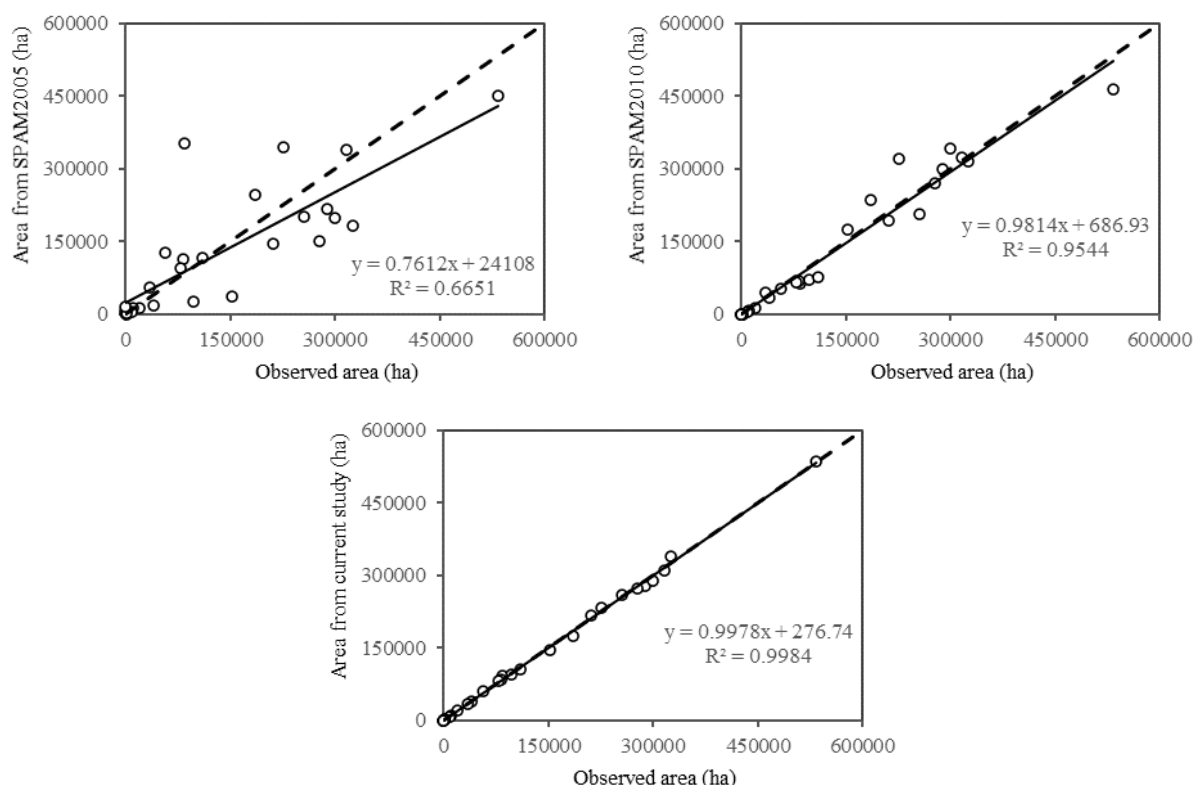
استفاده از داده سطح زیرکشت با مقیاس کوچک‌تر (در سطح شهرستان)

توجه به کاربری کنونی اراضی کشور در تولید نقشه‌های پراکنش در مطالعه حاضر

در این مطالعه، سطح زیرکشت واقع در محدوده ایستگاه‌های هواشناسی مرجع گندم^۱ در ایران با کمک نقشه‌های SPAM نسخه‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰، همچنین با کمک نقشه پراکنش گندم دیوم تولید شده، تخمین زده شدند.

بررسی نحوه توزیع و میزان سطح زیرکشت اراضی گندم دیوم نشان داد که نقشه تولید شده در مطالعه حاضر نسبت به نقشه‌های ارایه شده برای این گیاه در ایران توسط MapSPAM از دقت بالاتری برخوردار بود. برای تولید نقشه‌های SPAM نسخه ۲۰۰۵ از اطلاعات سطح زیرکشت دوره زمانی ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۵ (۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴ میلادی) و برای نسخه ۲۰۱۰ از اطلاعات سطح زیرکشت دوره زمانی ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱ (۲۰۱۰ تا ۲۰۱۲ میلادی) استفاده شده است. برای تولید نقشه‌های پراکنش در مطالعه حاضر از اطلاعات به‌روزتر برای دوره زمانی ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ (۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ میلادی) استفاده شد. همین موضوع می‌تواند دلیل اصلی دقت بالاتر سطح اراضی استانی محصولات در نقشه مطالعه حاضر نسبت به نقشه‌های SPAM باشد. همچنین در نقشه تولید شده در مطالعه حاضر برای برآورد نحوه پراکنش اراضی محصولات از نقشه‌های کاربری موجود در کشور استفاده شده است. همین موضوع باعث کاهش خطا در برآورد نحوه پراکنش اراضی محصولات در نقشه ارایه شده در مطالعه حاضر شد. دلیل دیگر این است که در مطالعه حاضر از اطلاعات سطح زیرکشت در سطح شهرستان استفاده شد، این در حالی است که در SPAM از اطلاعات سطح استانی استفاده شده است. در سطح کشور بیش از ۴۰۰ شهرستان وجود دارد. در مقابل تنها ۳۱ استان در کشور وجود

۱- ایستگاه‌های هواشناسی مرجع به‌روش GYGA (Global Yield Gap Analysis) و با به‌کارگیری نقشه‌های پراکنش گیاهان و نقشه‌های پهنه‌های اقلیمی تعیین شدند. برای مطالعه بیشتر به عالی مقام (Alimagham, 2018) و یا به لینک سایت GYGA مراجعه شود (<http://www.yieldgap.org/>).



شکل ۵- مساحت سطح زیرکشت گندم دیم استان‌ها (هر نقطه نشان‌دهنده یک استان) حاصل از نقشه SPAM2005، SPAM2010 و مطالعه حاضر در مقابل متوسط سطح زیرکشت هر استان در دوره زمانی ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶

Fig. 5- Area of rainfed wheat of the provinces (each point indicates a province) from SPAM2005, SPAM2010 and the current study versus the average crop area of each province for the period from 2013 to 2017

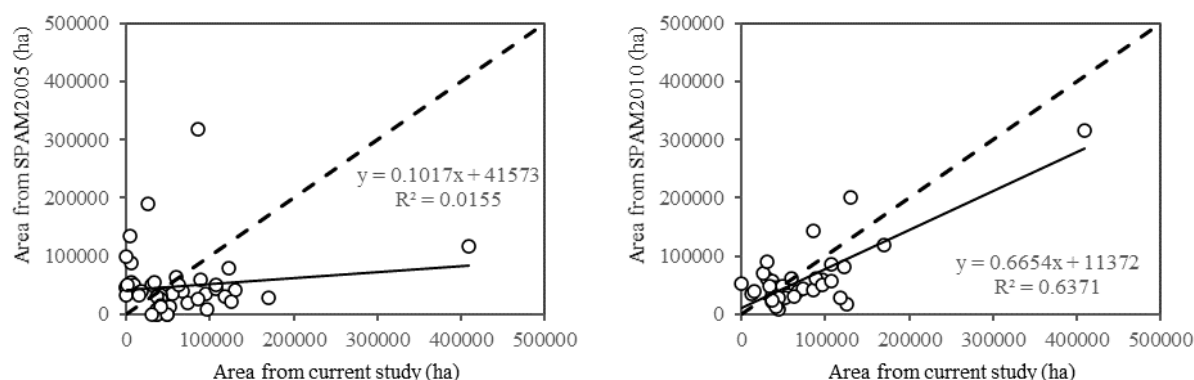
خط‌چین نشان‌دهنده نمودار یک به یک و خط نشان‌دهنده رابطه رگرسیونی بین دو متغیر.

The dashed line shows a one-to-one function, and the line indicates the regression relationship between the two variables.

قبیل برزیل (Yoy & Wood, 2004) و قاره افریقا (You & Wood, 2006) نشان داده شده است. دقت اطلاعات این نقشه‌ها و عوامل تأثیرگذار بر آن در کشورهای برزیل، چین، اتیوپی، فرانسه، هند، اندونزی، نیجریه، ترکیه و آمریکا مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس نتایج این بررسی‌ها، هر چه اطلاعات مورد استفاده در تولید نقشه‌های SPAM از مقیاس کوچک‌تری تهیه شوند، دقت نقشه‌های SPAM بیشتر خواهد بود (Joglekar et al., 2019). به‌عنوان نمونه، برای پیش‌بینی عملکرد گندم در استرالیا از نقشه‌های پراکنش تولید شده SPAM بهره گرفته شده است (Cai et al., 2019). همچنین در کشور چین برای بررسی تولید محصولات کشاورزی در ارتباط با امکان افزایش سطح زیرکشت از نقشه‌های پراکنش SPAM استفاده شده است (Yu et al., 2017).

سپس نمودار یک به یک مقادیر به‌دست آمده توسط نقشه‌های SPAM با مقادیر حاصل از نقشه تولید شده، رسم شدند (شکل ۶). این مقایسه نیز نشان داد که نقشه SPAM2010 نسبت به SPAM2005 از دقت بالاتری برخوردار بود. هر چند که دقت هر دو نسخه نقشه SPAM از نقشه‌های تولید شده در این مطالعه پایین‌تر است، اما توزیع نقاط در نزدیکی خط یک به یک برای نسخه ۲۰۱۰ نقشه SPAM حاکی از آن بود که دقت این نقشه قابل قبول است (شکل‌های ۵ و ۶).

در مطالعه حاضر، اگر چه دقت نقشه‌های تهیه شده از دقت نقشه‌های SPAM، به‌ویژه نسخه ۲۰۰۵، بهتر بود، ولی باید گفت که نقشه‌های SPAM نیز دقت لازم برای مطالعات در سطح بزرگ (کشور و بالاتر) برخوردارند. دقت قابل قبول نقشه‌های تولید شده SPAM برای پراکنش محصولات مختلف در کشورهای مختلف از



شکل ۶- مساحت سطح زیرکشت گندم در محدوده ایستگاه‌های مرجع برای گندم در حاصل از نقشه SPAM2005، SPAM2010 در مقابل مقادیر حاصل از نقشه تولید شده در مطالعه حاضر

Fig. 6- Rainfed wheat area into the buffer of the reference weather stations for rainfed wheat based on SPAM2005 and SPAM2010 map versus the same value obtained from the map produced in the current study

خطچین نشان دهنده نمودار یک به یک و خط نشان دهنده رابطه رگرسیونی بین دو متغیر.

The dashed line shows a one-to-one function, and the line indicates the regression relationship between the two variables.

در پروژه اطلس خلاً عملکرد محصولات کشاورزی (پروژه GYGA¹) برای برآورد خلاً محصولات کشاورزی در سطح کشوری از نقشه‌های SPAM بهره گرفته شده است (<http://www.yieldgap.org/>).

هر چند که دقت نقشه‌های SPAM نسخه ۲۰۱۰ در سطح کشوری قابل قبول است، اما در SPAM، نقشه پراکنش برای همه گیاهان کشور موجود نیست. در طرح تحلیل امنیت غذایی کشور، نیاز به دسترسی به نقشه پراکنش همه گیاهان زراعی و باغی کشور بود. بنابراین، با استفاده از روش ارایه شده در مطالعه حاضر نقشه پراکنش همه گیاهان کشاورزی در کشور با دقت بالاتری نسبت به نقشه‌های SPAM، تولید شدند. این نقشه‌ها برای گیاهان زراعی (یونجه

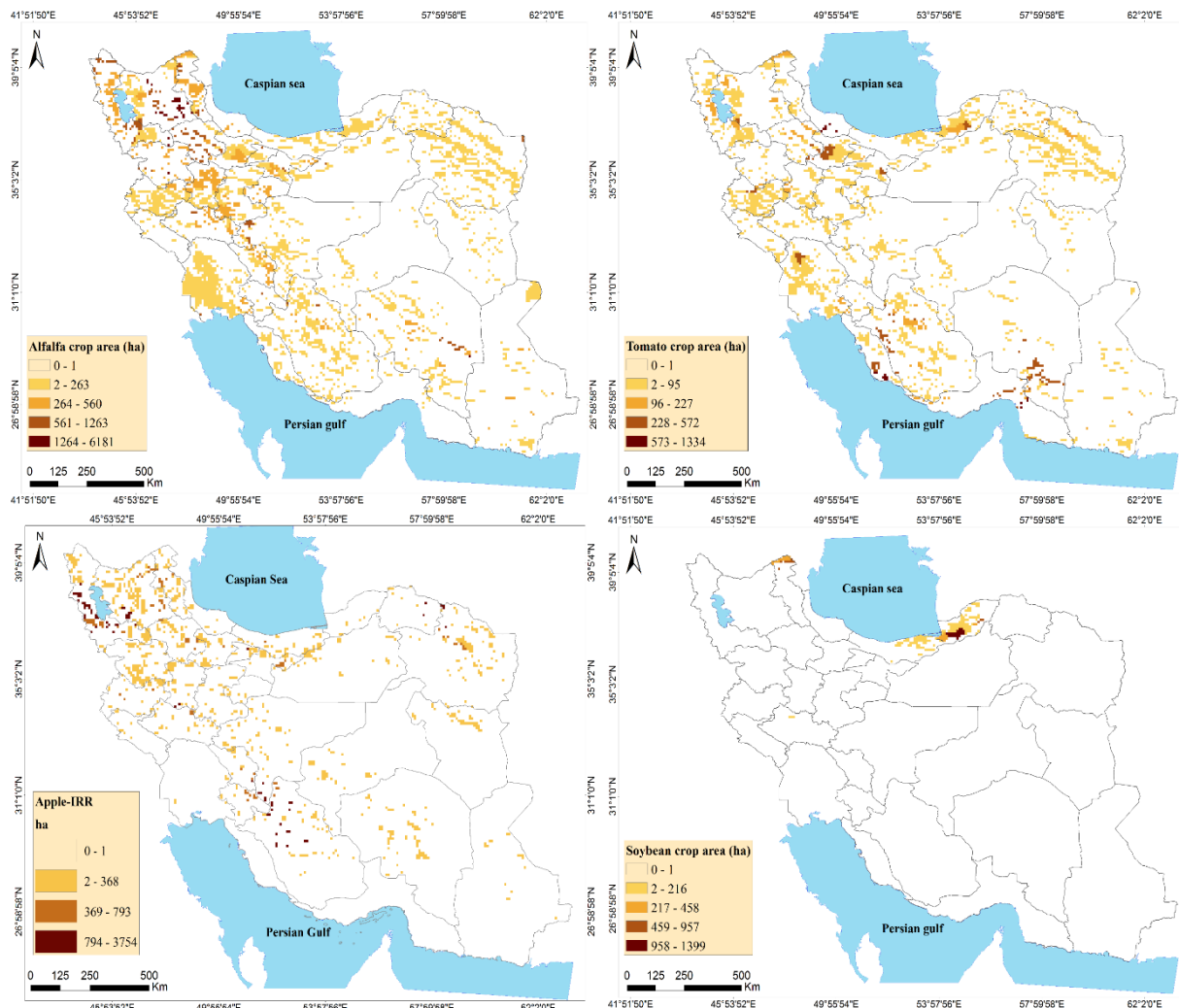
، *Pistacia vera*)، پسته (*Prunus Persica*)، هلو (*cepa Citrullus*)، هندوانه (*Solanum lycopersicum*)، گوجه‌فرنگی (*lanatus*)، گردو (*Juglans regia*) در ضمیمه همین گزارش ارایه شده‌اند. به‌عنوان نمونه در شکل ۷، نقشه پراکنش اراضی آبی زیرکشت برای چهار گیاه سیب، گوجه‌فرنگی، یونجه و سویا در کشور نشان داده شده است.

باتوجه به ارتباط تنگاتنگی که بین مدیریت کشاورزی و نحوه توزیع و پراکنش اراضی زیرکشت محصولات کشاورزی وجود دارد، بدون در نظر گرفتن الگوی کشت و پراکنش جغرافیایی سطح زیرکشت و نوع محصولات کشاورزی، امکان مدیریت بهینه محصولات کشاورزی وجود نخواهد داشت. برای بسیاری از مطالعات و برنامه‌ریزی‌ها، داشتن نقشه‌های پراکنش گیاهان یک ضرورت است. آنالیز خلاً عملکرد و بسیاری از تحقیقات در زمینه مدل‌سازی، تعیین الگوهای کشت، اتخاذ تصمیمات مدیریتی در سطح ملی نیازمند آگاهی از نحوه توزیع اراضی زیرکشت برای محصول مورد نظر می‌باشد. نقشه‌های کاربری اراضی که نمایانگر شرایط فعلی و توزیع جغرافیایی نحوه استفاده انسان از زمین است در فعالیت‌هایی مانند کشاورزی، جنگل‌داری، مرتع‌داری و همچنین در پروژه‌های مربوط به مدلسازی رشد و عملکرد گیاهان زراعی نقش اساسی ایفا می‌کنند (Wood-Sichra et al., 2016).

در پروژه اطلس خلاً عملکرد محصولات کشاورزی (پروژه GYGA¹) برای برآورد خلاً محصولات کشاورزی در سطح کشوری از نقشه‌های SPAM بهره گرفته شده است (<http://www.yieldgap.org/>).

هر چند که دقت نقشه‌های SPAM نسخه ۲۰۱۰ در سطح کشوری قابل قبول است، اما در SPAM، نقشه پراکنش برای همه گیاهان کشور موجود نیست. در طرح تحلیل امنیت غذایی کشور، نیاز به دسترسی به نقشه پراکنش همه گیاهان زراعی و باغی کشور بود. بنابراین، با استفاده از روش ارایه شده در مطالعه حاضر نقشه پراکنش همه گیاهان کشاورزی در کشور با دقت بالاتری نسبت به نقشه‌های SPAM، تولید شدند. این نقشه‌ها برای گیاهان زراعی (یونجه

، *Medicago sativa*)، جو، لوبیا (*Phaseolus vulgaris*)، کلزا (*Brassica napus*)، نخود (*Cicer arietinum*)، ذرت، پنبه، عدس (*Lens culinaris*)، برنج، کنجد (*Sesamum indicum*)، سویا، سیب‌زمینی، نیشکر، چغندر، آفتابگردان (*Helianthus annuus*)، گندم و باغبانی (بادام (*Prunus dulcis*)، زردآلو (*Prunus armeniaca*)، خرما (*Phoenix dactylifera*)، خیار (*Cucumis sativus*)، انجیر (*Ficus carica*)، انگور (*Vitis vinifera*)، انار (*Punica granatum*)، پرتقال (*Citrus sinensis*)، پیاز (*Allium*)



شکل ۷- نقشه پراکنش اراضی تولید شده برای چهار محصول یونجه، گوجه فرنگی، سیب و سویا در کشور
Fig. 7- Generated spatial distribution map in the country for alfalfa, tomato, apple, and soybean

نتیجه‌گیری

برنج، کنجد، سویا، سیب زمینی، نیشکر، چغندرقد، آفتابگردان، گندم، بادام، زردآلود، خرما، خیار، انجیر، خربزه، انگور، انار، پرتغال، پیاز، هلو، پسته، گوجه‌فرنگی، هندوانه به تفکیک شرایط دیم و آبی تهیه شدند. نقشه‌های تهیه شده در این مطالعه می‌توانند در مطالعات مختلفی به‌کار گرفته شوند. یکی از کاربردهای آن شناسایی و انتخاب ایستگاه‌های هواشناسی و نوع خاک در مطالعات شبیه‌سازی برای هر یک از گیاهان در سطح کشور است، به‌طوری‌که برآوردهای نمایده حاصل شود.

مقایسات نشان داد که نقشه‌های تولید شده در این مطالعه در مقایسه با نقشه‌های SPAM مؤسسه IFPRI برای کشور، از دقت بالاتری برخوردارند. مزایای نقشه‌های تولید شده در مطالعه حاضر

نقشه‌های پراکنش سطح زیرکشت گیاهان برای مطالعات مختلف از جمله در حوزه امنیت غذایی ضروری هستند. منبع اصلی این نقشه‌ها در سطح دنیا، پروژه SPAM مؤسسه IFPRI می‌باشد. اما، نقشه‌های این مؤسسه به دلیل آنکه در مقیاس استانی تهیه شده‌اند، در سطح کشوری و بالاتر از دقت خوبی برخوردارند، ولی در سطح کوچک‌تر دارای دقت کمتر هستند. از طرف دیگر، پروژه SPAM فاقد نقشه پراکنش برای بسیاری از گیاهان از جمله گیاهان باغبانی است. در مطالعه حاضر، نقشه‌های پراکنش ۳۳ گیاه مهم کشاورزی شامل یونجه، جو، لوبیا، کلزا، نخود، شبدر، ذرت، پنبه، عدس، ذرت علوفه‌ای،

گیاه‌های مختلف حاصل شده در این مطالعه، می‌توانند با نویسندگان مکاتبه داشته باشند.

سپاسگزاری

این مطالعه بخشی از یک پروژه مشترک بین دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی می‌باشد. نویسندگان از همکاری و پشتیبانی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی کمال تشکر را دارند.

نسبت به نقشه‌های SPAM به شرح زیر می‌باشند:

به‌روزتر بودن اطلاعات سطح زیرکشت مورد استفاده برای تولید نقشه‌ها در مطالعه حاضر

استفاده از داده سطح زیرکشت با مقیاس کوچک‌تر (در سطح شهرستان)

توجه به کاربری کنونی اراضی مختص کشور در تولید نقشه‌های پراکنش در مطالعه حاضر

امکان تولید نقشه پراکنش برای همه گیاهان موجود در کشور بر مبنای روش ارایه شده در مطالعه حاضر

لازم به ذکر است که علاقمندان برای تهیه نقشه رستری

References

- Alimagham, S.M. (2018). Determination of desired plant traits for wheat and chickpea under current and future climates of Iran. Ph.D. Thesis, *Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural*, Iran. (In Persian with English Summary)
- Cai, Y., Guan, K., Lobell, D., Potgieter, A.B., Wang, S., Peng, J., Xu, T., Asseng, S., Zhang, Y., You, L., & Peng, B. (2019). Integrating satellite and climate data to predict wheat yield in Australia using machine learning approaches. *Agricultural and Forest Meteorology*, 274, 144-159. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.03.010>
- FAO. (1981). Report of the agro-ecological zones project. World Soil Resources Report 48(1-4). Rome: FAO.
- Hertel, T. (2011). The global supply and demand for land in 2050: A perfect storm? *American Journal of Agricultural Economics*, 93(2), 259-275. <https://doi.org/10.1093/ajae/aaq189>
- <http://mapspam.info/>
- <http://www.yieldgap.org/>
- <https://www.mapspam.info/data/>
- Joglekar, A.K., Wood-Sichra, U., & Pardey, P.G. (2019). Pixelating crop production: Consequences of methodological choices. *PloS One*, 14(2), 1-16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212281>
- Liu, J., You, L., Amini, M., Obersteiner, M., Herrero, M., Zehnder, A., & Yang, H. (2010). A high-resolution assessment of global nitrogen flows in cropland. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 8035-8040. <http://doi.org/10.1073/pnas.0913658107>
- Lobell, D.B., Burke, M.B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M.D., Falcon, W.P., & Naylor, R.L. (2008). Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, 319(5863), 607-610. <https://doi.org/10.1126/science.1152339>
- Mobasheri, M.R., Rezaei, Y., & Valadan Zoej, M.J. (2007). A method in extracting vegetation quality parameters using hyperion images, with application to precision farming. *World Applied Sciences Journal*, 2(5), 476-483.
- Nelson, E., Wood, S., Koo, J., & Polasky, S. (2011). Provisioning and regulatory ecosystem service values in agriculture. In: P. Kareiva, H. Tallis, T. Ricketts, G. Daily, and S. Polasky (Eds.). *Natural Capital: Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services*. Oxford University Press, Oxford, pp. 150-167 (Chapter 9).
- Nelson, G.C. (2002). Introduction to the special issue on spatial analysis for agricultural economists. *Agricultural Economics*, 27(3), 197-200. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2002.tb00116.x>
- Nelson, G.C., Rosegrant, M., Palazzo, A., Gray, I., Ingersoll, C., Robertson, R., Tokgoz, S., Zhu, T., Sulser, T., Ringler, C., Msangi, S., & You, L. (2010). Food Security, Farming, and Climate Change to 2050. IFPRI Research Monograph. International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington, USA. <http://dx.doi.org/10.2499/9780896291867>
- Robinson, T.P., Thornton P.K., Franceschini, G., Kruska, R.L., Chiozza, F., Notenbaert, A., Cecchi, G., Herrero, M., Epprecht, M., Fritz, S., You, L., Conchedda, G., & See, L. (2011). Global livestock production systems. Rome, Food

- and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and International Livestock Research Institute (ILRI), 152.
- Wood-Sichra, U., Joglekar, A.B., & You, L. (2016). Spatial Production Allocation Model (SPAM) 2005: Technical Documentation. HarvestChoice Working Paper. Washington, D.C.: HarvestChoice, International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- You, L., & Wood, S. (2004). Assessing the spatial distribution of crop production using a cross-entropy method. *Intl Food Policy Res Inst.*
- You, L., & Wood, S. (2006). An entropy approach to spatial disaggregation of agricultural production. *Agricultural Systems*, 90(1-3), 329-347. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2006.01.008>
- You, L., Wood, S., Wood-Sichra, U., & Wu, W. (2014). Generating global crop distribution maps: From census to grid. *Agricultural Systems*. 127, 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.01.002>
- Yu, Q., Wu, W., You, L., Zhu, T., Van Vliet, J., Verburg, P.H., Liu, Z., Li, Z., Yang, P., Zhou, Q., & Tang, H. (2017). Assessing the harvested area gap in China. *Agricultural Systems*, 153, 212-220. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.02.003>
- Ziari, K. (2002). Urban land use planning (Case study: Minab). *Geographical Research*, 17, 63-78. (In Persian with English Summary)



Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungus (*Rhizophagus intraradices*) and Nitrogen Fertilizer under Different Irrigation Regimes on Quantity and Quality Characteristics of Peppermint (*Mentha piperita* L.)

Abdollah Javanmard^{1*}, Ali Ostadi² and Mostafa Amani Machiani²

How to cite this article:

Received: 07-04-2021
Revised: 15-08-2021
Accepted: 31-08-2021
Available Online: 31-08-2021

Javanmard, A., Ostadi, A., & Amani Machiani, M. (2023). Application of arbuscular mycorrhizal fungus (*Rhizophagus intraradices*) and nitrogen fertilizer under different irrigation regimes on quantity and quality characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Agroecology*. 15(1), 89-118.
DOI: [10.22067/agry.2021.69643.1034](https://doi.org/10.22067/agry.2021.69643.1034)

Introduction

Water deficit or drought stress is one of the critical abiotic stresses and limiting factors in the productivity of plants, especially in arid and semi-arid regions. In these conditions, the nutrient use efficiency by plant decrease due to the lower mobility of these elements. The application of bio-fertilizers is one of the most important and sustainable strategies for soil fertility management and plant nutrition; in addition to reducing chemical pollution, improves plant growth conditions. The application of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), as bio-fertilizer improves plant nutrients and water uptake and enhances plant resistance to stress conditions leading to improving plant growth and productivity. The objectives were evaluating the effect of different fertilizer sources (chemical fertilizer and AMF as biofertilizer) and harvesting time on the quantity and quality characteristics of peppermint under drought-stress conditions.

Materials and Methods

To evaluate the effects of different fertilizer sources and harvesting times on the quantity and quality of essential oil in peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress conditions, a field experiment was carried out at the Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran, in 2019. The study followed a split-split plot design based on a randomized complete block design (RCBD) with 36 treatments and three replications. The first factor included three irrigation levels: irrigation after depletion of 30% available water as control, depletion of 50% of available water as mild stress, and depletion of 70% of available water as severe stress. The sub-factor included different fertilizer sources, including control (C), 100% nitrogen fertilizer (NF), arbuscular mycorrhizal fungi (*Rhizophagus intraradices*) (AMF), 75% NF + AMF, 50% NF + AMF, and 25% NF + AMF. The third factor was harvesting time (first and second harvest). The distance between rows was set to be 4 m, with a plant density of 10 plants per m². In AM fungi treatments, 80 g of the soil containing mycorrhizal fungi hyphae and the remains of the root and spores (1000 g spore.10-1 g soil) was added to the soil during planting. The aerial parts of peppermint were harvested at 50% flowering stage on the first and second harvests. The data were analyzed using analysis of variance and mean comparison based on the least significant difference (LSD) test with SAS 9.3 statistical software.

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

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

(*- Corresponding author's Email: a.javanmard@maragheh.ac.ir)

Results and Discussion

The results showed that plant height, number of nodes per plant, number of leaves per plant, number of lateral branches per plant, SPAD index, dry matter yield, essential oil content, and yield were significantly affected by the interaction of fertilizer sources x irrigation levels, harvesting time, and harvesting time x irrigation levels. The highest and lowest values of morphological characteristics, leaf greenness, dry matter yield, and essential oil yield of peppermint were achieved under non-stress conditions with the application of 75% nitrogen fertilizer + AMF and severe water stress without fertilization, respectively. The maximum (2.4%) and minimum (1.2%) of essential oil content were observed under mild water stress fertilized with 75% nitrogen fertilizer + AMF and severe water stress without fertilization, respectively. The main essential oil compounds were menthol, menthone, 1,8 cineol, and menthofuran. The highest menthol and menthone content were recorded under mild water stress fertilized with 75% nitrogen fertilizer + AMF and non-stress conditions fertilized with 25% nitrogen fertilizer + AMF. The first harvest showed higher values of morphological characteristics, dry matter yield, essential oil content, and yield compared to the second harvest due to the longer growth period and better growth conditions in the first harvest.

Conclusions

The results demonstrated that the plant height, the number of nodes per plant, number of leaves per plant, the number of lateral branches per plant, SPAD index, dry matter yield and essential oil yield decreased significantly with increasing stress levels. In contrast, the application of AMF reduced the adverse effects of water stress, so that in severe water stress conditions (irrigation after depletion of 70% available water), individual and integrative application of AMF with nitrogen fertilizer increased the mentioned traits when compared with control. In addition, the mentioned traits in the first harvest increased by 127.8, 194.6, 159.8, 147.7, 17.7, and 37.9% in comparison with the second harvest. Also, the essential oil content of peppermint is enhanced with increasing water stress to mild stress. So, the essential oil content in mild stress increased by 11.4 and 39.7%, respectively, when compared with non-stress and severe stress. The highest essential oil yield was achieved at the first harvest with the integrative application of 75% NF+ AMF. Also, the major essential oil compounds of peppermint (menthol) was recorded in mild stress integrated with 75% nitrogen fertilizer+ AMF. Generally, considering that the economic purpose of cultivating medicinal plants is extracting the maximum content of secondary metabolites, and since the productivity of peppermint essential oil increased significantly by the integrative application of 75% nitrogen fertilizer+ mycorrhiza in mild stress, it can be suggested as a superior treatment.

Keywords: Bio-fertilizer, Essential oil yield, Menthol, Sustainable agriculture, Water deficit



مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، ص ۸۹-۱۱۸

کاربرد قارچ میکوریز (*Rhizophagus intraradices*) و کود نیتروژنه در رژیم‌های مختلف آبیاری بر خصوصیات کمی و کیفی نعنای فلفلی (*Mentha piperita* L.)

عبدالله جوانمرد^{۱*}، علی استادی^۲ و مصطفی امانی ماحیانی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۵/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۹

چکیده

به منظور ارزیابی اثر سطوح آبیاری و منابع کودی مختلف بر صفات مورفولوژیک، کمیت و کیفیت اسانس نعنای فلفلی در دو چین، آزمایشی به صورت اسپلیت اسپلیت پلات با ۳۶ تیمار و سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه در سال زراعی ۱۳۹۸ اجرا شد. فاکتور اصلی شامل سطوح مختلف آبیاری در سه سطح: آبیاری پس از ۳۰ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی (آبیاری نرمال)، آبیاری پس از ۵۰ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی (تنش ملایم) و آبیاری پس از ۷۰ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی (تنش شدید) بود. همچنین فاکتور فرعی منابع مختلف کودی را در شش سطح: عدم مصرف کود (شاهد)، ۱۰۰ درصد کود نیتروژنه، قارچ میکوریز (*Rhizophagus intraradice*)، ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز، ۵۰ درصد کود نیتروژنه + میکوریز و ۲۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز شامل می‌شد و فاکتور فرعی هم شامل زمان برداشت در دو چین بود. نتایج نشان داد، همه صفات مورد مطالعه تحت تأثیر معنی‌دار کود، چین، اثر متقابل تنش × کود، اثر متقابل چین × تنش قرار گرفتند. همچنین، اثر متقابل چین × کود بر صفات ارتفاع بوته، تعداد گره، تعداد شاخه جانبی در بوته و عملکرد اسانس معنی‌دار بود. بیشترین ارتفاع بوته، شاخص کلروفیل و عملکرد ماده خشک به ترتیب در آبیاری نرمال با کاربرد ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز و کمترین مقادیر این صفات در تیمار تنش آبی شدید بدون مصرف کود به دست آمد. علاوه بر این، کاربرد ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز منجر به افزایش ۴۴/۱، ۳۸/۸ و ۲۱/۱ درصد این صفات نسبت به شاهد گردید. همچنین، چین اول نسبت به چین دوم به ترتیب منجر به افزایش ۱۲۷/۸، ۱۷/۷ و ۲۷/۹ درصدی این صفات گردید. بیشترین (۲/۴ درصد) و کمترین (۱/۲ درصد) درصد اسانس به ترتیب در تیمارهای تنش آبی ملایم با کاربرد ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز و تنش آبی شدید بدون مصرف کود حاصل شد. بر اساس آنالیز شیمیایی اسانس، منتول، منتون، ۸ و ۱ سینئول و متوفروان ترکیبات غالب اسانس بودند. بیشترین میزان منتول در تنش آبی ملایم با کاربرد ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز به دست آمد. با توجه به نتایج، کاربرد تلفیقی ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز در شرایط تنش آبی ملایم و در چین اول را می‌توان به عنوان تیمار برتر معرفی کرد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد اسانس، کشاورزی پایدار، کمبود آب، کود زیستی، منتول

مقدمه

۲- استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه

مراغه، مراغه، ایران.

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

۱- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه،

مراغه، ایران.

بیش از ۷۵ درصد اراضی ایران جزو اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌گردد. متوسط بارندگی سالانه در ایران ۲۲۴-۲۷۵ میلی‌متر است که ۷۰ درصد کمتر از متوسط جهانی (۹۹۰ میلی‌متر در سال) می‌باشد (Biglari et al., 2019). گزارش‌های جهانی تغییرات اقلیمی، کاهش بارندگی، افزایش دما و خشکسالی را برای این منطقه پیش‌بینی کرده‌اند. تنش خشکی یکی از مهمترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در سرتاسر جهان و جزو شایع‌ترین تنش‌های محیطی محسوب می‌شود (Varma et al., 2018). تنش خشکی با توجه به مدت زمان، دوام و اندازه کمبود آن تأثیرات منفی بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاهان دارد. در طی مراحل رشدی گیاه، تنش خشکی باعث کاهش رشد ریشه، جذب آب، مواد مغذی، بزرگ شدن سلول‌ها، سنتز کلروفیل، گسترش برگ، فتوسنتز، ارتفاع بوته و سطح برگ می‌شود (Gao et al., 2020). اولین پاسخ گیاه به تنش خشکی این است که با کاهش پتانسیل آب برگ، روزه‌ها بسته شده و به دنبال آن تعرق کاهش می‌یابد. در نتیجه، با کم شدن غلظت کربن دی‌اکسید، فتوسنتز کاهش می‌یابد. پایین بودن غلظت کربن دی‌اکسید درون سلولی باعث کاهش واکنش‌های چرخه کالوین می‌شود که در نتیجه آن ATP و NADPH کمتری مصرف خواهد شد.

بسیاری از گیاهان به‌خصوص گیاهان دارویی و معطر دارای مکانیسم‌های خاصی (افزایش متابولیت‌های ثانویه) جهت مقابله با شرایط کم‌آبی و افزایش کارایی مصرف آب می‌باشند (Morshedloo et al., 2017). به‌عنوان مثال در پژوهشی، تنش آبی عملکرد و ترکیبات اصلی اسانس (لینالول و متیل کاپریکول) در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) را افزایش داد (Khalid, 2006). در پژوهشی دیگری با بررسی سطوح مختلف تنش آبی روی مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.)، گزارش شد که تنش آبی متوسط (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) منجر به افزایش درصد و عملکرد اسانس نسبت به شاهد گردید. همچنین بیشترین میزان آلفا توچن، ۸۱ سینئول و کامفور در تنش آبی متوسط به‌دست آمد (Govahi et al., 2015). صفی‌خانی و همکاران (Safikhani et al., 2007) به‌منظور بررسی تنش کم‌آبی روی گیاه دارویی بادرشبی (*Dracocephalum moldavica* L.) گزارش کردند که تنش کم‌آبی (۴۰ درصد ظرفیت

زراعی)، موجب کاهش ارتفاع بوته، طول، عرض برگ، طول میان‌گره، عملکرد اندام هوایی و عملکرد اسانس نسبت به شاهد شد. همچنین کم‌آبی باعث افزایش درصد اسانس نسبت به تیمار بدون تنش گردید و بیشترین اسانس مربوط به تنش متوسط (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) بود. در مطالعه‌ای دیگر با ارزیابی سطوح مختلف تنش آبی روی نعنای فلفلی گزارش شد که با افزایش تنش آبی مساحت سطح برگ، تعداد برگ و وزن خشک برگ کاهش یافت، ولی درصد اسانس با افزایش تنش آبی افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین میزان درصد اسانس در تنش آبی ۲۵ درصد ظرفیت زراعی مشاهده گردید که تفاوت معنی‌داری با ۵۰ درصد ظرفیت زراعی نداشت (Rahimi et al., 2018).

نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) یک گیاه دارویی چندساله متعلق به خانواده نعنائیان (Lamiaceae) با مصرف سالانه ۷۰۰۰ تن اسانس در جهان از اهمیت اقتصادی زیادی برخوردار می‌باشد. نعناع فلفلی یک گیاه هیبرید بین گونه‌ای است که والدین آن را *Mentha aquatic* و *Mentha spicata* ذکر کرده‌اند (Peter, 2006). عصاره نعناع فلفلی حاوی تریپنویئیدها، فلاونوئیدها، پلی‌فنول‌ها، کاروتن، آلفا توکوفرول، بتائین و کولین می‌باشند که حاوی خاصیت آنتی‌اکسیدانی هستند. این ترکیبات با غیر فعال کردن رادیکال‌های آزاد، از آسیب به ساختارهای بیولوژیکی گیاه جلوگیری می‌کنند (Chiappero et al., 2019).

در طول دهه‌های گذشته به‌دلیل افزایش جمعیت، استفاده از کودهای شیمیایی برای تولید بیشتر محصولات کشاورزی افزایش یافته که این امر منجر به تخریب ساختمان خاک، تجمع فلزات سنگین، تشدید آلودگی‌های زیست‌محیطی، به خطر افتادن سلامت انسان‌ها و کاهش ارزش غذایی محصولات کشاورزی شده است. در اکثر کشورهای جهان از جمله ایران به‌میزان عناصر سمی همراه کود (فلزات سنگین مثل جیوه، کادمیوم، سرب و آرسنیک) توجهی ندارند. این آلاینده‌های سمی در خاک باقی مانده و مشکلات زیست‌محیطی از قبیل آلودگی آب‌های زیرزمینی، اوتروفیکاسیون، کاهش تنوع زیستی، تخریب لایه اوزون و به خطر افتادن امنیت غذایی در آینده را به بار می‌آورند. از طرفی، کارایی جذب عناصر غذایی در شرایط خشکی کاهش می‌یابد (Nadarajan & Sukumaran, 2021). لذا پایین بودن کارایی جذب کودهای شیمیایی از یک طرف و اثرات منفی کاربرد این کودها در درازمدت، لزوم استفاده از کشاورزی پایدار

نسبت به عدم مصرف قارچ گردید (Vafayi Rostami et al., 2019). در پژوهشی دیگر نیز با کاربرد قارچ میکوریز (*Rhizophagus intraradices*, *Funneliformis mosseae*) روی آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) مشاهده شد که تلقیح با قارچ میکوریز اثرات سوء تنش آبی را کاهش داد. به طوری که در شرایط تنش، تلقیح با قارچ میکوریز به افزایش وزن خشک ریشه، ساقه، درصد و عملکرد اسانس منجر گردید همچنین بیشترین میزان تیمول در شرایط بدون تنش و تلقیح با قارچ میکوریز به دست آمد (Abdollahi Arpanahi & Feizian, 2019). در مطالعه‌ای دیگر مشاهده کردند که وزن خشک ساقه، تعداد برگ، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و جذب عناصر غذایی در دو اکوتیپ کاسنی (سفید اصفهان و سیاه شیراز) (*Cichorium intybus* L.) با کاربرد قارچ میکوریز (*Rhizophagus irregularis*) نسبت به عدم کاربرد قارچ در شرایط تنش خشکی افزایش یافت (Safahani Langeroodi et al., 2020). در پژوهشی دیگر که روی دو ژنوتیپ (IC 599368 و IC 589192) ریحان (*Ocimum tenuiflorum* L.) انجام شد، مشخص شد که کاربرد قارچ میکوریز (*Rhizophagus intraradices*) منجر به افزایش وزن خشک برگ و درصد اسانس در هر دو گونه نسبت به عدم کاربرد قارچ میکوریز شد. همچنین بیشترین میزان بتا کاربوفیلین و بتا الیمین در هر دو گونه با کاربرد قارچ میکوریز به دست آمد (Thokchom et al., 2020).

از آنجایی که راهکارهای زیادی به منظور کاهش اثرات منفی تنش خشکی وجود دارد (Farooq et al., Seleiman et al., 2021)؛ (2009). در این بین، تلقیح با قارچ میکوریز به دلیل داشتن توانایی بالقوه در بهبود اثرات مخرب تنش خشکی مورد توجه زیادی قرار گرفته است. بدین منظور، آزمایشی با هدف ارزیابی تأثیر قارچ میکوریز و کود نیتروژنه به صورت جداگانه و تلفیقی بر صفات رشدی، کمیت و کیفیت اسانس نعنای فلفلی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری در شرایط آب و هوایی مراغه اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت اسپلیت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با ۳۶ تیمار و سه تکرار در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۳ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۱۴۸۵ متر از

را ضروری می‌سازد (Solanki et al., 2015). استفاده از کودهای زیستی همچون قارچ میکوریز به عنوان جایگزین مناسب کودهای شیمیایی مورد توجه قرار گرفته است. قارچ میکوریز با بیش از ۸۰ درصد گونه‌های گیاهی رابطه هم‌زیستی برقرار می‌کند (Varma et al., 2018). به دلیل افزایش سطح مؤثر ریشه و توانایی افزایش جذب فسفر از منابع غیرمتحرک به واسطه فعالیت آنزیم فسفاتاز و ترکیبات آلی حل‌کننده فسفات نامحلول، موجب استفاده تجاری از قارچ‌های میکوریز آربوسکولار به عنوان کودهای زیستی شده است (Willmann et al., 2013). این قارچ‌ها مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی از قبیل خشکی، کمبود مواد غذایی و شوری را بهبود می‌بخشند (Lenoir et al., 2016). در شرایط تنش آبی نرخ تبادل گاز (هدایت روزنه‌ای، تعلق و سرعت فتوسنتز) در گیاهان تلقیح شده با قارچ افزایش می‌یابد (Egamberdieva et al., 2015). همچنین هیف‌های خارجی قارچ میکوریز مساحت سطح جذبی ریشه را افزایش داده که این عمل مقاومت در برابر جذب آب از طریق ریشه‌ها را کاهش داده و از این طریق مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی افزایش می‌یابد (Varma et al., 2018).

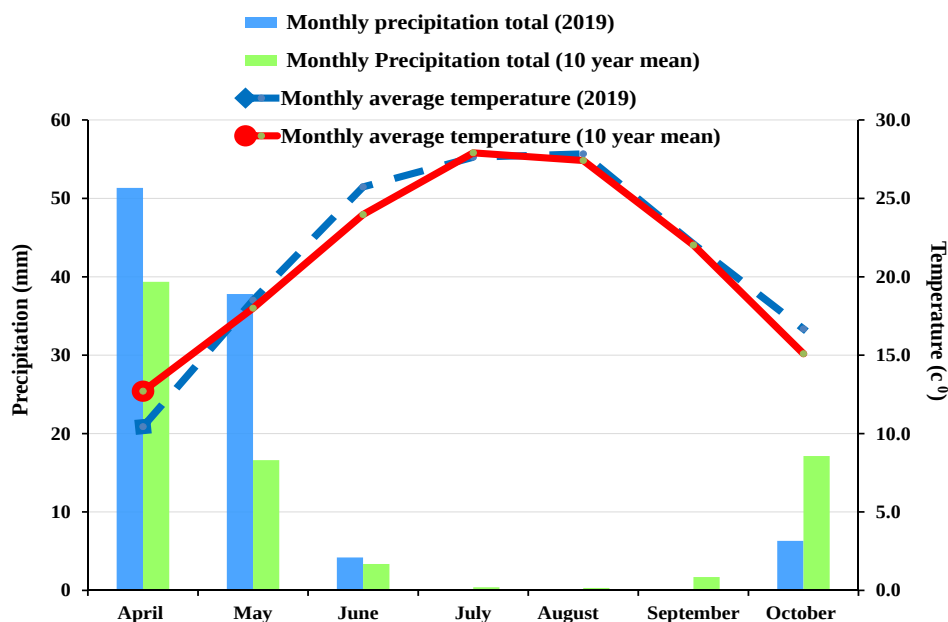
در پژوهشی با بررسی تأثیر قارچ میکوریز (*Glomus mossae*، *G. hoci* و *G. intraradices*)، سطوح مختلف آبیاری و فسفر روی نعنای فلفلی گزارش شد که با افزایش تنش آبی، صفات رویشی، فیزیولوژیکی و عملکرد اسانس کاهش یافت. اما کاربرد ترکیبی هر سه قارچ میکوریز منجر به افزایش ۳۶/۹ درصدی وزن خشک کل شد. بیشترین میزان درصد اسانس در تنش آبی شدید (۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) و کاربرد ترکیبی قارچ‌ها به دست آمد. همچنین بیشترین عملکرد اسانس در تنش آبی ملایم (۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) و با کاربرد قارچ *Glomus mossae* + ۵۰ درصد فسفر توصیه شده به دست آمد (Eslami Fard et al., 2019). در مطالعه دیگری نیز با بررسی تأثیر قارچ‌های *Trichoderma harzianum* و *Piriformospora indica* بر صفات مورفولوژیک و عملکرد اسانس نعنای فلفلی در سطوح مختلف تنش آبی و فسفر مشاهده شد که بیشترین عملکرد اسانس در آبیاری ۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر و با کاربرد تلفیقی هر دو قارچ و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر به دست آمد. همچنین کاربرد تلفیقی دو قارچ به ترتیب منجر به افزایش ۱۴/۳ و ۱۶/۲ درصدی وزن ماده خشک و عملکرد اسانس

درصد کود نیتروژنه + قارچ میکوریز، ۵۰ درصد کود نیتروژنه + میکوریز و ۲۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز بود. نیتروژن مورد نیاز در این آزمایش از منبع کود اوره (دارای ۴۶ درصد نیتروژن خالص) محاسبه و تأمین گردید. همچنین فاکتور فرعی شامل زمان برداشت (چین اول و دوم) بود. قبل از اجرای آزمایش یک نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن انتخاب و مورد تجزیه قرار گرفت (جدول ۱).

سطح دریا در سال ۱۳۹۸ اجرا گردید. فاکتور اصلی شامل سطوح مختلف آبیاری در سه سطح، آبیاری پس از ۳۰ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی (آبیاری نرمال)، آبیاری پس از ۵۰ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی (تنش ملایم) و آبیاری پس از ۷۰ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی (تنش شدید) بود. فاکتور فرعی هم منابع مختلف کودی شامل عدم مصرف کود (شاهد)، ۱۰۰ درصد کود نیتروژنه (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص) (Peter, Omidbaigi, 2012)؛ (2006)، کاربرد قارچ میکوریز (*Rhizophagus intraradices*)، ۷۵

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک قبل از شروع آزمایش (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر)
Table 1- Soil analysis results before beginning the experiment (depth 0-30 cm)

نیتروژن کل	فسفر قابل جذب	ظرفیت تبادل کاتیونی	مقدار پتاسیم تبادلی	pH	هدایت الکتریکی	ماده آلی	رس	سیلت	شن	بافت
Total N (%)	Available P (mg.kg ⁻¹)	Cation exchange capacity (Cmolc.kg ⁻¹)	Amount of exchangeable K (mg.kg ⁻¹)		EC (dS.m ⁻¹)	Organic matter (%)	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	Texture
0.089	9.42	27	570.85	8.16	1.18	0.08	27.5	16.5	56	لومی رسی شنی Sandy clay loam



شکل ۱- مجموع بارش ماهانه و میانگین دمای ماهانه سال ۱۳۹۸ در حین اجرای آزمایش در مقایسه با میانگین ۱۰ ساله
Fig. 1- Monthly total rainfall and mean temperature in 2018 during the experiment in comparison with the 10-year (2008–2018) average values

(سانتی‌متر)، درصد تنش اعمال شده (۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد)، عمق آبیاری (۲۰ سانتی‌متر)، کارایی آبیاری (۶۵ درصد در نظر گرفته شده است) و میزان نهایی آبیاری در تنش‌های مختلف می‌باشد. برای محاسبه حجم آبیاری، از حاصل ضرب مقدار عمق خالص آبیاری محاسبه شده در مساحت هر کرت استفاده شد. با توجه به اینکه نوع آبیاری مورد استفاده در این آزمایش قطره‌ای بود، جهت محاسبه میزان زمان مورد نیاز برای رسیدن به حجم مطلوب هر کرت، نیاز به تعیین میزان سطح خیس شوندگی خاک (P_w) بود (Mumivand, 2016).

$$P_w = W/D \quad (۴) \text{ معادله}$$

که در آن، P_w ، W و D : به ترتیب درصد سطح خیس شده مزرعه، عرض خیس شده توسط قطره چکان و فاصله بین ردیف‌های کشت می‌باشد. با توجه به این که تعداد قطره چکان موجود در هر کرت و همچنین دبی آب ورودی (اندازه گیری شده توسط فلومتر) به سطح هر کرت مشخص می‌باشد، زمان مورد نیاز برای رسیدن به حجم آبیاری مورد نظر برای هر کرت از طریق معادله زیر محاسبه گردید (Mumivand, 2016):

(۵) معادله

$$\text{حجم آب مورد نیاز} = \frac{\text{دبی آب ورودی} \times \text{تعداد قطره چکان در هر کرت}}{\text{زمان مورد نیاز}}$$

شاخص کلروفیل توسط دستگاه کلروفیل متر^۴ مدل Spad 502 Plus ساخت کشور ژاپن، از آخرین برگ کاملاً توسعه یافته در پنج بوته به طور تصادفی اندازه‌گیری شد. در نهایت، بعد از حذف اثرات حاشیه، برداشت در هر دو چین در مساحتی معادل دو مترمربع با هدف اندازه‌گیری ارتفاع بوته، تعداد گره در بوته، تعداد برگ در بوته، تعداد شاخه جانبی در بوته، وزن کل ماده خشک، درصد و عملکرد اسانس صورت گرفت. لازم به ذکر است در هر دو چین، برداشت در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی انجام گرفت که برداشت چین اول و دوم به ترتیب مصادف با نیمه اول مرداد و مهرماه بود. برای تعیین وزن خشک، نمونه‌های برداشت شده از هر کرت را در سایه تا ثابت شدن وزن نگهداری شدند. همچنین برای استخراج اسانس از کلونجر استفاده شد. اسانس‌گیری به مدت سه ساعت صورت گرفت، ابتدا اسانس‌های استخراج شده با سولفات سدیم خشک آب‌گیری و سپس داخل ویال

به‌منظور آماده‌سازی زمین جهت کاشت، ابتدا در پاییز ۱۳۹۷ شخم نیمه عمیق توسط گاواهن برگردان‌دار انجام و در بهار ۱۳۹۸ پس از شخم سطحی، برای نرم کردن خاک از دو نوبت دیسک عمود بر هم استفاده گردید. هر کرت شامل پنج خط کاشت به طول چهار متر بود. فواصل بین کرت‌های اصلی، فرعی و بین بلوک‌ها به ترتیب ۱/۵، ۰/۵ و دو متر در نظر گرفته شد. سپس ریزوم‌ها در اواسط اردیبهشت ماه با تراکم ۱۰ بوته در متر مربع در عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک با دست کشت شدند. همچنین فواصل بین و روی ردیف‌های کشت به ترتیب ۴۰ و ۲۵ سانتی‌متر لحاظ گردید (Clark & Read, 2000). فارچ میکوریز مورد استفاده در این تحقیق (*Rhizophagus intraradices*)، از شرکت زیست فناوری پیشتاز واریان کرج تهیه گردید. موقع کاشت به مقدار ۸۰ گرم از خاک حاوی هیف‌های فارچ میکوریز، بقایای ریشه و اسپور (حدود ۱۰۰۰ اسپور در هر ۱۰ گرم خاک)، در هر ردیف کشت استفاده گردید. علاوه‌براین، کود اوره نیز در سه نوبت (هم‌زمان با کاشت، قبل از مرحله گل‌دهی در چین اول و بعد از برداشت چین اول) بر اساس تیمارهای مورد نظر استفاده شد (Peter, 2006; Omidbaigi, 2012). اولین نوبت آبیاری بلافاصله بعد از کاشت به‌صورت قطره‌ای و در مراحل بعدی تا شروع اعمال تیمارها هر شش روز یک‌بار صورت گرفت (Marcum & Hanson, 2006; Telci et al., 2011). به‌منظور سازگاری بیشتر نشاهای منتقل شده به خاک و حصول رشد بهینه در ماه اول هیچ گونه تنشی اعمال نگردید. برای اعمال سطوح تنش خشکی از دستگاه تی‌دی‌آر^۱ بر اساس حداکثر درصد تخلیه مجاز^۲ از آب در دسترس^۳ در عمق ۲۰ سانتی‌متری استفاده شد. اعمال تنش‌ها با استفاده از معادله‌های زیر مورد محاسبه قرار گرفت (Bahreininejad et al., 2013):

$$SAW = (\theta_{fc} - \theta_{pwp}) \times d \times 100 \quad (۱) \text{ معادله}$$

$$I_d = SAW \times p \quad (۲) \text{ معادله}$$

$$I_g = [I_d \times 100] / E_a \quad (۳) \text{ معادله}$$

که در آن، θ_{fc} ، θ_{pwp} ، d ، p ، I_d و E_a : به ترتیب ظرفیت زراعی خاک (۲۷/۴ درصد)، نقطه پژمردگی دائم (۱۳/۹ درصد)، عمق خاک

1- Time-Domain Reflectometry, Model TRIME-FM, England

2 - Maximum allowable depletion- MAD

3 - Soil available water- SAW

شیشه‌ای در دمای چهار درجه سانتی‌گراد تا زمان آنالیز نگهداری شدند. درصد و عملکرد اسانس براساس معادله‌های زیر محاسبه شدند (Morshedloo et al., 2017):

معادله (۶)

$$100 \times (\text{وزن خشک نمونه (۴۰ گرم)} / \text{وزن اسانس}) = \text{درصد اسانس}$$

معادله (۷)

$$\text{درصد اسانس} \times \text{ماده کل خشک (گرم در مترمربع)} = \text{عملکرد اسانس}$$

شناسایی ترکیبات اسانس

برای شناسایی ترکیبات اسانس از دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل شده به طیف‌سنجی جرمی (GC-MS) مدل Agilent 5977A ساخت کشور آمریکا، با ستون HP-5 MS (پنج درصد فنیل متیل پلی سیلوکسان، به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت ماده جاذب ۰/۲۵ میکرومتر) استفاده شد. در برنامه‌ریزی دمایی آون، ابتدا دما در عرض پنج دقیقه به ۶۰ درجه سانتی‌گراد رسیده سپس به تدریج دما با سرعت سه درجه سانتی‌گراد بر دقیقه افزایش یافت تا به دمای ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد رسید. بعد از آن به مدت ۲۰ دقیقه در این دما نگهداری شد. هلیوم به عنوان گاز حامل با سرعت جریان یک میلی‌لیتر بر دقیقه استفاده شد. ولتاژ یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت، روش یونیزاسیون EI و دمای یونیزاسیون ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد بود. محفظه تزریق در حالت تقسیم (نسبت تقسیم ۱:۳۰) تنظیم شده بود و محدوده جذب جرمی از ۴۰ تا ۴۰۰ m.z⁻¹ بود. به منظور محاسبه شاخص بازداری پیک‌ها، مخلوطی از هیدروکربن‌های آلیفاتیک (C8-C40) تحت شرایط تحلیلی بالا به داخل سیستم GC تزریق شد. نرم افزار مورد استفاده Chemstation بود. محاسبه و شناسایی ترکیبات اسانس به کمک شاخص‌های بازداری خطی آن‌ها و مقایسه آن با شاخص‌های موجود در کتاب مرجع (Adams, 2007) و با استفاده از طیف‌های جرمی ترکیبات استاندارد و استفاده از اطلاعات موجود در کتابخانه کامپیوتری صورت گرفت (Morshedloo et al., 2018). به منظور محاسبه شاخص بازداری از معادله زیر استفاده گردید (Babushok et al., 2007):

$$\text{معادله (۸)} \quad (100 \times n) + (100 \times (t_x - t_n)) / (t_{n+1} - t_n)$$

که در آن، n: شماره هیدروکربن‌های آلیفاتیک رفرنس پایین‌تر از زمان بازداری ترکیب اسانس، t_x: زمان بازداری ترکیب اسانس، t_n: زمان بازداری هیدروکربن‌های آلیفاتیک رفرنس که قبل از ترکیب

اسانس از ستون خارج می‌شود و t_{n+1}: زمان بازداری هیدروکربن‌های آلیفاتیک رفرنس که بعد از ترکیب اسانس از ستون خارج می‌شود، می‌باشند.

برای جداسازی ترکیبات از دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل Agilent 7990B ساخت کشور آمریکا با آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای (FID) و ستون VF-5MS استفاده شد. دمای تزریق و آشکارساز به ترتیب روی ۲۳۰ و ۲۴۰ سانتی‌گراد تنظیم شده بودند. گاز هلیوم با سرعت جریان یک میلی‌لیتر بر دقیقه و نسبت تقسیم ۱:۲۴ استفاده شده بود. نمونه‌های اسانس به نسبت ۱:۱۰۰ در هگزان رقیق-سازی و به میزان یک میکرولیتر تزریق شدند. کمی کردن ترکیبات اسانس با استفاده از نرمال‌سازی سطح پیک و بدون استفاده از ضرایب اصلاح انجام شد (Amani Machiani et al., 2018b). با تجزیه اسانس نعناع فلفلی، ۲۹ ترکیب شناسایی شد. در بین ترکیبات اسانس منتول، منتون، ۸ و ۱ سینئول، منتوفوران، نئوایزو-منتول، نئومنترول و دلتا-ترپینئول ترکیبات غالب اسانس بودند. در نهایت، بعد از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس به صورت اسپلیت اسپلیت پلات و با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۳ انجام شد. همچنین برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

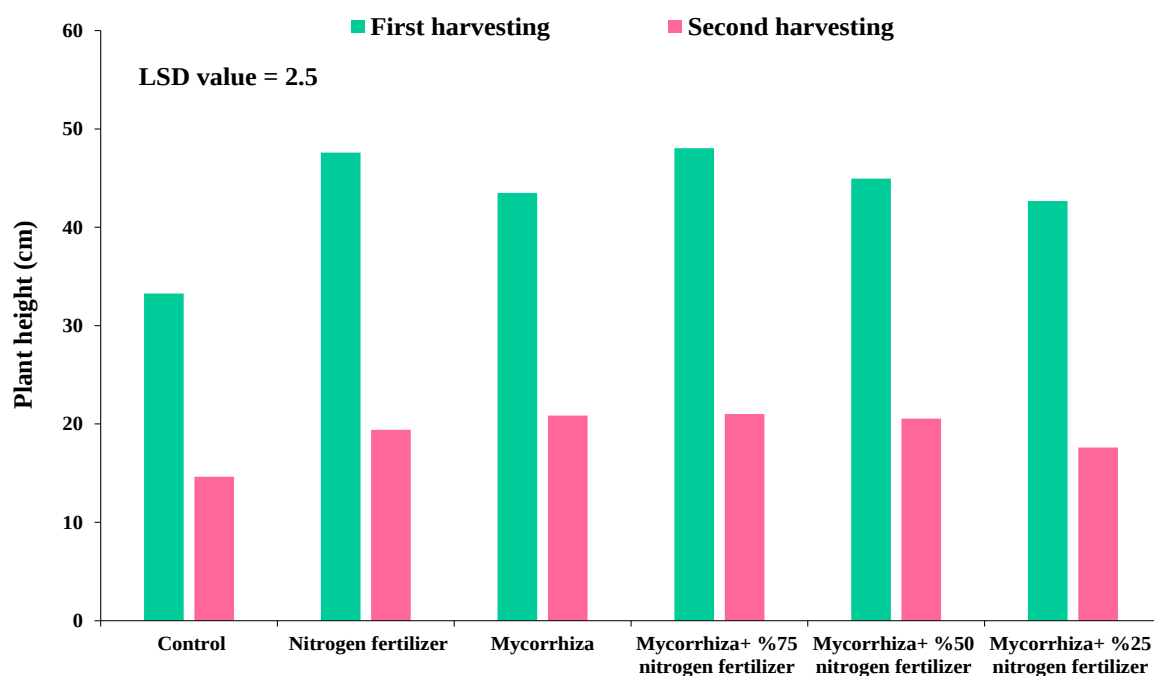
نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع بوته تحت تأثیر معنی‌دار اثرات ساده تنش، کود، چین و اثرات متقابل تنش × کود، چین × تنش و چین × کود در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). با افزایش تنش آبی ارتفاع بوته کاهش یافت، به طوری که بیشترین (۳۸/۲ سانتی‌متر) ارتفاع بوته در آبیاری نرمال با کاربرد ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۱۰۰ درصد کود نیتروژنه در آبیاری نرمال نداشت و کمترین ارتفاع بوته (۱۹/۶ سانتی‌متر) هم در تنش شدید بدون مصرف کود به دست آمد (جدول ۳). همچنین بر اساس نتایج اثر متقابل چین × تنش آبی، بیشترین ارتفاع بوته در چین اول و در آبیاری نرمال به دست آمد (جدول ۴). علاوه بر این، بر اساس نتایج اثر متقابل چین × کود، بیشترین ارتفاع بوته در چین اول با کاربرد تلفیقی ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد ۱۰۰

روبیسکو، کاهش می‌یابد که می‌تواند منجر به افزایش پتانسیل آب گیاه شود (Varma et al., 2018). در تنش خشکی قارچ میکوریز با افزایش سنتر هورمون آبسزیک اسید در ریشه و انتقال آن به اندام‌های هوایی باعث بسته شدن روزنه‌ها، کاهش از دست دادن آب و حفظ تورژانس سلول‌ها می‌شود، همچنین قارچ میکوریز احتمالاً به جذب بهتر عناصر غذایی از قبیل نیتروژن و فسفر کمک کرده که در نهایت، منجر به بهبود صفات رشدی و عملکردی از قبیل ارتفاع بوته و تعداد شاخ و برگ می‌گردد (Ludwig-Müller, 2010). در پژوهشی، کاربرد قارچ میکوریز (*Rhizophagus clarus*) منجر به افزایش ۴۱/۳ و ۱۵/۲ درصدی ارتفاع بوته و تعداد برگ در هر بوته نعنای (*Mentha crispa* L.) نسبت به شاهد گردید (Urcoviche et al., 2015). همچنین در پژوهشی که با کاربرد سطوح مختلف تنش آبی و دو گونه قارچ میکوریز (*Glomus intraradices* و *Glomus mosseae*) روی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) انجام شد، مشخص گردید که بیشترین ارتفاع بوته و وزن خشک در آبیاری نرمال و با کاربرد قارچ میکوریز به دست آمد (Gheisari Zardak et al., 2017).

درصد کود نیتروژنه در همان برداشت نداشت (شکل ۲). بیشتر بودن ارتفاع بوته در چین اول نسبت به چین دوم به بیشتر بودن طول دوره در چین اول و ایجاد شرایط بهینه برای گیاه در چین اول (از قبیل بیشتر بودن طول روز و تابش آفتاب، دمای محیط و ...) نسبت به چین دوم مربوط می‌شود (Amani Machiani et al., 2018a). در پژوهشی با بررسی منابع مختلف کودی بر خصوصیات کمی و کیفی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) مشاهده گردید؛ که چین اول نسبت به چین دوم منجر به افزایش ۳۱/۵ درصد ارتفاع بوته گردید (Bigonah et al., 2014). ارتفاع گیاه به عنوان یکی از شاخص‌های مهم رشدی برای نشان دادن رشد محصول و جذب نیتروژن در مرحله رویشی گیاه به حساب می‌آید و یکی از صفات مهمی است که عملکرد محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Jiang et al., 2020). بر اثر تنش کم‌آبی، تورژانس سلولی کاهش در نتیجه، باعث کاهش رشد و نمو، تقسیم و طولی شدن سلول‌های به‌ویژه در قسمت‌های هوایی گیاه می‌گردد. بر اثر کمبود آب هدایت روزنه‌ای بر اثر افزایش مقاومت در برابر انتشار گاز کربن دی‌اکسید به دلیل مهار فعالیت



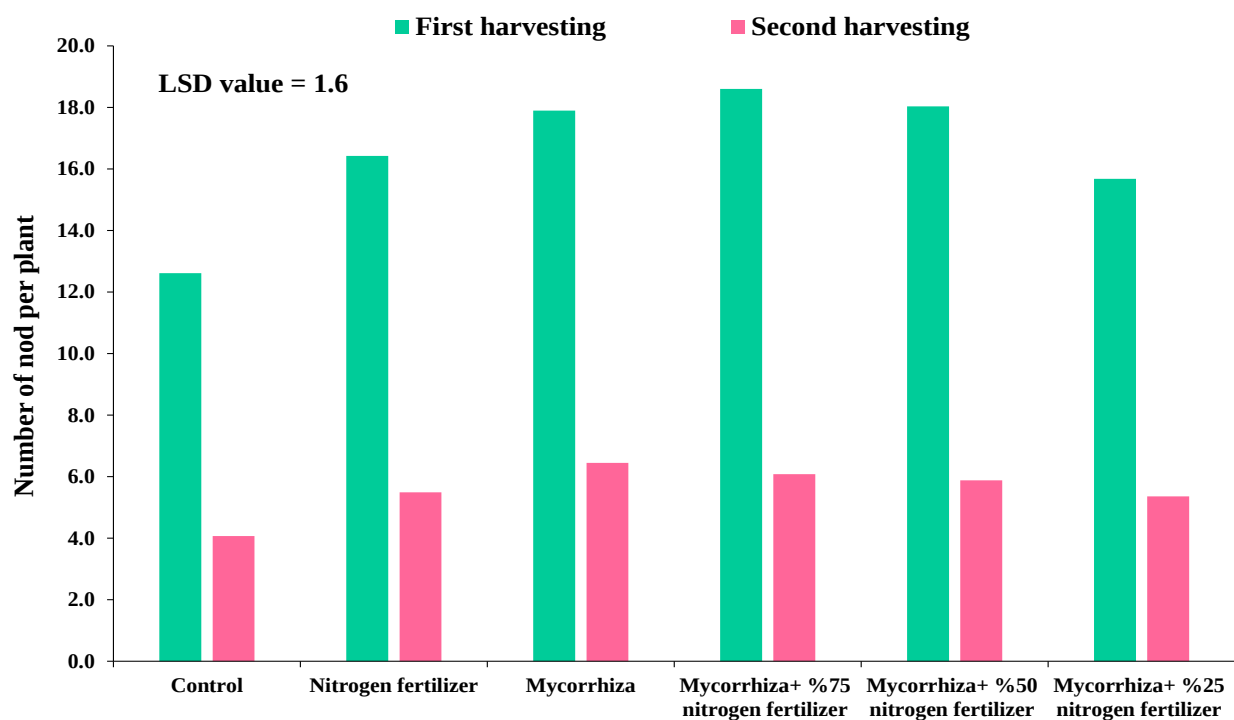
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل چین و منابع کودی مختلف بر ارتفاع بوته نعنای فلفلی

Fig. 2- Means comparison of the interaction effect of harvesting time and different fertilizer resources on plant height of *Mentha piperita* L.

تعداد گره در هر بوته

اثر کود، اثر ساده چین، اثر متقابل تنش $\times$ کود و اثر متقابل چین $\times$ تنش در سطح احتمال یک درصد و اثر ساده تنش و اثر متقابل چین $\times$ کود در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد گره در بوته معنی‌دار گردید (جدول ۲). بیشترین تعداد گره در هر بوته (۱۴/۵) در آبیاری نرمال و با کاربرد ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز به‌دست آمد، همچنین کمترین میزان تعداد گره در هر بوته (۶/۵) در تنش شدید بدون مصرف کود به‌دست آمد (جدول ۳). همچنین بر اساس نتایج اثر متقابل چین $\times$ تنش آبی، بیشترین تعداد گره در هر بوته در چین اول و در آبیاری نرمال به‌دست آمد (جدول ۴). علاوه‌براین، بر اساس نتایج اثر متقابل چین $\times$ کود، بیشترین تعداد گره در هر بوته در چین اول با کاربرد تلفیقی ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد انفرادی قارچ میکوریز و ۵۰ درصد کود نیتروژنه + میکوریز در همان برداشت نداشت (شکل ۳). تنظیم اسمزی با کاهش پتانسیل آبی برگ، به حفظ رطوبت نسبی آن کمک کرده که از این طریق به بهبود رشد گیاه منجر خواهد شد، زیرا تنظیم اسمزی به‌عنوان یکی از مکانیسم‌های اجتناب از تنش در نظر گرفته می‌شود. در طی این پدیده، غلظت برخی یون‌ها نظیر پتاسیم، سدیم، کلر و ... در واکوئل و نیز برخی متابولیت‌ها نظیر اسیدهای آمینه، قندها، پلی‌اول‌ها، پلی‌آمین‌ها، ترکیبات آمونیومی چهارتایی، پروتئین‌های خاص و اسیدهای آلی در سیتوسول افزایش می‌یابد و

بدین ترتیب با کاهش پتانسیل اسمزی، فشار آماس سلول در سطح بالا حفظ و ادامه فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه امکان‌پذیر خواهد شد (Ozturk et al., 2020). قارچ میکوریز با تجمع املاح اسمزی، پرولین، کربوهیدرات‌های غیر ساختاری و تجمع یونی (پتاسیم، کلسیم و منیزیم) تعادل اسمزی را حفظ که از این طریق با حفظ تورژسانس به ادامه رشد سلول منجر خواهد شد (Ruiz-Lozano, 2003). قارچ میکوریز علاوه‌بر توانایی جذب تدریجی عناصر غذایی در شرایط تنش کم‌آبی، جذب آب و هدایت برگی را افزایش و با تنظیم فشار تورژسانس و با حفظ باز بودن روزنه‌ها، کارایی تثبیت کربن دی‌اکسید و به‌دنبال آن فتوسنتز را بهبود می‌بخشد (Wu et al., 2013). در پژوهشی با بررسی منابع مختلف کودی و زمان برداشت روی نعنای فلفلی گزارش کردند که کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی + میکوریز منجر به افزایش ۲۰/۱ درصدی تعداد گره در هر بوته نسبت به شاهد گردید. همچنین چین اول نسبت به چین دوم منجر به افزایش ۱۶۲ درصدی تعداد گره در هر بوته نسبت به شاهد گردید (Ostadi et al., 2020). در مطالعه‌ای دیگر با بررسی رژیم‌های مختلف آبیاری روی چیا (*Salvia hispanica* L.) گزارش کردند که با افزایش تنش آبی ارتفاع بوته، تعداد گره، تعداد شاخه جانبی و عملکرد خشک کاهش یافت. بیشترین و کمترین میزان صفات مذکور به‌ترتیب در آبیاری نرمال و تنش شدید به‌دست آمد (Jamshidi et al., 2020).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل چین و منابع کودی مختلف بر تعداد گره در هر بوته نعناع فلفلی

Fig. 3- Means comparison of the interaction effect of harvesting time and different fertilizer resources on the number of nods per plant of *Mentha piperita* L.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (ماندگین مربعات) اثر تنش آب، منابع مختلف کود و چین بر ارتفاع بوته، تعداد گره در هر بوته، تعداد شاخه جانبی در هر بوته، تعداد برگ در هر بوته، تعداد شاخه جانبی در هر بوته، شاخص کاروفیل، عملکرد وزن خشک و عملکرد اسانس (mean of squares) for the effect of water stress, different fertilizer sources and harvesting time on plant height, number of nod per plant, number of lateral branches per plant, leaf greenness (SPAD index), dry matter yield, essential oil content and yield of *Medicago sativa* L.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد گره در هر بوته Number of nod per plant	تعداد برگ در هر بوته Number of leaves per plant	تعداد شاخه جانبی در هر بوته Number of lateral branches per plant	شاخص کاروفیل Leaf greenness (SPAD index)	عملکرد وزن خشک Dry matter yield	درصد اسانس Essential oil content	عملکرد اسانس Essential oil yield
بلوک Block	2	50.3	16.1	214639.5	181.04	130.6	274.2	0.5	0.1
تنش آبی Water stress (W)	2	319.6 **	70.2 *	140050.1 *	85.6 ns	978.9 *	8452.2 **	3.4 **	6.9 **
خطای a Error a	4	12.3	9.7	11005.8	22.3	54.7	164.3	0.1	0.1
کود Fertilizer (F)	5	275.1 **	41.2 **	49398.02 **	110.6 **	436.5 **	390.04 **	0.6 **	0.9 **
کود × تنش آبی F × W	10	28.7 **	9.2 **	14073.5 **	17.9 **	25.3 **	117.2 **	0.08 *	0.07 *
خطای b Error b	30	3.9	1.4	3197.3	2.3	5.99	6.5	0.03	0.03
چین Harvest (H)	1	15979.7 **	3257.1 **	3677454.1 **	13048.2 **	1366.6 **	9488.1 **	8.4 **	16.7 **
چین × تنش آبی H × W	2	46.4 **	24.9 **	53548.4 *	10.7 *	45.2 *	761.6 **	0.35 *	0.9 **
چین × کود H × F	5	41.8 **	8.8 *	15264.95 ns	13.96 **	27.1 ns	26.1 ns	0.1 ns	0.2 *
چین × تنش آبی × کود H × W × F	10	9.01 ns	1.5 ns	4901.4 ns	2.7 ns	7.93 ns	37.6 ns	0.03 ns	0.1 ns
خطای c Error c	36	6.7	2.9	12131.5	3.04	13.2	79.8	0.06	0.07
ضریب تغییرات CV (%)		8.3	15.5	26.5	6.7	9.6	11.7	12.6	17.7

ns و * به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و درصد عدم نظریات معنی دار.
**, * and ns: Significant at 1 and 5% levels of probability and non-significant, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل دوره‌های آبیاری و منابع کودی مختلف بر ارتفاع بوته، تعداد گره در هر بوته، تعداد برگ در هر بوته، تعداد شاخه جانبی در هر بوته، شاخص کلروفیل، عملکرد وزن خشک، درصد و عملکرد اسانس نعناع فلفلی

Table 3- Means comparison of interaction effects of irrigation levels and different fertilizer resources on plant height, number of nod per plant, number of leaves per plant, number of lateral branches per plant, leaf greenness (SPAD index), dry matter yield, essential oil content and yield of *Mentha piperita* L.

آبیاری بعد از ۳۰ درصد تخلیه رطوبتی Irrigation after depletion of 30% available water	تیمارها Treatments	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد گره در هر بوته Number of nod per plant	تعداد برگ در هر بوته Number of leaves per plant	تعداد شاخه جانبی در هر بوته Number of lateral branches per plant	شاخص کلروفیل Leaf greenness (SPAD index)	عملکرد وزن خشک Dry matter yield (g.m ⁻²)	درصد اسانس Essential oil content (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield (g.m ⁻²)
آبیاری بعد از ۳۰ درصد تخلیه رطوبتی Irrigation after depletion of 30% available water	شاهد Control	28.9	10.3	373.0	23.5	38.1	81.2	1.6	1.3
	کود نیتروژنه N fertilizer (NF)	37.3	12.98	539.8	28.2	52.9	100.0	1.8	1.8
	قارچ میکوریز Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)	34.1	12.3	455.3	27.1	51.2	86.3	2.01	1.8
	۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز 75% NF+ AMF	38.2	14.5	565.2	29.8	53.9	102.3	2.1	2.2
	۵۰ درصد کود نیتروژنه + میکوریز 50% NF + AMF	35.02	12.5	527.5	27.02	48.8	96.8	1.99	1.97
	۲۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز 25% NF + AMF	32.6	11.4	452.7	26.2	47.04	91.7	2.1	2.01
	LSD (5%)	2.3	1.4	66.7	1.8	2.9	2.997	0.189	0.21
آبیاری بعد از ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی Irrigation after depletion of 50% available water	شاهد Control	23.4	8.2	315.8	20.9	34.97	67.4	1.9	1.3
	کود نیتروژنه N fertilizer (NF)	29.3	10.6	358.3	26.02	43.4	73.9	1.98	1.5
	قارچ میکوریز Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)	34.95	12.5	451.0	28.7	47.8	77.8	2.3	1.8
	۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز 75% NF + AMF	34.3	11.7	409.8	27.2	48.1	76.6	2.4	1.9
	۵۰ درصد کود نیتروژنه + میکوریز 50% NF + AMF	32.7	12.2	401.2	28.2	46.2	74.6	2.2	1.6
	۲۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز 25% NF + AMF	29.6	10.7	433.7	28.8	43.7	73.4	2.2	1.6
	LSD (5%)	2.3	1.4	66.7	1.8	2.9	2.997	0.189	0.21
آبیاری بعد از ۷۰ درصد تخلیه رطوبتی irrigation after depletion of 70% available water	شاهد Control	19.6	6.5	248.3	18.7	29.7	55.1	1.2	0.7
	کود نیتروژنه N fertilizer (NF)	26.8	7.8	304.3	21.7	36.1	59.1	1.6	0.96
	قارچ میکوریز Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)	34.3	12.7	421.0	26.8	43.7	68.2	1.6	1.1
	۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز 75% NF + AMF	31.4	11.3	391.7	24.95	41.4	65.7	1.6	1.1
	۵۰ درصد کود نیتروژنه + میکوریز 50% NF + AMF	30.5	11.2	405.5	25.7	40.2	65.6	1.6	1.1
	۲۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز 25% NF + AMF	28.2	9.5	425.3	27.0	38.5	62.9	1.6	1.04
	LSD (5%)	2.3	1.4	66.7	1.8	2.9	2.997	0.189	0.21

تعداد برگ در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کود، اثر چین و اثر متقابل تنش $\times$ کود در سطح احتمال یک درصد و اثر ساده تنش و اثر متقابل چین $\times$ تنش در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد برگ در بوته معنی‌دار گردید (جدول ۲). بیشترین میزان تعداد برگ در هر بوته (۵۶۵/۲) در آبیاری نرمال با ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با ۱۰۰ درصد کود نیتروژنه و ۵۰ درصد کود نیتروژنه + میکوریز در آبیاری نرمال نداشت، همچنین کمترین میزان تعداد برگ در بوته (۲۴۸/۳) در تنش شدید بدون مصرف کود به‌دست آمد (جدول ۳). علاوه‌براین، بر اساس نتایج اثر متقابل چین $\times$ تنش آبی، بیشترین تعداد برگ در هر بوته در چین اول و در آبیاری نرمال به‌دست آمد (جدول ۴). در پژوهشی با بررسی تأثیر تداخل علف‌های هرز و تراکم‌های مختلف کاشت روی خصوصیات مورفولوژیکی نعنای فلفلی در دو چین گزارش کردند که چین اول منجر به افزایش ۳۳/۱ درصدی تعداد برگ نسبت به چین دوم گردید (Gity & Raoofy, 2017). تنش کم‌آبی گسترش ریشه را متأثر خواهد ساخت. احتمالاً نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌های هوایی از طریق تعادل بین جذب آب توسط ریشه و انجام فتوسنتز به‌وسیله اندام‌های هوایی کنترل می‌شود. توسعه اندام‌های هوایی تا وقتی ادامه خواهد یافت که جذب آب توسط ریشه انجام شود. در اثر تنش خشکی توسعه برگ و فتوسنتز کاهش خواهد یافت و در نتیجه، مواد فتوسنتزی کمتری به ریشه انتقال خواهد یافت و با افزایش خشکی نوک ریشه تورژسانس خود را از دست خواهد داد (Taiz & Zeiger, 2002). قارچ میکوریز از طریق تنظیم سطح اکسین موجب افزایش تعداد ریشه‌های جانبی در گیاه می‌شود که در نتیجه آن تسهیل در کشف مناطق جدید در خاک، افزایش کارایی مصرف آب، افزایش مساحت سطح ریشه برای جذب آب و عناصر غذایی و افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه می‌شود (Ludwig-Müller, 2010). همچنین، اثر کود نیتروژن در تعداد برگ به نقش نیتروژن در متابولیسم گیاه مربوط می‌شود، زیرا نیاز گیاه را از لحاظ نیتروژن تأمین می‌کند و موجب افزایش فرآورده‌های فتوسنتزی و در نتیجه، افزایش رشد رویشی، مانند تعداد و سطح برگ می‌شود. در پژوهشی با کاربرد قارچ میکوریز روی مریم‌گلی گزارش کردند که کاربرد قارچ میکوریز منجر به افزایش ۲۲۸/۵ درصدی تعداد برگ نسبت به عدم مصرف

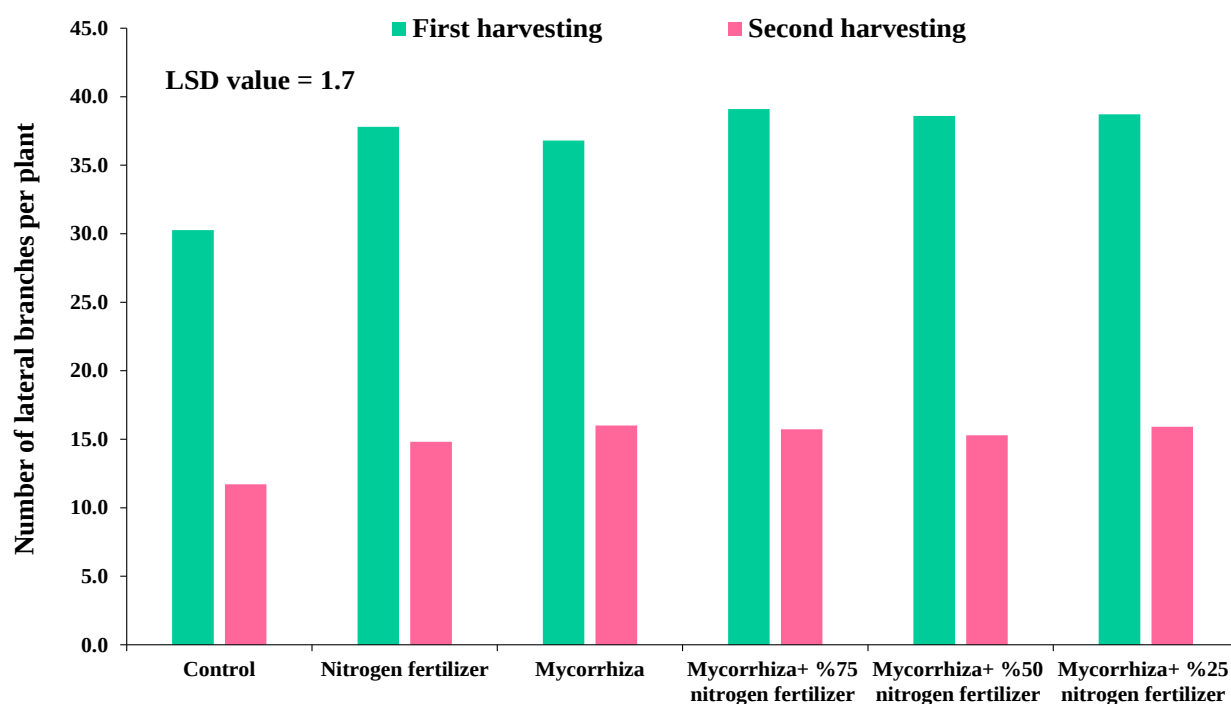
کود گردید (Tarraf et al., 2017). همچنین در مطالعه‌ای دیگر با بررسی سطوح مختلف تنش آبی و کاربرد قارچ میکوریز (*Glomus intraradices*) روی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) گزارش کردند که بیشترین تعداد برگ در هر بوته در آبیاری نرمال به‌دست آمد. همچنین کاربرد قارچ میکوریز منجر به افزایش ۱۰/۶ درصدی تعداد برگ نسبت به شاهد گردید (Moghadasan et al., 2016).

تعداد شاخه جانبی در هر بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر چین، اثر کود، اثر متقابل تنش $\times$ کود و اثر متقابل چین $\times$ کود در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل چین $\times$ تنش در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد شاخه جانبی در هر بوته معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین تعداد شاخه جانبی در بوته (۲۹/۸) در آبیاری نرمال با کاربرد ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با ۱۰۰ درصد کود نیتروژنه در آبیاری نرمال، کاربرد تلفیقی ۲۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز، کاربرد قارچ میکوریز، و کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود نیتروژنه + میکوریز در تنش ملایم نداشت، همچنین کمترین تعداد شاخه جانبی در بوته (۱۸/۷) در تنش شدید و در تیمار عدم مصرف کود به‌دست آمد (جدول ۳). همچنین بر اساس نتایج اثر متقابل چین $\times$ تنش آبی، بیشترین تعداد شاخه جانبی در هر بوته در چین اول و در آبیاری نرمال به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تنش ملایم در چین اول نداشت (جدول ۴). بیشتر بودن تعداد شاخه جانبی در چین اول به‌دلیل بهینه بودن شرایط رشدی از قبیل طول روز و تابش آفتاب، دمای محیط و همچنین زیاد بودن طول دوره رشدی گیاه در چین اول (۹۳ روز بعد از کاشت) نسبت به چین دوم (۶۰ روز بعد از برداشت اول) می‌باشد (Amani Machiani et al., 2018b). اثر متقابل چین $\times$ کود، بیشترین تعداد شاخه جانبی در بوته در چین اول با کاربرد تلفیقی ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای ۲۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز، ۵۰ درصد کود نیتروژنه + میکوریز و ۱۰۰ درصد کود نیتروژنه در چین اول نداشت (شکل ۴). قارچ میکوریز جذب آب در شرایط تنش خشکی را از طریق بهبود هدایت روزنه‌ای و تورژسانس برگ با دسترسی مؤثرتر ریشه به ذخایر آب و عناصر غذایی در خاک افزایش می‌دهد

و *Glomus mosseae*) روی ریحان تحت شرایط تنش آبی گزارش کردند که با افزایش تنش آبی ارتفاع، تعداد شاخه جانبی و عملکرد ماده خشک کاهش یافت. به طوری که بیشترین تعداد شاخه جانبی در آبیاری نرمال با کاربرد قارچ میکوریز به دست آمد (Aslani et al., 2011). در مطالعه‌ای دیگر گزارش کردند که کاربرد قارچ میکوریز (*Glomus intraradices*) روی زیره سبز (*Cuminum cyminum*) L. منجر به افزایش ۳۰/۴ درصدی تعداد شاخه جانبی در هر بوته نسبت به شاهد گردید (Haghir Ebrahimabadi et al., 2018). پژوهشی با بررسی تأثیر تراکم و تاریخ کشت روی گیاه دارویی وسمه (*Indigofera tinctoria* L.) گزارش کردند که چین اول نسبت به چین دوم منجر به افزایش ۵۷/۶ درصدی تعداد شاخه جانبی در هر بوته گردید (Modafe Behzadi et al., 2019).

(Varma et al., 2018). همچنین قارچ میکوریز از طریق افزایش تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه مانند جیبرلین (تأثیر در رشد طولی سلول‌ها به‌ویژه میان‌گره‌های ساقه)، اکسین، سیتوکینین (تأثیر در تقسیم سلولی) سبب افزایش صفات رویشی از قبیل تعداد شاخه جانبی می‌گردد (Ludwig-Müller, 2010) و از طرفی، با توجه به اینکه نیتروژن نقش اساسی در ساختمان کلروفیل دارد و همچنین مهمترین عنصر در سنتز پروتئین‌ها می‌باشد و افزایش آن در شرایط مطلوب تا حد مشخصی موجب افزایش میزان پروتئین می‌گردد، می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش پروتئین‌ها، گیاه به توسعه سطح برگ، تعداد شاخه فرعی و قطر ساقه می‌پردازد که در نتیجه آن افزایش مواد فتوسنتزی را به دنبال دارد (Rahmani et al., 2008). در پژوهشی با کاربرد قارچ میکوریز (*Glomus intraradices*)



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل چین و منابع کودی مختلف بر تعداد شاخه جانبی در هر بوته نعناع فلفلی
 Fig. 4- Means comparison of the interaction effect of harvesting time and different fertilizer resources on the number of lateral branches per plant of *Mentha piperita* L.

شاخص کلروفیل (۵۳/۹) در آبیاری نرمال با کاربرد ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز و قارچ میکوریز به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد ۱۰۰ درصد کود نیتروژنه در آبیاری نرمال نداشت، همچنین کمترین میزان شاخص کلروفیل (۲۹/۷) در تنش شدید و در تیمار

شاخص کلروفیل

اثر کود، اثر چین و اثر متقابل تنش × کود در سطح احتمال یک درصد و اثر تنش و اثر متقابل چین × تنش در سطح احتمال پنج درصد بر شاخص کلروفیل معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین میزان

عدم مصرف کود به‌دست آمد (جدول ۳). همچنین بر اساس نتایج اثر متقابل چین × تنش، بیشترین میزان شاخص کلروفیل در چین اول و آبیاری نرمال به‌دست آمد (جدول ۴). در آزمایشی چین اول منجر به افزایش ۲۱/۷ درصدی شاخص کلروفیل نسبت چین دوم گردید (Ostadi et al., 2020). کلروفیل جزء مهمی از رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌باشد. محتوای کلروفیل در کانوبی گیاهان ارتباط نزدیکی با فتوسنتز، میزان عناصر غذایی و بهره‌وری محصول دارد. تنش خشکی تأثیر مهمی روی آنزیم‌های درگیر در چرخه کالوین و رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌گذارد. تنش خشکی شدید باعث تولید انواع گونه‌های فعال اکسیژن می‌گردد که می‌تواند منجر به پراکسیداسیون لیپیدها، آسیب به کلروپلاست و در نتیجه، تخریب کلروفیل شود (Shivakrishna et al., 2018). با توجه به اینکه هر مولکول کلروفیل دارای چهار اتم نیتروژن می‌باشد و با توجه به همبستگی مثبت محتوای کلروفیل با میزان نیتروژن در دسترس گیاه می‌توان بیان کرد که با افزایش جذب نیتروژن میزان کلروفیل گیاه افزایش می‌یابد (Mao et al., 2020). علاوه‌براین، قارچ میکوریز با افزایش مساحت ریشه باعث جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر و نیتروژن می‌گردد که در نتیجه آن باعث افزایش مساحت سطح برگ، کارایی کربوکسیلاسیون، محتوای کلروفیل و کارایی فتوسنتز گیاه خواهد شد (Begum et al., 2019).

در پژوهشی با بررسی رژیم‌های مختلف آبیاری (۴، ۸ و ۱۲ روز یک‌بار) و کاربرد قارچ میکوریز (*Glomus intraradices* و *G. mosseae*) روی گیاه ریحان گزارش شد که بیشترین و کمترین میزان شاخص کلروفیل به‌ترتیب در دوره‌های آبیاری ۴ و ۱۲ روز به‌دست آمد. همچنین کاربرد دو گونه قارچی منجر به افزایش شاخص کلروفیل نسبت به شاهد گردید (Aslani et al., 2010). در پژوهشی دیگر با بررسی اثر منابع مختلف کودی در شرایط تنش و بدون تنش روی دو توده بومی مرزه (*Satureja hortensis* L.) گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد گیاه، شاخص کلروفیل و عملکرد اسانس گردید. بیشترین شاخص کلروفیل در شرایط بدون تنش به‌دست آمد که نسبت به شرایط تنش ۲۰/۷ درصد افزایش یافت (Akrami Nejad et al., 2015).

عملکرد وزن خشک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی تنش، کود، چین،

اثر متقابل تنش × کود و اثر متقابل چین × تنش بر عملکرد وزن خشک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). بیشترین عملکرد وزن خشک (۱۰۲/۳ گرم در مترمربع) در آبیاری نرمال با کاربرد ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با ۱۰۰ درصد کود نیتروژنه در آبیاری نرمال نداشت، همچنین کمترین میزان عملکرد وزن خشک (۵۵/۱ گرم در مترمربع) در تنش شدید بدون مصرف کود به‌دست آمد (جدول ۳). علاوه‌براین، بر اساس نتایج اثر متقابل چین × تنش آبی، بیشترین عملکرد وزن خشک در چین اول و در آبیاری نرمال به‌دست آمد (جدول ۴). کاهش در عملکرد وزن خشک با افزایش تنش کم‌آبی ممکن است به‌دلیل تخصیص ترجیحی و بیشتر مواد به ریشه‌ها به‌دلیل محدود شدن رطوبت در خاک و یا کاهش محتوای کلروفیل و در نتیجه، کاهش کارایی فتوسنتزی باشد (Govahi et al., 2015). با کاهش رطوبت خاک، تحرک عناصر غذایی به ویژه فسفر و سایر عناصر غذایی کمتر شده و در نتیجه، دسترسی گیاه به منابع غذایی کاهش خواهد یافت. زیرا عناصر غیرمتحرک از قبیل فسفر در شرایط خشکی به ذرات رس موجود در خاک چسبیده و به‌میزان کمتری در اختیار ریشه قرار می‌گیرد. همچنین، غلظت فسفر در محلول خاک کمتر از ۱۰ میکرومولار می‌باشد، زیرا فسفر در pH بالا و پایین به‌ترتیب با کلسیم و آلومینیوم رسوب می‌کند. این حلالیت کم در محلول خاک همچنین منجر به انتقال کمتر فسفر به‌سمت اپیدرم ریشه می‌شود بنابراین، یکی از دلایل کاهش صفات رشدی گیاهان در شرایط تنش خشکی به کاهش جذب عناصر غذایی نسبت داده می‌شود که به تبع آن بیومولکول‌های اساسی رشد گیاه تحت تأثیر قرار گرفته و در نهایت، منجر به کاهش رشد گیاه در این شرایط خواهد شد (Hussain et al., 2018). قارچ میکوریز با آزادسازی یون هیدروژن و اسیدی کردن ریزوسفر و ترشح فسفاتاز به داخل خاک باعث می‌شود تا فسفات غیرمحلول و تثبیت شده در خاک به‌فرم محلول درآید و برای ریشه قابل جذب گردد (Varma et al., 2018). همچنین قارچ میکوریز می‌تواند بخش اندکی از نیتروژن مورد نیاز گیاه را تأمین کند. نیتروژن محدود شده در مواد آلی معمولاً در ترکیب پپتیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه آزاد وجود دارد که قارچ میکوریز با ترشح پپتیداز^۱ و پروتئاز^۲ به داخل خاک باندهای نیتروژن ارگانیکی را شکسته، سپس

1- Peptidases

2- Proteases

مونومرهای نیتروژن دار را جذب می کند (Behie et al., 2012). علاوه بر این، بیشتر بودن وزن خشک در ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز را می توان به نقش نیتروژن در افزایش ماده خشک و افزایش طول دوره رشدی نسبت داد، زیرا نیتروژن با افزایش تقسیم و تورژسانس سلول های مریستمی باعث افزایش رشد رویشی و شاخه دهی در گیاهان می شود. علاوه بر این، زمانی که نیتروژن کافی در دسترس گیاه باشد، میزان فتوسنتز افزایش می یابد که این امر منجر به افزایش رشد و زیست توده گیاه می گردد. علاوه بر این کاربرد کود شیمیایی نیتروژنه جذب و تجمع عناصر دیگر مانند فسفر و پتاسیم را هم افزایش می دهد (Baranauskienė et al., 2003). در پژوهشی با بررسی سطوح مختلف تنش آبی روی گیاه مریم گلی لوله ای (*Salvia macrosiphon* Boiss.) گزارش کردند که با افزایش تنش آبی، وزن خشک اندام های هوایی کاهش یافت، به طوری که بیشترین میزان آن در آبیاری نرمال به دست آمد که تفاوت معنی داری با تنش ملایم نداشت (Sodaeizadeh & Mansouri, 2014). همچنین در مطالعه ای با بررسی تأثیر کاربرد کودهای زیستی، نیتروژن و آزوکمپوست روی گیاه بادربشی گزارش کردند که کود نیتروژن باعث افزایش عملکرد ماده خشک گردید (Yousefzadeh et al., 2016). علاوه بر این با بررسی اثر کودهای بیولوژیک روی مرزه گزارش کردند که چین اول منجر به افزایش ۸/۷ درصد عملکرد بیولوژیک نسبت به چین دوم گردید (Rezvani Moghaddam et al., 2013).

درصد و عملکرد اسانس

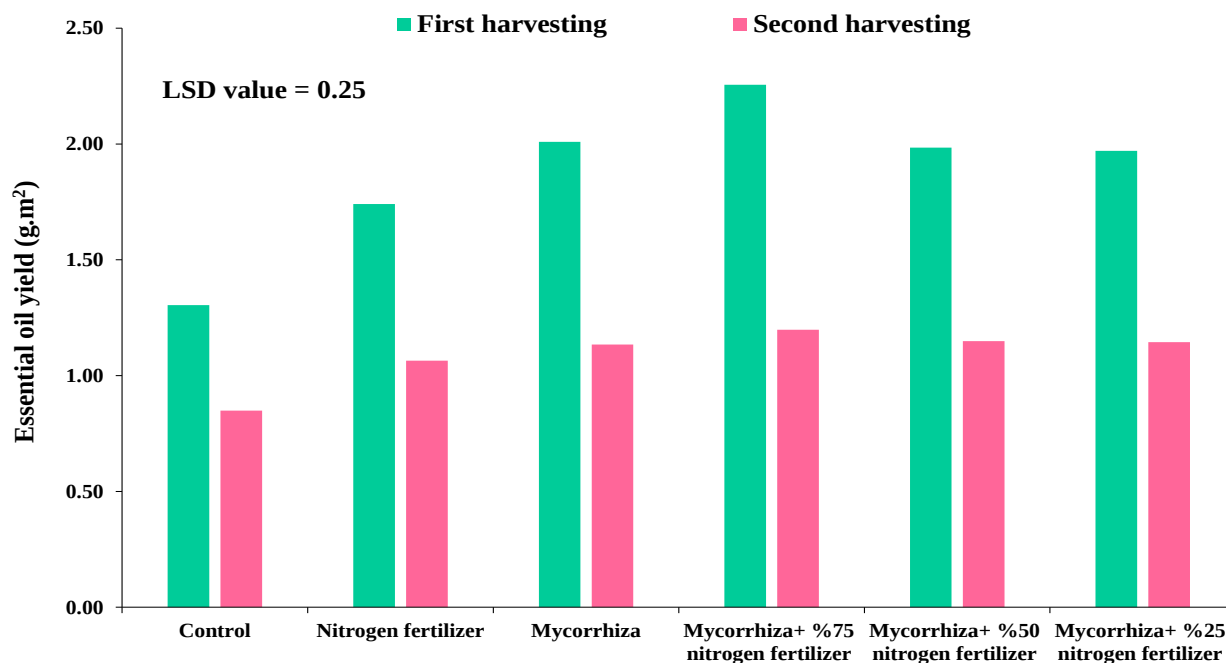
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که درصد اسانس تحت تأثیر معنی دار اثرات اصلی تنش، کود و چین در سطح احتمال یک درصد و اثرات متقابل تنش × کود و چین × تنش در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین میزان درصد اسانس (۲/۴ درصد) در تنش ملایم با کاربرد تلفیقی ۷۵ درصد کود نیتروژنه + قارچ میکوریز به دست آمد که تفاوت معنی داری با کاربرد قارچ میکوریز در همان سطح آبیاری نداشت، همچنین کمترین میزان درصد اسانس (۱/۲ درصد) در تنش شدید و بدون مصرف کود به دست آمد (جدول ۳). در پژوهشی بیشترین درصد، عملکرد اسانس و ترکیبات اصلی اسانس (لینالول، آلفا پینن، گاما ترپینن، ژرانیول استات و کامفور) گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) در تنش آبی ملایم (۶۰ درصد ظرفیت زراعی) به دست آمد (Ahmadian & Nourzad, 2014). علاوه بر این،

بر اساس نتایج اثر متقابل چین × تنش آبی، بیشترین درصد اسانس در چین اول و در تنش ملایم به دست آمد (جدول ۴). نفع فلفلی یک گیاه روزبلند بوده و در طی روزهای بلند و گرم حداکثر اسانس را تولید می کند. کمتر بودن میزان اسانس در چین دوم نسبت به چین اول را می توان به کاهش دما و کوتاه بودن طول روز در چین دوم نسبت داد که تأثیر منفی بر غدد تشکیل دهنده اسانس و میزان اسانس تولید شده خواهد داشت (Aflatuni et al., 2006). میزان تولید اسانس و به تبع آن تولید ترکیبات ترپنی در گیاهان دارویی تحت تأثیر منفی دماهای پایین و بارندگی قرار می گیرد. به طوری که بارندگی و کاهش دما در طی دوره رشد گیاه دارویی اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia* L.) منجر به کاهش میزان اسانس شد که دلیل کاهش اسانس تولید شده در این شرایط را به تخریب غدد ترشحی اسانس و کاهش اندازه آن ها نسبت دادند (Hassiotis et al., 2014). اثرات اصلی تنش، کود، چین و اثر متقابل چین × تنش در سطح احتمال یک درصد و اثرات متقابل تنش × کود و چین × کود در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد اسانس معنی دار شد (جدول ۲). بیشترین (۲/۲ گرم در مترمربع) و کمترین (۰/۷ گرم در مترمربع) عملکرد اسانس به ترتیب در آبیاری نرمال با کاربرد ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز و در تنش شدید بدون مصرف کود به دست آمد (جدول ۳). همچنین بر اساس نتایج اثر متقابل چین × تنش آبی، بیشترین میزان عملکرد اسانس در چین اول و در آبیاری نرمال به دست آمد (جدول ۴). علاوه بر این بیشترین میزان عملکرد اسانس با کاربرد تلفیقی ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز در چین اول به دست آمد که تفاوت معنی داری با تیمار قارچ میکوریز در چین اول نداشت (شکل ۵). بهبود اسانس نفع فلفلی با کاربرد قارچ میکوریز به افزایش فعالیت فتوسنتزی و غدد تشکیل دهنده اسانس بر اثر افزایش سطح جذب و دسترسی به عناصر غذایی نسبت داده می شود. به نظر می رسد همزیستی ریشه گیاه نفع فلفلی با قارچ میکوریز از طریق فراهمی عناصر اصلی سازنده اسانس از جمله نیتروژن، فسفر موجب افزایش درصد اسانس نفع فلفلی شده است (Golubkina et al., 2020). در پژوهشی نتیجه گرفتند که کاربرد قارچ میکوریز باعث ایجاد تغییراتی در غلظت فیتوهورمون های گیاهی از قبیل جاسمونیک اسید، ژیریلیک اسید و سیتوکینین می شود که این فیتوهورمون ها، تشکیل غدد ترشح کننده اسانس را بیشتر و در نهایت، منجر به تولید بیشتر متابولیت های ثانویه می شوند (Kapoor et al., 2017). معمولاً تشکیل و تجمع

درصد اسانس آویشن باغی در تنش آبی ملایم و پس از آن در تنش شدید حاصل شد که به ترتیب ۳۸/۲ و ۲۳/۷ درصد بیشتر از آبیاری نرمال بود. همچنین درصد و عملکرد اسانس در چین اول به ترتیب ۴۳/۵ و ۷۲ نسبت به چین دوم افزایش یافت. در بین سطوح مختلف آبیاری، بیشترین و کمترین میزان تیمول، گاماترپین و پاراسایمن به ترتیب در آبیاری ملایم و آبیاری نرمال مشاهده شد. همچنین، با کاربرد قارچ *Funneliformis mosseae* میزان ترکیبات ذکر شده ۳/۸، ۶/۹ و ۷/۱ درصد نسبت به عدم مصرف افزایش یافتند (Amani Machiani et al., 2021).

از آنجایی که عملکرد اسانس از حاصل ضرب عملکرد ماده خشک در میزان اسانس تولید شده توسط گیاه به دست می‌آید و با دو شاخص ذکر شده رابطه مستقیمی دارد. لذا هر عاملی که منجر به افزایش دو شاخص ذکر شده گردد منجر به افزایش عملکرد اسانس نیز خواهد شد (Zheljazkov et al., 2009). بنابراین، دلیل کاهش عملکرد اسانس در چین دوم را می‌توان به کاهش عملکرد ماده خشک و میزان اسانس تولید شده چین دوم نسبت به چین اول نسبت داد (Amani Machiani et al., 2017).

اسانس در گیاهان دارویی در شرایط نامساعد محیطی تمایل به افزایش نشان می‌دهد که این امر از گیاه در مقابل آسیب‌های نوری زیاد و کمبود احتمالی آب محافظت می‌کند (Ghasemi et al., 2015). محصولات دارویی برخلاف همه محصولات کشاورزی که در شرایط تنش خشکی از نظر تولید صدمه می‌بینند، ممکن است در این اوضاع تولید مواد شیمیایی بیشتر و در نتیجه، بازدهی اقتصادی بالاتری پیدا کنند. تولید متابولیت‌های ثانویه برای سازگاری گیاه نسبت به عوامل نامساعد و تنش‌های محیطی زندگی صورت گرفته و به منزله به کار افتادن یک نوع جریان دفاعی در جهت استمرار تعادل فعالیت‌های حیاتی به حساب می‌آید (Ghaemi et al., 2019). علی‌رغم اینکه میزان اسانس نعنای فلفلی در تنش ملایم نسبت به شاهد افزایش یافته است، ولی میزان اسانس تولید شده در تنش شدید نسبت به تنش ملایم کاهش پیدا کرده است. زیرا در تنش‌های شدیدتر گیاه بیشتر مواد فتوسنتزی تولید شده را صرف تولید ترکیب‌های تنظیم‌کننده اسمزی از جمله پرولین، گلیسین بتائین و ترکیبات قندی مانند ساکارز، فروکتور و فروکتان‌ها می‌کند تا از این طریق شرایط لازم برای بقای حیات گیاه در تنش‌های شدیدتر فراهم شود (Khorasaninejad et al., 2015). در مطالعه‌ای بیشترین



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل چین و منابع کودی مختلف بر عملکرد اسانس نعنای فلفلی

Fig. 5- Means comparison of the interaction effect of harvesting time and different fertilizer resources on essential oil yield of *Mentha piperita* L.

ترکیبات اسانس

با تجزیه اسانس نعنای فلفلی، ۲۹ ترکیب شناسایی شد که ۹۳/۳ تا ۹۷/۴ درصد از کل ترکیبات را شامل می‌شود. در بین ترکیبات اسانس منتول (۳۱/۸ تا ۳۷/۴ درصد)، منتون (۱۲/۲ تا ۱۵/۴ درصد)، ۸ و ۱ سیئول (۵/۴ تا ۶/۴ درصد)، منتوفوران (۳/۷ تا ۴/۵ درصد)، نئوایزو-منتول (۲ تا ۳/۵ درصد)، نئومنتول (۳/۸ تا ۴/۳ درصد) و دلتا-تریپینول (۲/۱ تا ۲/۵ درصد) ترکیبات غالب اسانس بودند (جداول ۵، ۶ و ۷). بیشترین (۳۷/۴ درصد) و کمترین (۳۱/۸ درصد) میزان منتول به ترتیب در تنش ملایم با کاربرد تلفیقی ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز و ۱۰۰ درصد کود نیتروژنه و در آبیاری نرمال به دست آمد. کاربرد تلفیقی ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز به ترتیب منجر به افزایش ۶/۲ و ۳/۸ درصدی منتول نسبت تیمارهای ۱۰۰ کود نیتروژنه و شاهد گردید. همچنین تنش ملایم نسبت به آبیاری نرمال و تنش شدید به ترتیب منجر به افزایش ۱۰/۳ و ۶/۶ درصدی منتول شد. همچنین بیشترین (۱۵/۴ درصد) و کمترین (۱۲/۲ درصد) میزان منتون به ترتیب در آبیاری نرمال با کاربرد تلفیقی ۲۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز و تنش شدید و عدم مصرف کود به دست آمد. کاربرد تلفیقی ۲۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز به ترتیب منجر به افزایش ۹/۰۲ و ۲/۸ درصد منتون نسبت به عدم مصرف کود و کاربرد ۱۰۰ درصد کود نیتروژنه گردید. مقایسه میزان ترکیبات ترپنی اسانس نعنای فلفلی در جدول ۸ ارائه شده است. بیشترین میزان مونوترپن‌های هیدروکربنه و مونوترپن‌های اکسیژنه به ترتیب در آبیاری نرمال با کاربرد تلفیقی ۵۰ درصد کود نیتروژنه + میکوریز و تنش ملایم با کاربرد تلفیقی ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان سزکوئی‌ترین‌های هیدروکربنه و اکسیژنه به ترتیب در تنش شدید با عدم مصرف کود و تنش ملایم با کاربرد تلفیقی ۲۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز مشاهده شد. (جدول ۸). به طور کلی، ترکیبات اسانس نعنای فلفلی تحت تأثیر فاکتورهای محیطی مثل دوره نوری، دما، روشنایی و فاکتورهای زراعی مثل تیمارهای خاکی، مواد غذایی و یا عناصر کم مصرف قرار می‌گیرد که می‌تواند تغییراتی را در نوع و مقدار ترکیب‌های اسانس بوجود آورد (Zheljazkov et al., 2009). با افزایش کم‌آبی، بیوسنتز ترکیب‌های ثانویه کاهش می‌یابد که در نتیجه آن محتوای اسانس تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در اثر کم آبی شدید به دلیل مختل شدن چرخه کالوین،

فرآیند اکسایش و کاهش اکسی والانت NADP^+ به عنوان پذیرنده الکترون در زنجیره انتقال، کاهش می‌یابد در نتیجه مقادیر زیادی H^+ و NADPH در سلول تجمع پیدا کرده و با ادامه این روند مقدار NADPH بیش از حد کاهش می‌یابد. در نهایت، الکترون در زنجیره انتقال به اکسیژن رسیده و باعث تولید انواع گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود. H^+ و NADPH در بیوسنتز ترکیبات ثانویه مثل فنول‌ها، ترپنوئیدها، آلکالوئیدها، گلیکوزیدهای سیانوزیک و گلوکوزینولات که درصد و محتویات اسانس را در گیاه معطر تحت تأثیر قرار می‌دهند، مورد استفاده قرار می‌گیرند (García-Caparrós et al., 2019). چنین به نظر می‌رسد دلیل افزایش ترکیبات غالب اسانس نعنای فلفلی در تنش‌های ملایم و شدید تخصیص بیشتر کربن‌های تثبیت شده طی فرآیند فتوسنتز به تولید متابولیت‌های ثانویه باشد که طی این فرآیند میزان مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی از طریق کاهش خسارت گونه‌های فعال اکسیژن افزایش می‌یابد (Farahani et al., 2009). همچنین نتایج نشان داد که میزان ترکیبات غالب اسانس نعنای فلفلی با کاربرد تلفیقی ۷۵ درصد کود نیتروژنه + قارچ میکوریز افزایش یافت. لذا می‌توان نتیجه گرفت که کیفیت اسانس نعنای فلفلی تحت این شرایط بهبود پیدا کرده است. اسانس‌ها ترکیب‌های ترپنوئیدی بوده و واحدهای سازنده آن‌ها (ایزوپرنوئیدها) مانند ایزوپنتنیل پیروفسفات و دی متیل آلیل پیروفسفات، نیاز به ترکیباتی از قبیل ATP و NADPH دارند. با توجه به این موضوع که حضور عناصری نظیر نیتروژن و فسفر برای تشکیل ترکیب‌های نامبرده شده ضروری می‌باشد (Ormeno & Fernandez, 2012). از این رو هم‌زیستی میکوریزی از طریق جذب کارآمد فسفر و تا حدودی نیتروژن توسط ریشه، موجب افزایش ترکیبات اسانس و به تبع آن درصد اسانس تولیدی خواهد شد. در پژوهشی با بررسی سطوح مختلف تنش کم آبی روی نعنای فلفلی گزارش کردند که با افزایش تنش آبی درصد اسانس کاهش یافت. به طوری که بیشترین میزان درصد اسانس در تنش ملایم به دست آمد. همچنین بیشترین میزان منتول در تنش متوسط به دست آمد (Abdi et al., 2019). در مطالعه‌ای دیگر با کاربرد سویه‌های مختلف قارچ میکوریز (*Glomus intraradices* و *G. mosseae*)، فسفر و تنش آبی روی گیاه بادرشو گزارش شد که بیشترین میزان درصد اسانس در تنش آبی ملایم و تلخیص با *G. mosseae* و مصرف فسفر به دست آمد.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل دوره‌های آبیاری و چین بر ارتفاع بوته، تعداد برگ در هر بوته، تعداد شاخه جانبی در هر بوته، شاخص کلروفیل، عملکرد وزن خشک در حد آستان و عملکرد روغن اساسی *Mentha piperita*
Table 4- Means comparison of interaction effects of irrigation levels and harvesting time on plant height, number of leaves per plant, number of lateral branches per plant, leaf greenness (SPAD index), dry matter yield, essential oil content and yield of *Mentha piperita*

تیمارها	ارتفاع بوته	تعداد برگ در هر بوته	تعداد شاخه جانبی در هر بوته	شاخص کلروفیل	عملکرد وزن خشک	درصد اساسی	عملکرد روغن اساسی
Treatments	Plant height (cm)	Number of leaves per plant	Number of lateral branches per plant	Leaf greenness (SPAD index)	Dry matter yield (g m ⁻²)	Essential oil content (%)	Essential oil yield (g m ⁻²)
آبیاری بعد از ۲۰ درصد تخلیه رطوبتی	47.8	710.3	37.6	52.9	107.7	2.2	2.4
Irrigation after depletion of 30% available water, First							
آبیاری بعد از ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی	42.03	575.9	37.58	47.1	81.05	2.5	2.0
Irrigation after depletion of 50% available water, Second							
آبیاری بعد از ۷۰ درصد تخلیه رطوبتی	40.2	513.9	35.5	41.6	69.1	1.8	1.2
Irrigation after depletion of 70% available water, harvesting							
آبیاری بعد از ۲۰ درصد تخلیه رطوبتی	20.9	260.8	16.3	44.5	78.4	1.6	1.3
Irrigation after depletion of 30% available water, Second							
آبیاری بعد از ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی	19.4	214.0	15.7	40.9	66.9	1.8	1.2
Irrigation after depletion of 50% available water, harvesting							
آبیاری بعد از ۷۰ درصد تخلیه رطوبتی	16.8	218.2	12.8	34.9	56.4	1.3	0.08
Irrigation after depletion of 70% available water							
LSD (5%)	1.75	74.46	1.18	2.84	6.04	0.16	0.18

به عنوان تنش شدید، کاربرد قارچ میکوریز به صورت انفرادی و تلفیقی با کود نیتروژنه توانست منجر به افزایش این صفات نسبت به عدم مصرف گردد. علاوه بر این، چین اول نسبت به چین دوم به ترتیب منجر به افزایش ۱۲۷/۸، ۱۹۴/۶، ۱۵۹/۸، ۱۴۷/۷، ۱۷/۷ و ۳۷/۹ درصدی این صفات گردید. همچنین با افزایش سطح تنش تا سطح ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی (تنش ملایم)، درصد اسانس افزایش یافت. به طوری که در تنش ملایم نسبت به آبیاری نرمال و تنش شدید به ترتیب افزایش ۱۱/۴ و ۳۹/۷ درصدی اسانس مشاهده شد. علاوه بر این، بیشترین عملکرد اسانس نعنای فلفلی با کاربرد تلفیقی ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز در چین اول حاصل شد. غالب ترین ترکیب اسانس (منتول) نیز در تنش ملایم با کاربرد ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز حاصل شد. در نهایت، با توجه به اینکه هدف اقتصادی از کشت گیاهان دارویی استخراج حداکثری ماده مؤثره می باشد و از آن جایی که درصد و کیفیت اسانس نعنای فلفلی با کاربرد ۷۵ درصد کود نیتروژنه همراه با میکوریز در آبیاری بعد از ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی افزایش معنی داری پیدا کردند، لذا می توان آن را به عنوان تیمار برتر پیشنهاد داد.

همچنین بیشترین میزان ترکیبات ژرنیل فورمات، ژرانیل استات و کاربوفیلین اکسید در تنش ملایم و با کاربرد قارچ *Glomus intraradices* به دست آمد (Fadaee et al., 2018). همچنین در پژوهشی دیگر قارچ میکوریز (*Glomus intraradices*، *G. fasciculatum* و *mosseae*) با افزایش میزان درصد لینالول، متیل چاویکول، نیرال و ژرانیل منجر به بهبود کیفیت اسانس گیاه ریحان نسبت به شاهد شد (Zolfaghari et al., 2013). همچنین در مطالعه ای دیگر که روی نعنای انجام شد، مشخص گردید که کاربرد قارچ میکوریز (*Rhizophagus clarus*) منجر به بهبود کمیت و کیفیت اسانس گردید. به طوری که بیشترین میزان کارون با کاربرد قارچ میکوریز به دست آمد (Urcoviche et al., 2015).

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که با افزایش سطح تنش رطوبتی، مقادیر ارتفاع بوته، تعداد گره، تعداد برگ، تعداد شاخه جانبی در بوته، شاخص کلروفیل و عملکرد وزن خشک کاهش معنی داری پیدا کردند، ولی کاربرد قارچ میکوریز منجر به کاهش اثرات سوء تنش خشکی گردید. به طوری که در آبیاری بعد از ۷۰ درصد تخلیه رطوبتی

جدول ۵- ترکیبات شناسایی شده اسانس نعنای فلفلی تحت تأثیر تنش آبی و منابع کودی مختلف (میانگین دو چین)

Table 5- Ingredients detected in essential oil of *Mentha piperita* affected by irrigation levels and different fertilizer sources (Average of two harvesting time)

ردیف Row	اجزای تشکیل دهنده اسانس Essential oil ingredients	شاخص بازداری محاسباتی Calculated retention indices	شاخص بازداری رفرنس Reference retention indices	W ₃₀ F ₁	W ₃₀ F ₂	W ₃₀ F ₃	W ₃₀ F ₄	W ₃₀ F ₅	W ₃₀ F ₆
1	آلفا-پینن α -Pinene	931	932	0.8	0.7	0.7	0.8	0.9	0.7
2	سابینن Subinene	970	969	0.7	0.6	0.6	0.7	0.8	0.6
3	بتا-پینن β -Pinene	975	974	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.2
4	میرسین Myrcene	988	988	0.6	0.7	0.5	0.9	0.7	0.4
5	۳-کتانول 3-Octanol	1000	998	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
6	آلفا-ترپینن α -Terpinene	1017	1014	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
7	لیمونن	1029	1024	2.9	2.6	2.7	3.1	3.1	3.0

	Limonene								
8	۱-سینئول 1,8-Cineole	1029	1026	6.4	5.6	6.0	5.9	6.1	5.4
9	گاما-ترپینن γ -Terpinene	1058	1054	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2
10	سیس-سابینن هیدرات Cis-Sabinene hydrate	1066	1065	1.5	1.3	1.3	1.4	1.4	1.3
11	لینالول Linalol	1103	1095	0.3	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3
12	منتون Menthone	1152	1148	13.5	14.8	14.4	14.9	14.8	15.4
13	منتوفوران Menthofuran	1161	1159	4.4	4.3	4.2	3.8	4.2	4.2
14	دلنا ترپینئول δ -Terpineol	1162	1162	2.2	2.2	2.3	2.4	2.3	2.5
15	نئو-منتول neo-Menthol	1163	1161	3.9	3.8	4.0	4.2	4.0	4.2
16	منتول Menthol	1175	1167	32.7	31.8	34.2	33.9	33.9	34.5
17	ترپینن-۴-ال Terpinene-4-ol	1177	1177	2.2	1.3	1.4	1.4	0.2	0.2
18	نئو-ایزو-منتول neo-iso-Menthol	1184	1184	3.1	2.7	2.9	2.2	3.2	3.5
19	پولیگون Pulegone	1236	1233	1.4	1.8	1.4	1.6	1.6	1.6
20	پیپریتون Piperitone	1252	1252	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5
21	نئو-منتی استات neo-Menthy acetate	1273	1271	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6
22	پی-منت-ال-این-۹-ال p-Menth-l-en-9-ol	1294	1294	10.8	12.6	10.1	10.8	10.3	10.3
23	ایزو-منتیل استات iso-Menthyl acetate	1307	1304	0.6	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5
24	بتا-بوربونن β -bourbonene	1382	1387	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1
25	کاریوفیلین (E)-Caryophyllene	1416	1417	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	1.4
26	بتا-فارنسین (E)- β -Farnesene	1457	1454	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
27	جرماکرین دی Germacrene D	1479	1484	1.0	1.1	1.1	0.9	1.0	1.1
28	الیکسن Elixene	1494	1492	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
29	ویریدیفلورول Viridiflorol	1589	1592	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
	مجموع ترکیبات شناسایی شده Total identified (%)			94.6	94.6	94.3	95.2	94.9	95.4

W₃₀: آبیاری پس از ۳۰ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی، F₁: شاهد، F₂: کود نیتروژنه، F₃: قارچ میکوریز، F₄: ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز، F₅: ۵۰ درصد کود نیتروژنه + میکوریز، F₆: ۲۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز

W₃₀: irrigation after depletion of 30% available water, F₁: control, F₂: nitrogen fertilizer (NF), F₃: arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), F₄: 75% NF+ AMF, F₅: 50% NF+ AMF, F₆: 25% NF+ AMF

جدول ۶- ترکیبات شناسایی شده اسانس نعناع فلفلی تحت تأثیر تنش آبی و منابع کودی مختلف (میانگین دو چین)

Table 6- Ingredients detected in essential oil of *Mentha piperita* affected by irrigation levels and different fertilizer sources (average of two harvesting time)

ردیف Row	اجزای تشکیل دهنده اسانس Essential oil ingredients	شاخص بازداري محاسبه اي Calculated retention indices	شاخص بازداري رفرنس Reference retention indices	W ₅₀ F ₁	W ₅₀ F ₂	W ₅₀ F ₃	W ₅₀ F ₄	W ₅₀ F ₅	W ₅₀ F ₆
1	آلفا-پینن <i>α</i> -Pinene	931	932	0.8	0.8	0.8	0.6	0.8	0.7
2	سابینن Subinene	970	969	0.5	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6
3	بتا-پینن <i>β</i> -Pinene	975	974	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1
4	میرسین Myrcene	988	988	0.4	0.8	0.7	0.7	0.8	0.4
5	۳-اکتانول 3-Octanol	1000	998	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1
6	آلفا-ترپینن <i>α</i> -Terpinene	1017	1014	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
7	لیمونن Limonene	1029	1024	3.0	2.8	2.9	2.7	2.7	2.7
8	۱،۸-سینئول 1,8-Cineole	1029	1026	6.0	6.2	6.4	5.8	6.2	5.4
9	گاما-ترپینن <i>γ</i> -Terpinene	1058	1054	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2
10	سیس-سابینن هیدرات Cis-Sabinene hydrate	1066	1065	1.1	1.4	1.6	1.5	1.5	1.3
11	لینالول Linalol	1103	1095	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
12	منتون Menthone	1152	1148	14.2	14.4	13.8	13.2	14.1	14.6
13	منتوفوران Menthofuran	1161	1159	4.2	4.1	4.5	3.9	3.9	3.8
14	دلتا ترپینئول <i>δ</i> -Terpineol	1162	1162	2.3	2.5	2.3	2.4	2.4	2.4
15	نئو-منتول neo-Menthol	1163	1161	3.9	4.0	4.0	4.1	4.0	4.3
16	منتول Menthol	1175	1167	34.1	35.0	34.0	37.4	36.9	35.4
17	ترپینن-۴-آل Terpinene-4-ol	1177	1177	2.4	1.3	2.5	1.4	0.2	0.3
18	نئو-ایزو-منتول neo-iso-Menthol	1184	1184	2.2	2.1	2.2	3.3	3.3	3.4
19	پولیگون Pulegone	1236	1233	1.4	1.8	1.7	1.5	1.4	1.6
20	پپریتون Piperitone	1252	1252	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
21	نئو-منتی استات neo-Menthy acetate	1273	1271	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7
22	پی-منت-۱-این-۹-آل <i>p</i> -Menth-l-en-9-ol	1294	1294	11.9	11.1	11.0	10.9	10.4	11.0
23	ایزو-منتیل استات	1307	1304	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

	iso-Menthyl acetate								
24	بنا-بوربون β -bourbonene	1382	1387	1.1	1.0	1.1	1.0	1.0	1.1
25	کاربوفیلین (E)-Caryophyllene	1416	1417	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4
26	بنا-فارسین (E)- β -Farnesene	1457	1454	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
27	جرماکرین دی Germacrene D	1479	1484	1.1	0.9	1.0	1.1	1.1	1.1
28	الیکسن Elixene	1494	1492	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
29	ویریدیفلورل Viridiflorol	1589	1592	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5
	مجموع ترکیبات شناسایی شده Total identified (%)			95.8	96.1	96.5	97.4	96.7	96.0

W₅₀: آبیاری پس از ۵۰ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی، F₁: شاهد، F₂: کود نیتروژنه، F₃: قارچ میکوریز، F₄: ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز، F₅: ۵۰ درصد کود نیتروژنه +

میکوریز، F₆: ۲۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز

W₅₀: irrigation after depletion of 50% available water, F₁: control, F₂: nitrogen fertilizer (NF), F₃: arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), F₄: 75% NF+ AMF, F₅: 50% NF+ AMF, F₆: 25% NF+ AMF

جدول ۷- ترکیبات شناسایی شده اسانس نعناع فلفلی تحت تأثیر تنش آبی و منابع کودی مختلف (میانگین دو چین).

Table 7- Ingredients detected in essential oil of *Mentha piperita* affected by irrigation levels and different fertilizer sources (average of two harvesting time)

ردیف Row	اجزای تشکیل دهنده اسانس Essential oil ingredients	شاخص بازداری محاسباتی Calculated retention indices	شاخص بازداری رفرنس Reference retention indices	W ₇₀ F ₁	W ₇₀ F ₂	W ₇₀ F ₃	W ₇₀ F ₄	W ₇₀ F ₅	W ₇₀ F ₆
1	آلفا-پینن α -Pinene	931	932	0.6	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8
2	سابینن Subinene	970	969	0.5	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7
3	بنا-پینن β -Pinene	975	974	1.3	1.3	1.1	1.1	1.1	1.3
4	میرسین Myrcene	988	988	0.7	0.7	0.3	0.6	0.9	1.0
5	۳-اُکتانول 3-Octanol	1000	998	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
6	آلفا-ترپینن α -Terpinene	1017	1014	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
7	لیمونن Limonene	1029	1024	2.8	2.9	2.8	2.8	2.7	2.8
8	۱،۸-سینئول 1,8-Cineole	1029	1026	6.1	5.9	6.2	6.3	6.4	5.8
9	گاما-ترپینن γ -Terpinene	1058	1054	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3
10	سیس-سابینن هیدرات Cis-Sabinene hydrate	1066	1065	1.5	1.5	1.3	1.5	1.6	1.5
11	لینالول Linalol	1103	1095	1.0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4
12	منتون	1152	1148	12.2	13.0	15.0	14.3	13.8	13.3

	Menthone								
13	منتوفوران Menthofuran	1161	1159	3.9	3.8	3.8	3.9	3.7	3.7
14	دلتا ترپینئول δ -Terpineol	1162	1162	2.1	2.2	2.5	2.4	2.3	2.3
15	نئو-منتول neo-Menthol	1163	1161	4.0	4.1	4.2	4.2	4.3	4.1
16	منتول Menthol	1175	1167	33.5	35.9	36.0	35.1	34.4	34.6
17	ترپینن-۴-ال Terpinene-4-ol	1177	1177	1.6	1.5	2.6	1.3	1.2	1.3
18	نئو-ایزو-منتول neo-iso-Menthol	1184	1184	2.0	2.1	2.0	2.1	3.3	2.4
19	پولیگون Pulegone	1236	1233	1.5	2.0	1.1	1.6	1.6	1.4
20	پیپریتون Piperitone	1252	1252	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
21	نئو-منتی استات neo-Menthy acetate	1273	1271	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8
22	پی-منت-ال-این-۹-ال p-Menth-l-en-9-ol	1294	1294	11.1	9.5	8.9	12.2	11.2	12.8
23	ایزو-منتیل استات iso-Menthyl acetate	1307	1304	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0.7
24	بتا-بوربونن β -bourbonene	1382	1387	0.9	1.1	1.0	1.0	1.1	1.1
25	کاریوفیلین (E)-Caryophyllene	1416	1417	1.7	1.3	1.3	1.2	1.1	1.2
26	بتا-فارنسین (E)- β -Farnesene	1457	1454	0.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
27	جرماکرین دی Germacrene D	1479	1484	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
28	الیکسن Elixene	1494	1492	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
29	ویریدیفلورل Viridiflorol	1589	1592	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	مجموع ترکیبات شناسایی شده Total identified (%)			93.3	94.1	95.5	97.0	96.2	96.9

W₇₀: آبیاری پس از ۷۰ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی، F₁: شاهد، F₂: کود نیتروژنه، F₃: قارچ میکوریز، F₄: ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز، F₅: ۵۰ درصد کود نیتروژنه + میکوریز، F₆: ۲۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز

W₇₀: irrigation after depletion of 70% available water, F₁: control, F₂: nitrogen fertilizer (NF), F₃: arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), F₄: 75% NF+ AMF, F₅: 50% NF+ AMF, F₆: 25% NF+ AMF

جدول ۸- درصد مونوترپن‌ها و سزکوئی‌ترین‌های اسانس نعنای فلفلی تحت تأثیر تنش آبی و منابع کودی مختلف (میانگین دو چین)
 Table 8- Monoterpenes and Sesquiterpenes percentage of essential oil of *Mentha piperita* affected by irrigation levels and different fertilizer sources (Average of two harvesting time)

گروه‌بندی ترکیبات اسانس Grouped essential oil compounds	تیمارها Treatments					
	W ₃₀ F ₁	W ₃₀ F ₂	W ₃₀ F ₃	W ₃₀ F ₄	W ₃₀ F ₅	W ₃₀ F ₆
مونوترپن‌های هیدروکربنه Monoterpene hydrocarbons	6.3	5.98	5.95	6.9	7.1	6.1
مونوترپن‌های اکسیژنه Oxygenated monoterpenes	84.2	84.4	84.1	84.4	83.9	84.9
سزکوئی‌ترین‌های هیدروکربنه Sesquiterpene hydrocarbonates	3.6	3.7	3.7	3.5	3.5	3.9
سزکوئی‌ترین‌های اکسیژنه Oxygenated sesquiterpenes	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
ترکیبات دیگر Other compositions	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
مجموع ترکیبات شناسایی شده Total identified compounds (%)	94.6	94.6	94.3	95.2	94.9	95.4
	W ₅₀ F ₁	W ₅₀ F ₂	W ₅₀ F ₃	W ₅₀ F ₄	W ₅₀ F ₅	W ₅₀ F ₆
مونوترپن‌های هیدروکربنه Monoterpene hydrocarbons	6.1	6.7	6.6	6.1	6.3	5.8
مونوترپن‌های اکسیژنه Oxygenated monoterpenes	85.4	85.7	85.8	87.04	86.2	85.6
سزکوئی‌ترین‌های هیدروکربنه Sesquiterpene hydrocarbonates	3.8	3.3	3.6	3.7	3.7	4.0
سزکوئی‌ترین‌های اکسیژنه Oxygenated sesquiterpenes	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5
ترکیبات دیگر Other compositions	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1
مجموع ترکیبات شناسایی شده Total identified compounds (%)	95.8	96.1	96.5	97.4	96.7	96.0
	W ₇₀ F ₁	W ₇₀ F ₂	W ₇₀ F ₃	W ₇₀ F ₄	W ₇₀ F ₅	W ₇₀ F ₆
مونوترپن‌های هیدروکربنه Monoterpene hydrocarbons	6.2	6.6	5.9	6.2	6.4	6.97
مونوترپن‌های اکسیژنه Oxygenated monoterpenes	82.2	83.4	85.5	86.8	85.9	85.6
سزکوئی‌ترین‌های هیدروکربنه Sesquiterpene hydrocarbonates	4.5	3.6	3.7	3.5	3.4	3.8
سزکوئی‌ترین‌های اکسیژنه Oxygenated sesquiterpenes	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
ترکیبات دیگر Other compositions	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
مجموع ترکیبات شناسایی شده Total identified compounds (%)	93.3	94.1	95.5	97.0	96.2	96.9

W₃₀: آبیاری پس از ۳۰ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی، W₅₀: آبیاری پس از ۵۰ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی، W₇₀: آبیاری پس از ۷۰ درصد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی، F₁: شاهد، F₂: کود نیتروژنه، F₃: قارچ میکوریز، F₄: ۷۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز، F₅: ۵۰ درصد کود نیتروژنه + میکوریز، F₆: ۲۵ درصد کود نیتروژنه + میکوریز
 W₃₀: irrigation after depletion of 30% available water, W₅₀: irrigation after depletion of 50% available water, W₇₀: irrigation after depletion of 70% available water, F₁: control, F₂: nitrogen fertilizer (NF), F₃: arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), F₄: 75% NF+ AMF, F₅: 50% NF+ AMF, F₆: 25% NF+ AMF

References

- Adams, R.P. (2007). *Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry*. Allured Publishing Corporation: Carol Stream, IL, USA. 804 pp.
- Abdi, G., Shokrpour, M., & Salami, S.A. (2019). Essential oil composition at different plant growth development of peppermint (*Mentha x piperita* L.) under water deficit stress. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 22(2), 431-440. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2019.1581095>
- Abdollahi Arpanahi, A., & Feizian, M. (2019). Arbuscular mycorrhizae alleviate mild to mild water stress and improve essential oil yield in thyme. *Rhizosphere*, 9, 93-96. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2018.10.003>
- Aflatuni, A., Sari, E.K.J.U., & Hohtola, A. (2006). Optimum harvesting time of four *Mentha* species in Northern Finland. *Journal of Essential Oil Research*, 18(2), 134-138. <https://doi.org/10.1080/10412905.2006.9699043>
- Ahmadian, A., & Nourzad, S. (2014). Effect of water stress and harvesting stages on quantitative and qualitative yields of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Agroecology*, 6(1), 130-141. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22067/JAG.V6I1.35680>
- Akrami Nejad, O., Saffari, M., & Abdolshahi, R. (2015). Effect of organic and chemical fertilizers on yield and essential oil of two ecotypes of savory (*Satureja hortensis* L.) under normal and drought stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(4), 675-686. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22067/GSC.V13I4.23866>
- Amani Machiani, M., Javanmard, A., & Shekari, F. (2017). The effect of intercropping patterns on peppermint (*Mentha piperita* L.) dry biomass yield and essential oil content and faba bean (*Vicia faba* L.) seed yield. *Journal of Crop Production and Processing*, 7(3), 79-97. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.29252/jcpp.7.3.79>
- Amani Machiani, M., Javanmard, A., Morshedloo, M.R., & Maggi, F. (2018a). Evaluation of yield, essential oil content and compositions of peppermint (*Mentha piperita* L.) intercropped with faba bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Cleaner Production*, 171, 529-537. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.062>
- Amani Machiani, M., Javanmard, A., Morshedloo, M.R., & Maggi, F. (2018b). Evaluation of competition, essential oil quality and quantity of peppermint intercropped with soybean. *Industrial Crops and Products*, 111, 743-754. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.11.052>
- Amani Machiani, M., Javanmard, A., Ostadi, A., Morshedloo, M.R., & Chabokpour, J. (2021). Effects of harvest time and mycorrhiza fungus application on quantitative and qualitative yield of thyme (*Thymus vulgaris* L.) essential oil at different irrigation levels. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 36(6), 1022-1037. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22092/IJMAPR.2021.351323.2835>
- Aslani, Z., Hassani, A., Sadagiyani, R., Sefidkon, F., Barin, M., & Gheibi, S.A. (2010). Effect of symbiosis with mycorrhiza fungi on some physiological characteristics of basil (*Ocimum basilicum*) under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 2(2), 109-117. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22077/escs.2010.70>
- Aslani, Z., Hassani, A., Rasooli, S.M., Sefidkon, F., & Barin, M. (2011). Effect of two fungi species of arbuscular mycorrhizal (*Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*) on growth, chlorophyll contents and P concentration in basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 27(3), 471-486. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22092/IJMAPR.2011.6388>
- Babushok, V.I., Linstrom, P.J., Reed, J.J., Zenkevich, I.G., Brown, R.L., Mallard, W.G., & Stein, S.E. (2007). Development of a database of gas chromatographic retention properties of organic compounds. *Journal of Chromatography, A*, 1157(1-2), 414-421. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2007.05.044>
- Bahreinejad, B., Razmjoo, J., & Mirza, M. (2013). Influence of water stress on morpho-physiological and phytochemical traits in *Thymus daenensis*. *International Journal of Plant Production*, 7(1), 151-166. <https://doi.org/10.22069/IJPP.2012.927>
- Baranauskienė, R., Venskutonis, P.R., Viškelis, P., & Dambrauskienė, E. (2003). Influence of nitrogen fertilizers on the yield and composition of thyme (*Thymus vulgaris*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(26), 7751-7758. <https://doi.org/10.1021/jf0303316>
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M.A., Raza, S., Khan, M.I., Ashraf, M., Ahmed, N., & Zhang, L. (2019). Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: Implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1-15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>
- Behie, S., Zelisko, P., & Bidochka, M. (2012). Endophytic insect-parasitic fungi translocate nitrogen directly from insects to plants. *Science*, 336(1), 1576-1577. <https://doi.org/10.1126/science.1222289>
- Bigonah, R., Rezvani Moghaddam, P., & Jahan, M. (2014). Effects of different fertilizer managements on quantitative and qualitative characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.) as a medicinal plant. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(4), 574-581. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22067/GSC.V12I4.45140>
- Biglari, T., Maleksaedi, H., Eskandari, F., & Jalali, M. (2019). Livestock insurance as a mechanism for household resilience of livestock herders to climate change: Evidence from Iran. *Land Use Policy*, 87, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104043>

- Gheisari Zardak, S., Dehnavi, M.M., Salehi, A., & Gholamhoseini, M. (2017). Responses of field grown fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) to different mycorrhiza species under varying intensities of drought stress. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 5, 16-25. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2016.09.004>
- Chiappero, J., Del Rosario Cappellari, L., Alderete, L.G.S., Palermo, T.B., & Banchio, E. (2019). Plant growth promoting rhizobacteria improve the antioxidant status in *Mentha piperita* grown under drought stress leading to an enhancement of plant growth and total phenolic content. *Industrial Crops and Products*, 139, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111553>
- Clark, R.J., & Read, C. (2000). *Production of Peppermint Oil a Model of Best Practice for Tasmania and Victoria*. Rural Industries Research and Development Corporation (RIRDC) publishing: Kingston/Tasmania, Australia. 117 pp.
- Egamberdieva, D., Shrivastava, S., & Varma, A. (2015). *Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) and Medicinal Plants*. Springer International Publishing: Berlin/Heidelberg, Germany. 442 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-13401-7>
- Eslami Fard, S., Yarnia, M., Farahvash, F., Khalilvand, E., & Rashidi, V. (2019). Evaluating the role of mycorrhiza species in phosphorus levels on peppermint production under different water conditions. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(3), 39-57. (In Persian with English Summary).
- Fadaee, E., Parvizi, Y., Gerdakane, M., & Khan-ahmadi, M. (2018). The Effects of mycorrhiza (*Glomus mosseae* and *Glomus intraradiceae*) and phosphorus on growth and phytochemical traits of *Dracocephalum moldavica* L. under drought stress. *Journal of Medicinal Plants*, 17(66), 100-112. (In Persian with English Summary)
- Farahani, H.A., Valadabadi, S.A., Daneshian, J., & Khalvati, M.A. (2009). Evaluation changing of essential oil of balm (*Melissa officinalis* L.) under water deficit stress conditions. *Journal of Medicinal Plants Research*, 3, 329-333. <https://doi.org/10.5897/JMPR.9000606>
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S.M.A. (2009). Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Sustainable Agriculture*, 29, 153-188. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8_12
- Gao, S., Wang, Y., Yu, S., Huang, Y., Liu, H., Chen, W., & He, X. (2020). Effects of drought stress on growth, physiology and secondary metabolites of Two Adonis species in Northeast China. *Scientia Horticulturae*, 259, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108795>
- García-Caparrós, P., Romero, M.J., Llanderal, A., Cermeno, P., Lao, M.T., & Segura, M.L. (2019). Effects of drought stress on biomass, essential oil content, nutritional parameters, and costs of production in six Lamiaceae species. *Water*, 11(3), 1-12. <https://doi.org/10.3390/w11030573>
- Ghaemi, M., Zare, Z., & Nasiri, Y. (2019). Effect of drought stress on some morphological characteristics and essential oil production levels of *Ocimum basilicum* in different stages of growth and development. *Developmental Biology*, 11(1), 15-26.
- Ghasemi P.A., Ghahfarokhi, B.B., Ghahfarokhi, S.A.M., & Malekpoor, F. (2015). Chemical composition of essential oils from the aerial parts and underground parts of Iranian valerian collected from different natural habitats. *Industrial Crops and Products*, 63, 147-151. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.10.017>
- Gity, S., & Raoofy, M. (2017). Yield, essential oil and some morphological characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.) influenced by hand weeding and plant density. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 27(1), 13-23. (In Persian with English Summary)
- Golubkina, N., Logvinenko, L., Novitsky, M., Zamana, S., Sokolov, S., Molchanova, A., Shevchuk, O., Sekara, A., Tallarita, A., & Caruso, G. (2020). Yield, essential oil and quality performances of *Artemisia dracunculus*, *Hyssopus officinalis* and *Lavandula angustifolia* as affected by arbuscular mycorrhizal fungi under organic management. *Plants*, 9, 2-16. <https://doi.org/10.3390/plants9030375>
- Govahi, M., Ghalavand, A., Nadjafi, F., & Sorooshzadeh, A. (2015). Comparing different soil fertility systems in sage (*Salvia officinalis*) under water deficiency. *Industrial Crops and Products*, 74, 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.04.053>
- Haghir Ebrahimabadi, A., Hatami, M., Karimzadeh, A., & Ghorbanpour, M. (2018). Effect of mycorrhizal fungi and biophosphor fertilizer on growth features, yield and yield components, and essential oil constituents in *Cuminum cyminum* L. *Journal of Medicinal Plants*, 17(66), 74-90. (In Persian with English Summary)
- Hassiotis, C.N., Ntana, F., Lazari, D.M., Poulis, S., & Vlachonassios, K.E. (2014). Environmental and developmental factors affect essential oil production and quality of *Lavandula angustifolia* during flowering period. *Industrial Crops and Products*, 62, 359-366. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.048>
- Hussain, S.A., Farooq, M.A., Akhtar, J., & Saqib, Z.A. (2018). Silicon-mediated growth and yield improvement of sunflower (*Helianthus annuus* L.) subjected to brackish water stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40(10), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2755-z>
- Jiang, T., Liu, J., Gao, Y., Sun, Z., Chen, S., Yao, N., Ma, H., Feng, H., Yu, Q., & He, J. (2020). Simulation of plant height of winter wheat under soil Water stress using modified growth functions. *Agricultural Water Management*, 232, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106066>
- Jamshidi, A.M., Ahmadi, A., Karimi, M., & Motesharezadeh, B. (2020). Evaluation of some growth and physiological

- responses of chia (*Salvia hispanica* L.) to various moisture regimes. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50(4), 99-110. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2018.260605.654491>
- Kapoor, R., Anand, G., Gupta, P., & Mandal, S. (2017). Insight into the mechanisms of enhanced production of valuable terpenoids by arbuscular mycorrhiza. *Phytochemistry Reviews*, 16(4), 677-692. <https://doi.org/10.1007/s11101-016-9486-9>
- Khalid, K.A. (2006). Influence of water stress on growth, essential oil, and chemical composition of herbs [*Ocimum* sp.]. *International Agrophysics*, 20(4), 289-296.
- Khorasaninejad, S., Soltanloo, H., Ramezani, S., Hadian, J., & Atashi, S. (2015). The effect of drought stress on the growth, essential oil yield and chemical composition of lavender. *Journal of Crops Improvement*, 17(4), 979-988. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/jci.2015.55145>
- Lenoir, I., Fontaine, J., & Sahraoui, A.L.H. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungal responses to abiotic stresses: A review. *Phytochemistry*, 123, 4-15. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2016.01.002>
- Ludwig-Müller, J. (2010). *Hormonal responses in host plants triggered by arbuscular mycorrhizal fungi*. In H. Koltai, & Y. Kapulnik (Eds.). *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Springer, Dordrecht, p. 169-190. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9489-6_8
- Marcum, D.B., & Hanson, B.R. (2006). Effect of irrigation and harvest timing on peppermint oil yield in California. *Agricultural Water Management*, 82(1), 118-128. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.022>
- Mao, Z.H., Deng, L., Duan, F.Z., Li, X.J., & Qiao, D.Y. (2020). Angle effects of vegetation indices and the influence on prediction of SPAD values in soybean and maize. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 93, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102198>
- Modafe Behzadi, N., Rezvani Moghaddam, P., & Jahan, M. (2019). Effects of planting date and plant density on morphology and yield of indigo (*Indigofera tinctoria* L.) as a medicinal plant. *Journal of Agroecology*, 10(4), 1067-1079. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22067/JAG.V10I4.48405>
- Moghadasan, S.H., Safipour, A.A., & Saeid, N.F. (2016). The role of mycorrhiza in drought tolerance of marigold (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Crop Ecophysiology* 9(4), 521-532. (In Persian with English Summary)
- Morshedloo, M.R., Craker, L.E., Salami, A., Nazeri, V., Sang, H., & Maggi, F. (2017). Effect of prolonged water stress on essential oil content, compositions and gene expression patterns of mono- and sesquiterpene synthesis in two oregano (*Origanum vulgare* L.) subspecies. *Plant Physiology and Biochemistry*, 111, 119-128. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.11.023>
- Morshedloo, M.R., Maggi, F., Neko, H.T., & Aghdam, M.S. (2018). Sumac (*Rhus coriaria* L.) fruit: Essential oil variability in Iranian populations. *Industrial Crops and Products*, 111, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.002>
- Mumivand, H. (2016). Effect of drought stress on growth, effective substances and some enzyme activities in selected tarragon (*Artemisia dracuculus* L.) accessions. PhD Dissertation, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Iran. (In Persian with English Summary)
- Nadarajan, S., & Sukumaran, S. (2021). *Chemistry and toxicology behind chemical fertilizers*. In F.B. Lewu, T. Volova, S. Thomas, & K.R. Rakhimol (Eds.). *Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture*. Academic Press, London, United Kingdom. p. 195-229.
- Peter, K. (2006). *Handbook of Herbs and Spices*. Woodhead Publishing: Sawston, UK. 537 pp.
- Omidbaigi, R. (2012). *Production and Processing of Medicinal Plants (Vol.2)*. Razavi Ghods Astan Publication. 438 pp.
- Ormeno, E., & Fernandez, C. (2012). Effect of soil nutrient on production and diversity of volatile terpenoids from plants. *Current Bioactive Compounds*, 8(1), 71-79. <https://doi.org/10.2174/157340712799828188>
- Ostadi, A., Javanmard, A., Machiani, M.A., Morshedloo, M.R., Nouraein, M., Rasouli, F., & Maggi, F. (2020). Effect of different fertilizer sources and harvesting time on the growth characteristics, nutrient uptakes, essential oil productivity and composition of *Mentha x piperita* L. *Industrial Crops and Products*, 148, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112290>
- Ozturk, M., Turkyilmaz Unal, B., García-Caparrós, P., Khursheed, A., Gul, A., & Hasanuzzaman, M. (2020). Osmoregulation and its actions during the drought stress in plants. *Physiologia Plantarum*, 100, 1-34. <https://doi.org/10.1111/ppl.13297>
- Rahimi, Y., Taleei, A., & Ranjbar, M. (2018). Long-term water deficit modulates antioxidant capacity of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Scientia Horticulturae*, 237, 36-43. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.004>
- Rahmani, N., Valadabadi, S.A., Daneshian, J., & Bigdeli, M. (2008). The effects of water deficit stress and nitrogen on oil yield of *Calendula officinalis* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 24(1), 103-108. (In Persian with English Summary)
- Rezvani Moghaddam, P., Aminghafori, A., Bakhshaie, S., & Jafari, L. (2013). The effect of organic and biofertilizers on some quantitative characteristics and essential oil content of summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Journal of Agroecology*, 5(2), 105-112. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22067/JAG.V5I2.24460>
- Ruiz-Lozano, J.M. (2003). Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. New perspectives for

- molecular studies. *Mycorrhiza*, 13, 309–317. <https://doi.org/10.1007/s00572-003-0237-6>
- Safahani Langeroodi, A.R., Osipitan, O.A., Radicetti, E., & Mancinelli, R. (2020). To what extent arbuscular mycorrhiza can protect chicory (*Cichorium intybus* L.) against drought stress. *Scientia Horticulturae*, 263, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109109>
- Safikhani, F.A., Heydari, S.H., Siadat, S.A.E., Sharifi, A.E., Seyednezhad, S., & Abbaszadeh, B. (2007). The effect of drought stress on percentage and yield of essential oil and physiological characteristics of *Deracocephalum moldavica* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 23(1), 86-99. (In Persian with English Summary)
- Seleiman, M.F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H.H., & Battaglia, M.L. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10(2), 1-25. <https://doi.org/10.3390/plants10020259>
- Shivakrishna, P., Reddy, K.A., & Rao, D.M. (2018). Effect of PEG-6000 imposed drought stress on RNA content, relative water content (RWC), and chlorophyll content in peanut leaves and roots. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(2), 285-289. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.04.008>
- Sodaeizadeh, H., & Mansouri, F. (2014). Effects of drought stress on dry matter accumulation, nutrient concentration and soluble carbohydrate of *Salvia macrosiphonas* a medicinal plant. *Arid Biome Scientific and Research Journal*, 4(1), 1-9. (In Persian with English Summary)
- Solanki, P., Bhargava, A., Chhipa, H., Jain, N., & Panwar, J. (2015). *Nano-fertilizers and their smart delivery system*. In M. Rai, C. Ribeiro, L. Mattoso, & N. Duran (Eds.). *Nanotechnologies in Food and Agriculture*. Springer Publication, Cham. p. 81-101. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14024-7_4
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant Physiology*. Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland, MA, USA. 690 pp.
- Tarraf, W., Ruta, C., Tagarelli, A., De Cillis, F., & De Mastro, G. (2017). Influence of arbuscular mycorrhizae on plant growth, essential oil production and phosphorus uptake of *Salvia officinalis* L. *Industrial Crops and Products*, 102, 144-153. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.03.010>
- Telci, I., Kacar, O., Bayram, E., Arabacı, O., Demirtaş, İ., Yılmaz, G., Özcan, I., Sönmez, C., & Göksu, E. (2011). The effect of ecological conditions on yield and quality traits of selected peppermint (*Mentha piperita* L.) clones. *Industrial Crops and Products*, 34(1), 1193-1197. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.04.010>
- Thokchom, S.D., Gupta, S., & Kapoor, R. (2020). Arbuscular mycorrhiza augments essential oil composition and antioxidant properties of *Ocimum tenuiflorum* L. A popular green tea additive. *Industrial Crops and Products*, 153, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112418>
- Urcoviche, R.C., Gazim, Z.C., Dragunski, D.C., Barcellos, F.G., & Alberton, O. (2015). Plant growth and essential oil content of *Mentha crispa* inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi under different levels of phosphorus. *Industrial Crops and Products*, 67, 103-107. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.016>
- Vafayi Rostami, S., Abbasi, R., Pirdashti, H., & Ghajar Sepanlou, M. (2019). Effect of *Piriformospora indica* and *Trichoderma harzianum* on morphological characteristics, yield and essential oil of peppermint (*Mentha piperita*) at different amount of phosphorus and irrigation. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(4), 37-50. (In Persian with English Summary)
- Varma, A., Prasad, R., & Tuteja, N. (2018). *Mycorrhiza-Nutrient Uptake, Biocontrol, Ecorestoration*. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany. 533 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68867-1>
- Willmann, M., Gerlach, N., Buer, B., Polatajko, A., Nagy, R., Koebke, E., Jansa, J., Flisch, R., & Bucher, M. (2013). Mycorrhizal phosphate uptake pathway in maize: Vital for growth and cob development on nutrient poor agricultural and greenhouse soils. *Frontiers in Plant Science*, 4, 1-6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00533>
- Wu, Q.S., Srivastava, A., & Zou, Y.N. (2013). AMF-induced tolerance to drought stress in citrus: A review. *Scientia Horticulturae*, 164, 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.09.010>
- Yousefzadeh, S., Modarres, S.S.A.M., Sefidkon, F., & Ghiasy, O.M. (2016). Effect of biofertilizer, azocompost and nitrogen on oil yield and essential oil content of *Dracocephalum moldavica* L. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 46(4), 604-611. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2015.56908>
- Zheljazkov, V.D., Cerven, V., Cantrell, C.L., Ebelhar, W.M., & Horgan, T. (2009). Effect of nitrogen, location, and harvesting stage on peppermint productivity, oil content, and oil composition. *American Society for Horticultural Science*, 44(5), 1267-1270. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.5.1267>
- Zolfaghari, M., Nazeri, V., Sefidkon, F., & Rejali, F. (2013). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and essential oil content and composition of *Ocimum basilicum* L. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 3(2), 643-650. <https://doi.org/10.30495/ijpp.2013.540674>
- Seif Sahandi, M., Mehrafarin, A., Khalighi-Sigaroodi, F., & Sharifi, M. (2019). Changes in essential oil content and composition of peppermint (*Mentha piperita* L.) in responses to nitrogen application. *Journal of Medicinal Plants*, 18(72), 81-97. <https://doi.org/10.29252/jmp.4.72.81>



Evaluation of the Efficiency of Rice (*Oryza sativa* L.) Straw Checkerboard Barriers Technique on Moisture Retention, CO₂ Production, and Soil Microbial Population

Elahe Ahmadpoor Dehkordi¹, Ali Abbasi Surki^{2*}, Mehdi Pajouhesh³ and Pejman Tahmasebi⁴

Received: 10-04-2021
Revised: 22-07-2021
Accepted: 08-08-2021
Available Online: 08-08-2021

How to cite this article:

Ahmadpoor Dehkordi, E., Abbasi Surki, A., Pajouhesh, M., & Tahmasebi, P. (2023). Evaluation of the efficiency of rice (*Oryza sativa* L.) straw checkerboard barriers technique on moisture retention, CO₂ production, and soil microbial population. *Journal of Agroecology* 15(1), 119-137.
DOI: [10.22067/agry.2021.69711.1035](https://doi.org/10.22067/agry.2021.69711.1035)

Introduction

The incidence of drought periods and its continuity in arid and semi-arid areas is considered one of the factors affecting soil microbial population and activity and soil water content, and thus affect soil fertility and nutrient availability. Implementation of the straw checkerboard barrier technique in these areas as a cheap, effective, and easy technology has an important role in reviving soil microbial communities and desertification control. In the present study, the effect of the straw checkerboard barriers technique on moisture retention, soil microbial population and their CO₂ production was investigated.

Materials and Methods

This research was carried out in a semi-arid region prone to wind erosion with damaged soil communities, in which the straw checkered barrier technique was established to control wind erosion. For this purpose, 5 t.ha⁻¹ of rice (*Oryza sativa* L.) straws were arranged in 1 m × 1 m checkerboard patterns in January 2018. This research was carried out in a part of the “ Margh” meadow the south of Shahrekord, the capital of Chaharmahal and Bakhtiari province (50° 50' E, 32° 17' N). Then the effect of this technique on soil microbial properties, including respiration and soil microbial biomass as well as moisture retention and aggregate stability, were considered. The same area was also dedicated for control as bare ground. Several straw squares were randomly selected, and the trend of changes in microbial respiration and soil moisture in the border of barriers, the center of barriers, and bare ground were measured in several stages. Also in the fourth stage of microbial respiration determination, microbial biomass, and aggregate stability were measured too. Microbial respiration and soil moisture data were analyzed based on a split-plot experiment in time in a randomized complete block design, and microbial biomass data and weight and geometric mean particle diameter were analyzed based on a randomized complete block design.

Results and Discussion

The results indicate that soil water content at the borders of the barriers significantly increased compared to the center of the barriers and the bare ground by 10.91% and 18.56%, respectively. Soil water content at the borders of the barriers was maintained for a longer time compared to the bare ground, but the decreasing trend of soil moisture in the bare ground was steeper over time, reaching the lowest position compared to the others. This can be attributed to the reduction of wind speed and shading of straws on the soil surface, creating a safer microclimate near the soil surface. The addition of rice straw in the form of checkered barriers to the soil significantly increased carbon mineralization compared to the bare ground in all measurement stages. In the first stage, the amount of CO₂-C

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

2- Associate Professor, Department of Agronomy, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

3 and 4- Assistant and Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Shahrekord University, Shahrekord, Iran, Respectively.

(*- Corresponding author's Email: abbasi@sku.ac.ir)

produced at the borders and center of the barriers increased by 37.76% and 14.69%, respectively, compared to the bare ground. On July 5th, CO₂-C production decreased significantly. From July 15th to October 28th, the trend of carbon mineralization at the borders and center of the barriers and bare ground showed a steady state with lower values for the bare ground. Residue incorporation in soils may increase C mineralization and have a positive priming effect for accelerating soil organic carbon (SOC) decomposition. The establishment of straw checkerboard barriers alleviated the effects of moisture deficiency on soil microbial activity and increased carbon mineralization. The higher rates of microbial respiration in the barriers indicate the efficiency of the straws added to the soil and the better adjustment of drought conditions in the soil. The highest soil microbial biomass and aggregate stability were observed at the borders of the barriers, which was significantly different from the bare ground. The return of residues to the soil increased aggregate stability, which may be due to the improvement of organic matter and soil porosity.

Conclusion

The results of this study indicate that the implementation of straw checkerboard barriers improved the soil's biological properties, moisture content and aggregates stability and can provide a better microclimate for plant establishment and growth, which may lead to higher conservation of natural resources and sustainable production.

Keywords: Carbon mineralization, Ecological engineering, Mean weight diameter, Soil microbial activity, Soil water content

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، ص ۱۱۹-۱۳۷

ارزیابی کارایی تکنیک موانع شطرنجی کلش برنج (*Oryza sativa* L.) بر نگهداشت رطوبتی، میزان CO₂ و جمعیت میکروبی خاک

الهه احمدپور دهکردی^۱، علی عباسی سورکی^{۲*}، مهدی پژوهش^۳ و پژمان طهماسبی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۷

چکیده

بروز دوره‌های خشکی و استمرار آن در مناطق خشک و نیمه خشک یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر جمعیت و فعالیت میکروب‌های خاک، میزان رطوبت و متعاقب آن حاصلخیزی و قابلیت جذب عناصر غذایی خاک به‌شمار می‌آید. اجرای تکنیک موانع شطرنجی کلش در این نواحی به‌عنوان یک فناوری ارزان، مؤثر و آسان، نقش مهمی در احیای جوامع میکروبی خاک و کنترل بیابان‌زایی دارد. در پژوهش حاضر، اثر تکنیک موانع شطرنجی کلش بر نگهداشت رطوبت، جمعیت میکروبی خاک و تولید CO₂ آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش در بخشی از دشت مرغ در جنوب شهر شهرکرد مرکز استان چهارمحال و بختیاری، با مختصات جغرافیایی ۱۷ دقیقه و ۳۲ درجه عرض شمالی و ۵۰ دقیقه و ۵۰ درجه طول شرقی انجام شد. در این منطقه نیمه خشک و مستعد فرسایش بادی با جوامع خاکی آسیب دیده، از تکنیک موانع شطرنجی کلش به‌منظور کنترل فرسایش بادی استفاده شده بود. بدین منظور کلش برنج (*Oryza sativa* L.) به‌میزان پنج تن در هکتار به‌صورت الگوی شطرنجی مربعی ۱×۱ متر در دی ماه سال ۱۳۹۶ کار گذاشته شدند. سپس اثر این تکنیک بر خصوصیات میکروبی خاک شامل تنفس و زیست‌توده میکروبی خاک و همچنین نگهداشت رطوبت و پایداری خاکدانه‌ها مورد توجه قرار گرفت. در کنار موانع شطرنجی ایجاد شده، قطعه زمینی با ابعاد مشابه به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. چند مربع کلش به‌صورت تصادفی انتخاب و روند تغییرات تنفس میکروبی و رطوبت خاک در محدوده کنار و وسط مربعات و همچنین زمین شاهد در چند مرحله اندازه‌گیری شد. همچنین در مرحله چهارم از تنفس میکروبی، زیست‌توده میکروبی و پایداری خاکدانه‌ها اندازه‌گیری شد. داده‌های تنفس میکروبی و میزان رطوبت خاک به‌صورت آزمایش اسپلیت پلات در زمان در قالب طرح بلوک کامل تصادفی و داده‌های زیست‌توده میکروبی و میانگین وزنی و هندسی قطر ذرات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی تجزیه شدند. نتایج نشان داد، میزان رطوبت خاک در کنار موانع شطرنجی نسبت به وسط موانع و زمین شاهد به‌ترتیب ۱۰/۹۱ و ۱۸/۵۶ درصد افزایش نشان داد. رطوبت در کنار موانع برای مدت زمان طولانی‌تری نسبت به زمین شاهد حفظ شد، اما روند کاهش رطوبت در زمین شاهد تا پایان دوره شیب بیشتری داشت و میزان رطوبت آن در پایین‌ترین میزان بود. این نتیجه می‌تواند در ارتباط با کاهش سرعت باد و سایه‌اندازی کلش بر روی سطح خاک و اثر بر میکروکلیمای نزدیک سطح زمین باشد. همچنین افزودن کلش برنج به‌صورت موانع شطرنجی به خاک به‌طور معنی‌داری افزایش معدنی شدن کربن را نسبت به زمین شاهد در کلیه مراحل اندازه‌گیری به دنبال داشت. میزان CO₂-C تولید شده در مرحله اول در کنار و وسط موانع شطرنجی در مقایسه با زمین شاهد به‌ترتیب ۳۷/۷۶ و ۱۴/۶۹ درصد افزایش نشان داد. در تاریخ پنجم تیر ماه، تولید CO₂-C کاهش معنی‌دار نشان داد. از تاریخ ۲۴ تیر ماه تا هفتم مهر ماه روند معدنی شدن کربن در کنار و وسط موانع شطرنجی و همچنین زمین شاهد دارای شیب هموار بود

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

۲- دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

۳ و ۴- به‌ترتیب استادیار و دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

(*)- نویسنده مسئول: (Email: abbasi@sku.ac.ir)

و خاک شاهد پایین‌ترین مقدار را نشان داد. اضافه کردن بقایا می‌تواند معدنی شدن کربن را افزایش دهد و یک آغازگر مثبت باشد که به تسریع تجزیه کربن آلی خاک کمک می‌کند. استقرار موانع شطرنجی کلش اثرات کمبود رطوبت بر فعالیت میکروب‌های خاک را کاهش و معدنی شدن کربن را افزایش داد. تفاوت بیشتر میان میزان تنفس میکروبی در موانع شطرنجی و زمین شاهد نشان‌دهنده کارآمد بودن کلش اضافه شده به خاک و تعدیل هر چه بهتر شرایط خشکی در خاک می‌باشد. همچنین بیشترین میزان زیست‌توده میکروبی و پایداری خاکدانه‌ها در کنار موانع مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری با زمین شاهد داشت. بازگشت بقایا به خاک پایداری خاکدانه‌ها را افزایش داد که ممکن است به علت بهبود ماده آلی و تخلخل خاک باشد. نتایج این بررسی حاکی از آن است که استقرار موانع شطرنجی کلش سبب بهبود خصوصیات زیستی خاک شامل تنفس و زیست‌توده میکروبی و همچنین میزان رطوبت و پایداری خاکدانه‌ها شده و می‌تواند یک میکروکلیمای بهتر برای رشد و استقرار گیاه فراهم کند و منجر به حفظ منابع طبیعی و تولید پایدار گردد.

واژه‌های کلیدی: رطوبت خاک، فعالیت میکروبی خاک، معدنی شدن کربن، مهندسی اکولوژیک، میانگین وزنی قطر ذرات

مقدمه

در مقیاس جهانی، مناطق خشک و نیمه خشک تقریباً یک سوم مساحت جهان محسوب شده که همواره خاکی ضعیف داشته و در معرض بیابان‌زایی جدی قرار دارند (D'Odorico et al., 2013). پایین بودن ماده آلی خاک از یک طرف و دوره‌های خشکی از طرف دیگر، باعث بروز مشکلات شیمیایی، تغذیه‌ای و به‌ویژه بیولوژیکی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک می‌شود که به تدریج کاهش حاصلخیزی خاک را به دنبال دارد (Li & Sarah, 2003). تنفس و زیست‌توده میکروبی از مهم‌ترین ویژگی‌ها در تکوین خاک و فرآیند-های مهم اکوسیستم نظیر چرخه جهانی کربن، چرخه عناصر غذایی و اصلاح زیستی به‌شمار می‌آیند (Austin et al., 2004). تحقیقات نشان داده است که مواد آلی خاک منبع غذا و انرژی برای ریزجانداران هستند و محصولات جانبی متابولیت میکروبی در خاک باعث بهبود ساختمان خاک، تخلخل و افزایش خاکدانه‌سازی می‌شود (Davet, 2004).

یکی از راه‌های عملی برای بهبود ماده آلی خاک، مدیریت استفاده صحیح از بقایای گیاهی است، به‌گونه‌ای که با بازگشت این بقایا به خاک، متوسط ورودی سالانه کربن به خاک افزایش و بخشی از کربن خروجی حاصل از تجزیه میکروبی را جبران می‌نماید (Hadas et al., 2004). از جمله روش‌های مدیریتی جهت جلوگیری از بیابان‌زایی، تکنیک موانع شطرنجی (Zhang et al., 2016; Li et al., 2020) را می‌توان نام برد. این تکنیک یک فناوری ارزان، در دسترس، مؤثر و آسان بوده که به‌طور گسترده‌ای جهت کنترل جریان ذرات سطحی خاک استفاده می‌شود (Wang et al., 2020) و نقش مهمی در پروژه‌های بیابان‌زدایی ایفا می‌کند. این روش اثرات جانبی

زیست‌محیطی ندارد و می‌تواند وضعیت خرد محیط‌های خاک^۱ و پایداری ذرات سطحی را بهبود دهد (Li et al., 2006). در این فناوری از کلش گندم (*Triticum aestivum* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.)، نی (*Phragmites australis* L.) و دیگر گیاهان استفاده می‌شود. در عمل کلش به‌صورت یک صفحه شطرنجی در می‌آید که نیمی از آن در زمین مدفون شده و نیمی دیگر روی زمین قرار می‌گیرد (Zhang et al., 2016). معمولاً موانع در اندازه 1m×1m یا کمی بزرگ‌تر کار گذاشته می‌شوند و ارتفاع موانع بالای سطح زمین حداقل ۰/۲ متر است (Bo et al., 2015).

میکروب‌های خاک نقش مهمی در عملکرد اکوسیستم دارند و برگشت بقایای گیاهی به خاک بر ترکیب جامعه میکروبی تأثیر می‌گذارد (Sun et al., 2016) فراهمی کربن بقایای گیاهی ممکن است بسیاری از میکروب‌های خفته خاک را فعال کرده که شروع به تجدید متابولیت‌های خود و آزادسازی CO₂ از زیست‌توده میکروبی می‌کنند. ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2018) میزان تنفس میکروبی خاک را پس از استقرار موانع شطرنجی کلش اندازه‌گیری کردند و بیان نمودند که سرعت معدنی شدن حدود ۱۵۵ درصد افزایش یافت و فعالیت میکروبی توسط موانع شطرنجی کلش بهبود یافت. همچنین استقرار موانع شطرنجی نیتروژن کل خاک را افزایش داد که به زنده-مانی جوامع میکروبی و بهبود کلی شرایط خاک کمک کرد (Li et al., 2020). در مطالعه دای و همکاران (Dai et al., 2019) میزان ماده آلی خاک پس از استقرار موانع شطرنجی کلش طی زمان به‌ویژه در لایه سطحی خاک افزایش یافت. هائو و همکاران (Hao et al., 2019) بیان نمودند که در طولانی‌مدت، برگشت بقایا به خاک به‌میزان قابل توجهی محتوای کربن آلی و زیست‌توده میکروبی خاک

را در عمق ۱۵-۰ سانتی متر افزایش داد.

رطوبت خاک نقش مهمی در چرخه عناصر غذایی و انرژی دارد و مؤثرترین عامل در رشد گیاهان است. بهبود میزان رطوبت خاک با به کارگیری روش های سازگار با محیط زیست برای دستیابی به اکوسیستم پایدار حائز اهمیت است. لی و همکاران (Li et al., 2020) بیان نمودند که تکنیک موانع شطرنجی کلش سبب کاهش میزان تبخیر از سطح خاک شده و میزان رطوبت خاک را بهبود داده و منجر به افزایش زندهمانی برخی از گیاهان بومی در خاک می شود. مقدار آب در عمق ۰ تا ۲۰ سانتی متری خاک پس از یک سال استقرار موانع شطرنجی ۲۸ درصد افزایش پیدا کرد که ۵۸/۱ درصد از افزایش کلی در تمام دوره مطالعه را به خود اختصاص می دهد (Zhang et al., 2018).

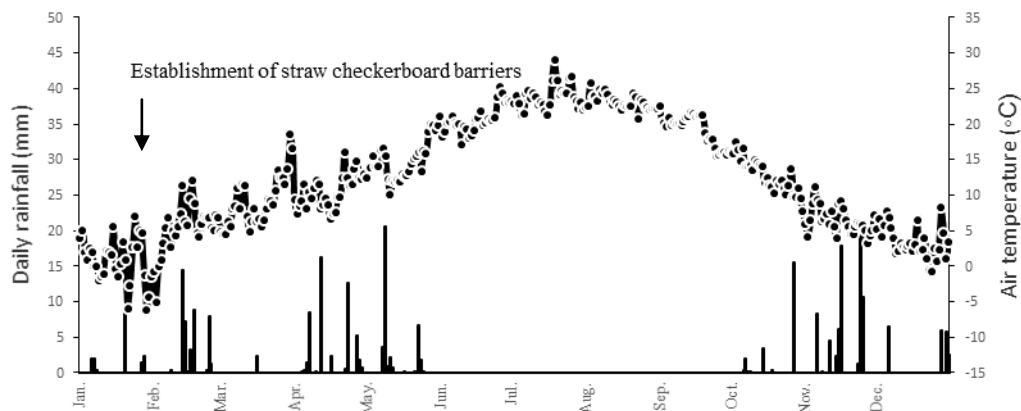
تنفس میکروبی به عوامل محیطی از جمله دما و رطوبت محیط وابسته می باشد که هر کدام به صورت مستقیم یا غیر مستقیم بر این فرآیند مهم متابولیسی مؤثر می باشند. بنابراین، هر تغییری در دما، رطوبت، تهویه و زیست فراهمی عناصر ناشی از مدیریت های متفاوت اراضی می تواند اثرات مهمی بر تنفس میکروبی خاک داشته باشد (Keith et al., 1997). با توجه به تأثیرپذیری بالای فعالیت های میکروبی خاک از سایر خصوصیات فیزیکی آن، هر عاملی که باعث تغییر در این خصوصیات شود بر خصوصیات بیولوژیکی خاک مؤثر است. سان و همکاران (Sun et al., 2017) مشاهده نمودند که میکروب ها در خاک های تیمار شده با بقایا در مقایسه با خاک های تیمار نشده ثبات بیشتری در برابر خشک شدن خاک نشان دادند که نشان دهنده مقاومت بیشتر به خشکی است. یولی و آ و همکاران (Uhlirva et al., 2005) در بررسی های خود بیان کردند، محتوای آب خاک یکی از مهم ترین عواملی است که فعالیت های میکروبی خاک را محدود می کند، زیرا محتوای آب خاک به مقدار زیادی با قابلیت دسترسی پیش ماده و عناصر در ارتباط است. گایسلر و همکاران (Geisseler et al., 2011) گزارش نمودند که تنفس خاک با پتانسیل رطوبت خاک ارتباط مثبت داشت و به طور قابل توجهی با اضافه کردن بقایای گیاهی افزایش یافت.

در تمام اکوسیستم های طبیعی و کشاورزی میکروب های خاک نقش بسیار مهمی را در فرآوری مواد آلی به عنوان ذخیره مواد غذایی و همچنین گردش طبیعی عناصر غذایی برای گیاه به عهده دارند. لذا پس از اجرای تکنیک های اصلاحی در خاک، اطلاع از فراوانی

جمعیت و میزان فعالیت این ریزجانداران و عوامل مؤثر بر آن ها ضروری است. همچنین با در نظر گرفتن خشکسالی های اخیر اهمیت آب و اثرات احتمالی وجود این عامل محیطی بر جمعیت و فعالیت میکروبی بیش از پیش مشخص می شود. دشت مرغ شهرکرد در گذشته پوشش گیاهی متنوعی داشته و در حال حاضر به دلیل افت آب زیر زمینی، کاهش بارش، از بین رفتن پوشش گیاهی و عدم وجود تدابیر مدیریتی صحیح به منطقه ای نیمه بیابانی و فرسایش پذیر تبدیل شده که کانون جدیدی برای تولید ریزگردها است. در این منطقه تکنیک موانع شطرنجی به منظور کاهش فرسایش بادی و انتقال ریزگردها به اجرا درآمده است. از سوی دیگر، به واسطه اهمیت قابل توجه این مراتع به عنوان منبع کربن و نقش آن ها در ارائه خدمات اکولوژیکی، و با توجه اینکه کمبود آب و تغییرات آن می تواند تا حد زیادی بر اکسیداسیون شیمیایی ماده آلی خاک و تنفس میکروبی تأثیر بگذارد، لذا در این راستا، بررسی اثر تکنیک موانع شطرنجی بر نگهداشت نزولات آسمانی، تنفس و زیست توده میکروبی خاک که ارتباط تنگاتنگی با سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن دارند، ضروری است تا بتوان روابط خاک-گیاه را بررسی و مدیریت نمود. بنابراین، این مطالعه به منظور ارزیابی کارایی اجرای موانع شطرنجی کاه و کلش بر میزان رطوبت خاک، تنفس میکروبی، زیست توده میکروبی، میانگین وزنی قطر ذرات و میانگین هندسی قطر ذرات در دشت مرغ شهرکرد انجام شد.

مواد و روش ها

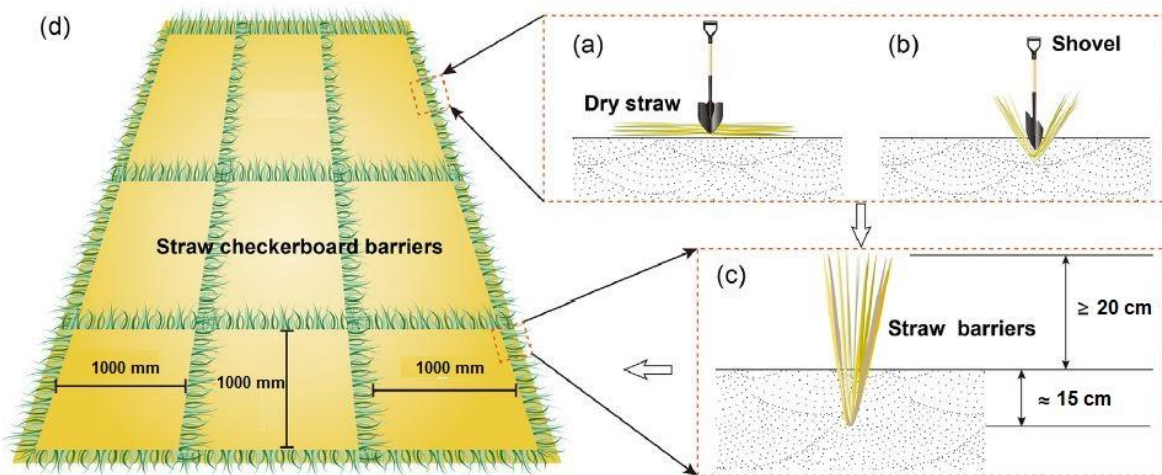
محل انجام پژوهش حاضر در بخشی از دشت مرغ شهر شهرکرد، در محدوده جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی در ناحیه جنوبی این شهر بود. در منطقه مورد مطالعه میانگین درجه حرارت سالانه ۱۰/۸ درجه سانتی گراد و مجموع بارندگی سالانه بلندمدت ۳۰۶ میلی متر و تعداد روزهای گرد و غبار ۴۰ روز در سال است. گلباد سالانه جهت باد غالب منطقه را جنوب غربی و میانگین تندی باد را ۲/۶۴ متر بر ثانیه نشان می دهد. میانگین درجه حرارت و بارندگی روزانه پس از استقرار موانع شطرنجی در سال ۱۳۹۶-۱۳۹۷ در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- تغییرات درجه حرارت و بارندگی روزانه در زمان انجام آزمایش در سال ۲۰۱۸
Fig. 1- Mean daily air temperature and rainfall during the study period in 2018

نظر گرفته شد. در ادامه پژوهش اثر احتمالی این تکنیک بر میزان رطوبت خاک، فعالیت ریزجانداران خاک، زیست‌توده میکروبی و فراوانی جمعیت آن‌ها و همچنین میزان رطوبت خاک مورد بررسی قرار گرفت. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است. همچنین کربن و نیتروژن کلش برنج استفاده شده نیز تعیین گردید (جدول ۲).

این پژوهش در منطقه‌ای انجام شد که تکنیک موانع شطرنجی کلش به‌منظور کنترل فرسایش بادی در منطقه ایجاد شده بود. بدین منظور کلش‌های برنج به‌صورت دستی در تاریخ ۳۰ دی ماه ۱۳۹۶ با الگوی شطرنجی مربعی به ابعاد ۱×۱ متر در زمینی به‌مساحت ۵۰۰ مترمربع کار گذاشته شد. به‌طوری‌که ۲۰ سانتی‌متر ارتفاع کلش بالای سطح خاک و ۱۵ سانتی‌متر آن در خاک مدفون گردیده بود (شکل ۲). زمینی با ابعاد مشابه نیز در کنار مربعات ایجاد شده به‌عنوان شاهد در



شکل ۲- مدل ساده اجرای تکنیک موانع شطرنجی کلش و نحوه کارگذاری آن در خاک
Fig. 2- A simple model depicting the straw checkerboard barrier technology and its installation in soil

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه و کلش برنج
Table 1- Some soil physiochemical characteristics of the study area and rice straw

ویژگی Property	واحد Unit	مقدار Value
بافت Texture	–	سیلتی لوم Silty loam
نیتروژن کل Total N	%	0.329
فسفر قابل دسترس Available P	mg.kg ⁻¹	18.24
پتاسیم قابل دسترس Available K	mg.kg ⁻¹	500.27
کربن آلی Organic C	%	2.99
وزن مخصوص ظاهری Bulk density	g.cm ⁻³	1
نقطه ظرفیت زراعی FC	%	30
کربن آلی Organic C	%	43.5
نیتروژن کل Total N	%	0.819
C:N	–	53.11

داده‌ها براساس آزمایش اسپلیت پلات در زمان در قالب طرح بلوک کامل تصادفی تجزیه شدند. عامل اصلی شامل فاصله از موانع در سه سطح محدوده ۲۵ سانتی‌متری کنار موانع و محدوده ۵۰ سانتی‌متری وسط هر مربع و زمین شاهد و عامل فرعی زمان نمونه- برداری در نظر گرفته شد (شکل ۳).

در مرحله چهارم اندازه‌گیری تنفس، زیست‌توده میکروبی و پایداری خاکدانه‌ها اندازه‌گیری شد. بدین منظور از عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام و زیست‌توده میکروبی به‌روش تدخین با کلروفرم-انکوباسیون (Jenkinson & Ladd, 1981) مورد سنجش قرار گرفت. پایداری خاکدانه‌ها نیز به‌روش خشک بر حسب میانگین وزنی قطر ذرات^۱ (Van Bavel, 1949) و میانگین هندسی قطر ذرات^۲ (Mazurak, 1950) با استفاده از دستگاه لرزاننده (مدل Retch) اندازه‌گیری و با استفاده از معادلات زیر محاسبه شد:

$$MWD = \sum_{i=1}^n Xiwi \quad \text{معادله (۱)}$$

1- Mean Weight Diameter (MWD)

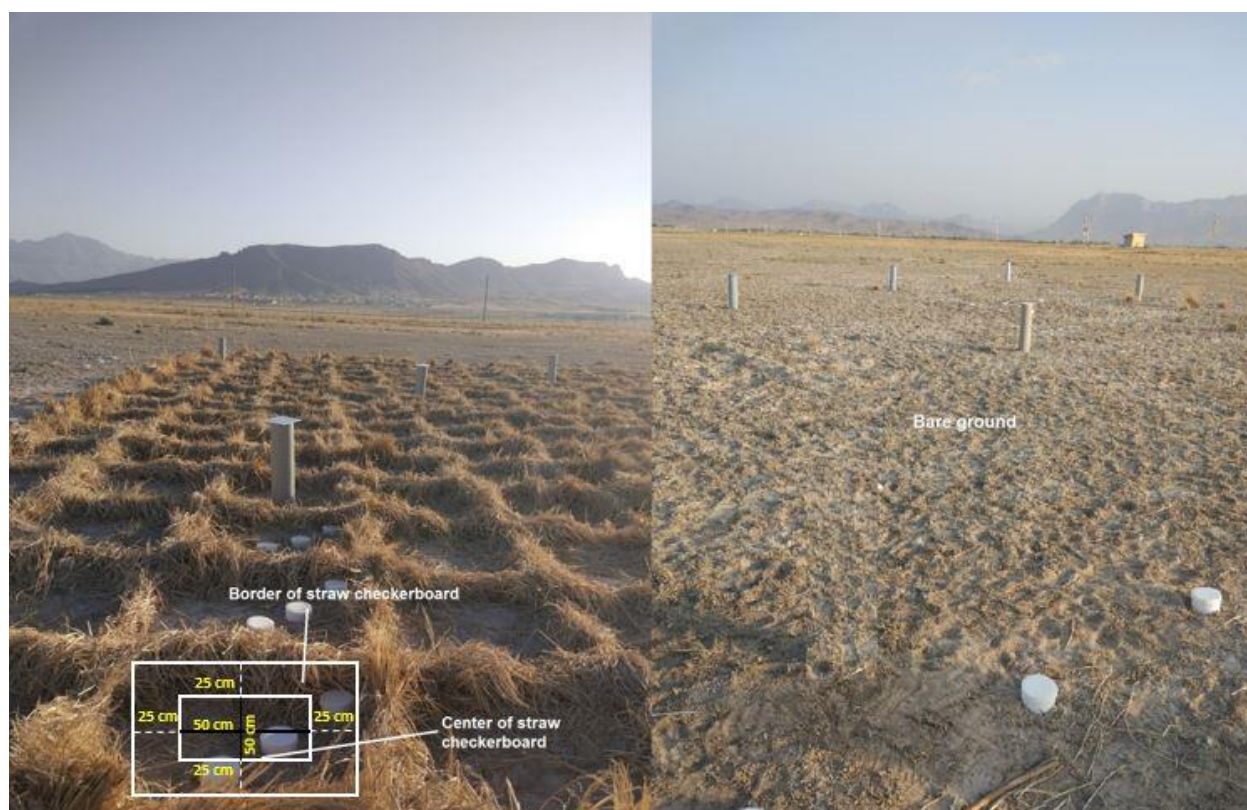
2- Geometric Mean Diameter (GMD)

جهت بررسی اثر استقرار موانع شطرنجی کلش بر میزان رطوبت خاک، پنج مربع کلش به‌صورت تصادفی انتخاب و میزان رطوبت به‌صورت حجمی از تاریخ سی اردیبهشت در عمق ۱۵ سانتی‌متر در محدوده ۲۵ سانتی‌متری کنار موانع و محدوده ۵۰ سانتی‌متری وسط مربعات و همچنین زمین شاهد به فاصله زمانی هر سه روز یک بار تا زمان ثابت شدن میزان رطوبت (اواسط مرداد) به‌وسیله دستگاه رطوبت‌سنج مدل SM01, Azar-Khak-Ab urmia اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری تنفس میکروبی خاک در تاریخ ۲۱ خرداد ماه به‌روش اندرسون (Anderson, 1982) و آلف و نانی پیری (Alef & Nannipieri, 1995) انجام شد. بدین منظور ۱۰ مربع کلش به‌صورت تصادفی انتخاب و جارهایی (ظروف پلاستیکی) به قطر ۱۱ و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر که از قبل ته آن بریده شده بود، در محدوده ذکر شده کنار و وسط مربعات انتخاب شده و همچنین در ۱۰ نقطه از زمین شاهد قرار گرفتند. سپس در داخل هر جار یک ویال پلاستیکی حاوی ۲۰ میلی‌لیتر سود یک نرمال روی سطح خاک قرار داده شد. مقدار تولید CO₂ با اندازه‌گیری مقدار سود باقی‌مانده به‌روش تیتراسیون برگشتی با اسید کلریدریک تعیین گردید. این اندازه‌گیری طی ۱۰ مرحله زمانی و به‌مدت پنج ماه ادامه یافت.

زیست‌توده میکروبی، میانگین وزنی قطر ذرات و میانگین هندسی قطر ذرات که در یک مرحله اندازه‌گیری گردیدند، داده‌ها در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تیمار در سه تکرار تجزیه شدند. تیمارهای آزمایشی شامل محدوده ۲۵ سانتی‌متری کنار موانع و ۵۰ سانتی‌متری وسط هر مربع و زمین شاهد بود.

$$\text{GMD} = \text{EXP} \frac{\sum_{i=1}^n w_i \log X_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن، MWD و GMD: بر حسب میلی‌متر، X_i : میانگین قطر هر بخش از ذرات و w_i : وزن خشک خاکدانه‌ها در هر الک بر حسب گرم و $\sum_{i=1}^n w_i$: وزن کل خاک است. برای صفات



شکل ۳- موانع شطرنجی و نقاط نمونه برداری
Fig. 3- Straw checkerboard barriers and sampling points

رطوبت خاک در محدوده کنار موانع شطرنجی نسبت به وسط موانع و زمین شاهد افزایش معنی‌داری داشت و نقش کنار موانع در افزایش رطوبت مؤثرتر از سایر تیمارها بود (شکل ۴). در مرحله اول اندازه‌گیری مقدار رطوبت در کنار موانع شطرنجی در مقایسه با وسط موانع و زمین شاهد به ترتیب ۱۰/۹۱ و ۱۸/۵۶ درصد افزایش نشان داد (شکل ۴). در مرحله دوم میزان رطوبت خاک در محدوده کنار و وسط موانع شطرنجی و زمین شاهد کاهش معنی‌دار نشان داد. این کاهش شیب تندی را در زمین شاهد نشان داد، در حالی‌که با کاربرد موانع شطرنجی این کاهش رطوبت کمی تعدیل شد. در مرحله سوم به دلیل بارندگی، رطوبت در هر سه تیمار افزایش یافت. پس از آن به‌طور

تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نسخه ۹/۲ نرم‌افزار آماری SAS انجام شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ارزیابی شدند.

نتایج و بحث

میزان رطوبت خاک

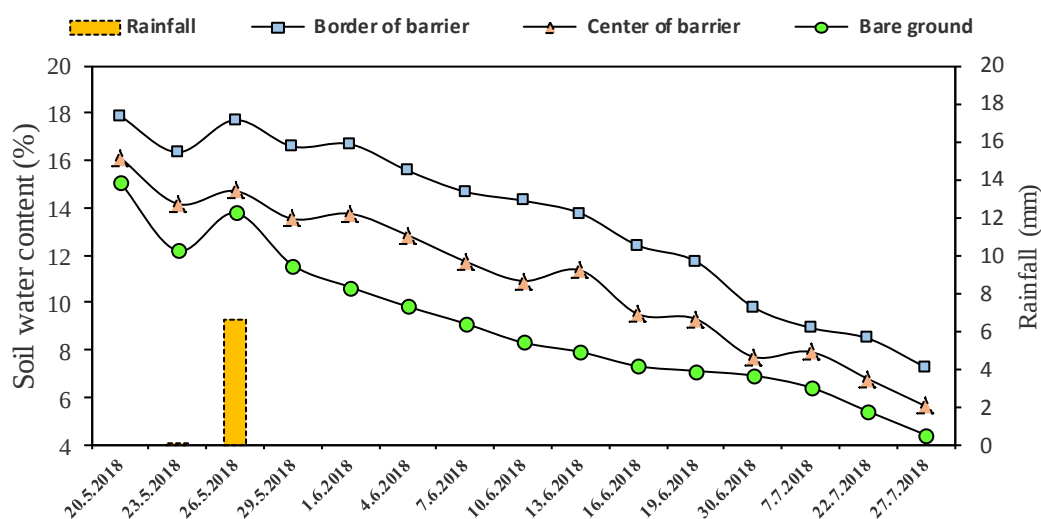
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر فاصله از موانع، زمان و نیز اثر متقابل آن‌ها بر محتوای رطوبت خاک معنی‌دار بود (جدول ۲). بررسی روند تغییرات رطوبت خاک در عمق ۱۵ سانتی‌متر طی مدت آزمایش نشان داد که به‌طور کلی، در کلیه مراحل اندازه‌گیری میزان

کلی، میزان آب خاک با گذشت زمان در کنار و وسط موانع و زمین شاهد روند کاهشی داشت، اما رطوبت در کنار موانع بیشتر و برای مدت زمان طولانی تری نسبت به زمین شاهد حفظ شد. از تاریخ پنج تا ۲۹ خرداد میزان آب خاک در محدوده کنار موانع نسبتاً پایدارتر باقی ماند، اما روند کاهش رطوبت در زمین شاهد تا پایان دوره با شیب بیشتر و در پایین ترین جایگاه نسبت به سایرین بود (شکل ۴).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) فاصله از موانع و زمان بر میزان رطوبت خاک
Table 2- Analysis of variance (mean of squares) distance from barriers and time on soil water content

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares میزان رطوبت خاک Soil water content (%)
تکرار Replication	4	1.788 ^{ns}
فاصله از مانع Distance from barrier (a)	2	366.74 ^{**}
خطا Error (a)	8	1.187
زمان Time	14	155.03 ^{**}
فاصله از مانع × زمان Distance from barrier × time	28	2.39 ^{**}
تکرار × زمان Replication × time	56	1.157
خطا Error	112	0.948
ضریب تغییرات C. V (%)	-	8.69

^{ns} و ^{**}: به ترتیب بیانگر غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال یک درصد می باشند.
^{ns} and ^{**}: indicate, respectively, no significant differences at $p \leq 0.01$ probability level.



شکل ۴- میزان رطوبت خاک تحت تأثیر فاصله از موانع و زمان (LSD (5%) = 0.41)

Fig. 4- Soil water content as influenced by distance from barrier and time (LSD (5%) = 0.41)

نگهداری آب آن در تیمار کلش برنج به ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر در مقایسه با زمین شاهد بیشتر بود.

تولید CO₂-C

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر فاصله از موانع، زمان و نیز اثر متقابل آن‌ها بر تولید CO₂-C در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بررسی روند تنفس میکروبی طی مدت آزمایش نشان داد که افزودن کلش برنج به صورت موانع شطرنجی به خاک به طور معنی‌داری افزایش معنی‌داری شدن کربن را نسبت به زمین شاهد در کلیه مراحل اندازه‌گیری به دنبال داشت (شکل ۵). بیشترین میزان تولید CO₂-C در اولین مرحله اندازه‌گیری و در محدوده ۲۵ سانتی‌متری کنار موانع شطرنجی مشاهده شد. میزان CO₂-C تولید شده در این مرحله در محدوده کنار و وسط موانع شطرنجی در مقایسه با زمین شاهد به ترتیب ۳۷/۷۶ و ۱۴/۶۹ درصد افزایش نشان داد. در تاریخ پنج تیر ماه، تولید CO₂-C کاهش معنی‌داری نشان داد (شکل ۵) که البته میزان این کاهش با فاصله از بقایا بیشتر بود. در مرحله چهارم تنفس میکروبی در محدوده کنار و وسط موانع روند افزایشی داشت. از تاریخ ۲۴ تیر ماه تا ۷ مهر ماه روند معنی‌داری شدن کربن در کنار و وسط موانع شطرنجی و همچنین زمین شاهد دارای شیب هموار بود و خاک شاهد پایین‌ترین مقدار را نشان داد. شیب این کاهش در محدوده کنار موانع کمتر از دو تیمار دیگر بود (شکل ۵).

در مرحله اول اندازه‌گیری تنفس، CO₂ تولید شده در محدوده کنار موانع نسبت به وسط موانع و شاهد به طور معنی‌داری بالاتر بود زیرا اضافه کردن بقایای گیاهی به خاک می‌تواند معنی‌داری شدن کربن را افزایش دهد و به عنوان یک آغازگر مثبت به تسریع تجزیه کربن آلی بومی خاک به‌ویژه در خاک‌هایی با میزان بالای کربن آلی یا نسبت C:N بالا کمک کند (Zhang et al., 2012). میکروب‌های خاک، ماده آلی سخت و قدیمی خاک را با استفاده از کربن تازه بقایا به عنوان یک منبع انرژی تجزیه می‌کنند. به طور کلی، قارچ‌ها به دلیل تولید گسترده آنزیم‌های خارج سلولی به عنوان تجزیه‌کننده اصلی کاه و کلش محسوب می‌شوند (Swift et al., 1979). در مرحله دوم و سوم میزان تنفس میکروبی در محدوده کنار موانع با شیب بیشتری کاهش یافت که این کاهش ممکن است مربوط به محدودیت موقتی میزان نیتروژن باشد.

موانع شطرنجی به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر بالای سطح خاک با ایجاد سایه بر روی سطح زمین تأثیر قابل توجهی بر میکروکلیمای نزدیک سطح خاک دارند. این موانع سرعت باد را کاهش داده و از هدررفت آب خاک جلوگیری می‌کند که نقش مهمی در حفظ رطوبت دارد (Facelli & Pickett, 1991). ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2016) بیان نمودند که ایجاد موانع شطرنجی طول زبری آئرودینامیک را بهبود و سرعت و شدت باد را کاهش می‌دهد. بررسی نتایج نشان داد که میزان رطوبت خاک در محدوده کنار موانع شطرنجی نسبت به زمین شاهد بیشتر بود. این موضوع نشان می‌دهد که موانع شطرنجی کلش در زمان‌های بدون بارندگی با کاهش تأثیر تابش خورشید بر روی خاک، کاهش سرعت تبخیر آب خاک، افزایش سرعت نفوذ و هدایت هیدرولیکی (Mando et al., 1996) و افزایش ظرفیت نگهداری آب (Döring et al., 2005) به حفظ رطوبت خاک کمک نموده و یک میکروسایات با کاهش کمتر رطوبت خاک فراهم می‌نماید. همچنین وجود احتمالی هیف‌های قارچی باعث افزایش خاکدانه‌سازی و بهبود ساختمان خاک می‌شوند و فرایندهای رطوبتی-حرارتی خاک را تغییر می‌دهند (Peng et al., 2013). لی و همکاران (Li et al., 2006) و ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2018) ذخیره رطوبتی بیشتر در موانع شطرنجی را نسبت به زمین شاهد گزارش نمودند. موانع شطرنجی و زمین شاهد میزان بارندگی یکسانی را دریافت کرده‌اند، اما احتمالاً ماده آلی بیشتر، پایداری بیشتر خاکدانه‌ها و بهبود سرعت نفوذ خاک در کنار موانع شطرنجی ممکن است به ذخیره رطوبتی طولانی‌تر پس از پایان بارندگی‌ها و حفظ رطوبت بیشتر در طول تابستان منجر گردد. کائو و همکاران (Cao et al., 2012) بیان نمودند که دفن یک لایه بقایا در خاک، سرعت تشکیل رواناب‌های سطحی را کاهش داده، در نتیجه باعث بهبود ذخیره آب خاک می‌شود. براساس آزمایشات مزرعه‌ای، لی و همکاران (Li et al., 2018) مشاهده کردند که موانع شطرنجی کلش گندم میزان آب خاک را در لایه‌های عمیق‌تر بهبود داد. بقایای مدفون در خاک باعث کاهش pH خاک، بهبود رطوبت خاک و افزایش رشد گیاه می‌شود (Fan et al., 2012). ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2018) اظهار داشتند که میزان آب در لایه سطحی خاک پس از استقرار موانع شطرنجی کلش در سال اول افزایش یافت. دس و همکاران (Das et al., 2019) نیز مشاهده کردند که میزان رطوبت خاک و ظرفیت

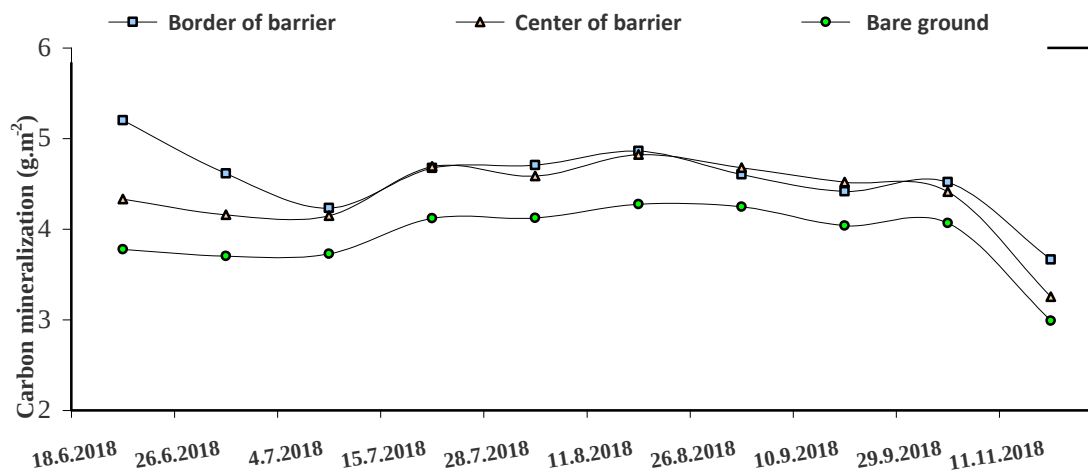
جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر فاصله از موانع و زمان بر تولید CO₂-C خاک

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) effect of distance from barriers and time on CO₂-C production

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares CO ₂ -C
تکرار Replication	9	0.052 ^{ns}
فاصله از مانع Distance from barrier (a)	2	10.923 ^{**}
خطا Error (a)	18	0.118
زمان Time	9	4.439 ^{**}
فاصله از مانع × زمان Distance from barrier × time	18	0.336 ^{**}
تکرار × زمان Replication × time	81	0.048
خطا Error	162	0.062
ضریب تغییرات C.V (%)	–	5.95

^{ns} و ^{**}: به ترتیب بیانگر غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال یک درصد می باشد.

^{ns} and ^{**}: indicate, respectively, no significant differences at $p \leq 0.01$ probability level.



شکل ۵- معدنی شدن کربن تحت تأثیر فاصله از موانع و زمان (LSD (5%) = 0.10)

Fig. 5- Carbon mineralization as influenced by distance from barrier and time (LSD (5%) = 0.10)

عوامل بسیاری از جمله میزان رطوبت خاک قرار می گیرد (Bending & Turner, 1999). میزان رطوبت خاک یک ویژگی مهم در رابطه با تجزیه میکروبی بقایای اضافه شده به خاک می باشد و بنابراین، الگوی تجزیه و معدنی شدن را تغییر می دهد. در دسترس بودن

درصد نیتروژن اولیه در کلش برنج بالا بوده است، ولی به سرعت برای افزایش جمعیت میکروبی به مصرف رسیده است و تشکیل زیست توده میکروبی را موقتاً به حالت تعادل نزدیک کرده است. تجزیه میکروبی بقایای گیاهی اضافه شده به خاک تحت تأثیر

رطوبت عامل اصلی تعیین‌کننده فعالیت میکروبی و ترکیب جامعه میکروبی خاک است (Chen et al., 2012). افزایش میزان تنفس میکروبی در محدوده کنار و وسط موانع شطرنجی نسبت به زمین شاهد را می‌توان به حفظ و نگهداری هر چه بهتر رطوبت نسبت داد. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان رطوبت خاک با تنفس میکروبی ($R=0.81$, $P \leq 0.01$) مشاهده شد. تفاوت بیشتر میان میزان تنفس میکروبی در موانع شطرنجی و زمین شاهد نشان‌دهنده کارآمد بودن کلش اضافه شده به خاک و تعدیل هر چه بهتر شرایط تنش در خاک می‌باشد. جوامع میکروبی در موانع شطرنجی در مقایسه با خاک شاهد نسبت به تنش رطوبتی سازگارتر شده‌اند که ناشی از تغییر در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در اثر اضافه کردن کلش برنج می‌باشد. سان و همکاران (Sun et al., 2017) بیان نمودند که بقایای گندم با بهبود دانه‌بندی خاک، ظرفیت نگهداری آب خاک را افزایش داد که نشان‌دهنده گیر افتادن آب در خلل و فرج ریز و متوسط خاک بود. همچنین میزان هدررفت آب در حضور بقایای گیاهی کمتر بود که می‌تواند تأثیر زیادی بر جوامع میکروبی در طول دوره خشک و تر شدن متوالی داشته باشد. تاجادا و همکاران (Tejada et al., 2006) با اضافه نمودن بقایای برنج به خاک بیان نمودند که افزودن بقایا منجر به افزایش فعالیت میکروبی شده که در نهایت، افزایش پایداری ساختمان خاک را به دنبال دارد. خاکدانه‌سازی با اضافه کردن بقایای گیاهی به خاک بهبود می‌یابد (Sun et al., 2017). خاکدانه‌های بزرگ میزان تلفات آب را کاهش داده که باعث می‌شود میکروب‌ها به‌جای اینکه با خشک شدن خاک به‌سرعت دهیدراته شوند از نظر فیزیولوژیکی و ساختاری تنظیم شوند. علاوه‌براین بقایا مقادیر قابل توجهی کربن آلی برای میکروب‌ها فراهم می‌کند که به آن‌ها این امکان را می‌دهد که منابع بیشتری را به تنظیم اسمزی (Halverson et al., 2000) و تقویت دیواره سلولی (Kakumanu et al., 2013) اختصاص دهند. در مطالعه سان و همکاران (Sun et al., 2017) در خاک‌های تیمار شده با بقایای گندم، نسبت اسیدهای چرب سیکلوپروپیل به پیش‌ماده آن‌ها، که شاخصی از میزان تنش در خاک است کمتر بود که نشان‌دهنده این موضوع بود که بقایای گندم اثرات مثبتی بر روی محیط‌واره‌های زیستگاهی از نظر هوادهی خاک و احتباس آب دارد. چن و همکاران (Chen et al., 2014) مشاهده نمودند که بقایای ذرت تا حد زیادی معدنی شدن کربن خاک، کربن زیست‌توده

میکروبی، فعالیت آنزیم بتا گلوکوزیداز و اندازه جمعیت قارچ‌ها را بهبود داد.

بررسی نتایج نشان می‌دهد که با کاهش رطوبت طی زمان میزان تنفس میکروبی نیز در موانع شطرنجی و زمین شاهد کاهش یافت. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که کاهش رطوبت و کمبود آب در خاک بر فعالیت میکروبی تأثیرگذار می‌باشد. وانگ و همکاران (Wang et al., 2006) بیان کردند که میزان تنفس در بهار به‌علت افزایش رطوبت و دما افزایش می‌یابد، ولی کمترین میزان تنفس خاک در اواخر تابستان که مقدار رطوبت خاک به حداقل می‌رسد، به وقوع می‌پیوندد. همچنین در طول فصول پاییز و زمستان که دمای خاک کاهش می‌یابد فعالیت و رشد ریزجانداران نیز کم می‌شود (Mishra, 2004).

چندین مکانیسم مرتبط با یکدیگر فعالیت میکروبی در خاک خشک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. کاهش پتانسیل آب باعث غلیظ شدن املاح در حجم کمتری از آب می‌شود که ریزجانداران را مجبور می‌کند تا با تجمع املاح، پتانسیل آب درونیشان را کاهش دهند که از نظر انرژی پر خرج است و انرژی در دسترس برای سنتز زیست‌توده را کاهش می‌دهد (Schimel et al., 2007). همچنین خشک شدن خاک انتشار پیش‌ماده به‌سمت ریزجانداران و آنزیم‌های خارج سلولی را محدود می‌کند، زیرا کاهش پتانسیل آب باعث می‌شود لایه‌های آب نازک‌تر و به‌طور فزاینده‌ای از هم جدا شوند و مولکول‌ها باید مسیر پر پیچ و خم‌تری را طی کنند تا از یک نقطه به نقطه دیگر پراکنده شوند که جریان پیش‌ماده به سطح سلول را کاهش می‌دهند (Moldrup et al., 2001). چن و همکاران (Chen et al., 2014) اظهار داشتند که با کاهش در دسترس بودن بقایا و کاهش میزان رطوبت خاک، اندازه جمعیت قارچی افزایش یافت. قارچ‌ها با تخریب سلولز و تجزیه بعدی گلوکز به CO_2 و H_2O_2 ، آب متابولیکی تولید می‌کند. چندین گونه قارچ به‌دلیل توانایی‌شان در استفاده از آب متابولیکی با حداقل نیاز به آب رشد می‌کنند (Deacon, 2006). در رطوبت پایین خاک، میکروب‌های k -استراتژیست که هم کربن تازه و هم ماده آلی قدیمی و سخت را معدنی می‌کنند ممکن است تکثیر یابند و ماده آلی سخت را با استفاده از کربن بقایای تازه به‌عنوان منبع انرژی تجزیه کنند (Fontaine et al., 2003). تغییر در ترکیب جامعه میکروبی همراه با افزایش فعالیت قارچی ممکن است به فعالیت آنزیمی در خاک خشکی که به آن بقایا اضافه شده است کمک کند.

زیست‌توده میکروبی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که استقرار موانع شطرنجی کلش اثر معنی‌داری بر زیست‌توده میکروبی خاک در سطح احتمال پنج درصد داشت (جدول ۵). بیشترین میزان زیست‌توده میکروبی با میانگین ۴۶۵/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در محدوده کنار موانع مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری با زمین شاهد داشت، به‌طوری‌که میزان زیست‌توده میکروبی در این تیمار نسبت به شاهد ۷۰/۴۵ درصد افزایش یافت، اگرچه اختلاف معنی‌داری بین محدوده وسط موانع با زمین شاهد مشاهده نگردید (شکل ۶). همبستگی مثبت و معنی‌داری بین زیست‌توده میکروبی و میزان رطوبت خاک ($R=0.77$, $P \leq 0.01$) مشاهده شد (جدول ۴). فراهمی رطوبت در خاک یکی از اساسی‌ترین عوامل برای فعالیت ریزجانداران خاک می‌باشد. سینگ و همکاران (Singh et al., 2006) گزارش کردند که خاک‌های تیمار شده با بقایای گیاهی در پایان دوره انکوباسیون، کربن زیست‌توده میکروبی بیشتری نسبت به زمین شاهد دارند. چن و همکاران (Chen et al., 2017) نشان دادند که بازگشت بقایای برنج به خاک به‌طور قابل توجهی کربن زیست‌توده میکروبی و کربن آلی محلول در آب و کربن آلی کل را افزایش داد. همچنین در مطالعه آن‌ها کربن زیست‌توده میکروبی و کربن آلی کل مهم‌ترین عواملی بودند که جوامع میکروبی را تحت برگشت کوتاه‌مدت بقایا به خاک تحت تأثیر قرار دادند. همین‌طور زیست‌توده میکروبی در خاک خشک حاوی بقایا به‌طور قابل توجهی از خاک خشک بدون بقایا بالاتر بود (Geisseler et al., 2011). لیو و همکاران (Liu et al., 2009) اثرات اضافه کردن کودهای مختلف آلی از کودهای دامی و بقایای برنج به خاک را بر فعالیت میکروبی و اندازه زیست‌توده میکروبی بررسی و بیان داشتند که افزودن بقایای گیاهی به خاک باعث افزایش زیست‌توده میکروبی می‌شود. وانگ و همکاران (Wang et al., 2006) نیز بیان نمودند که بیشترین مقدار زیست‌توده میکروبی در طول آزمایش در اواخر بهار و اوایل تابستان به‌دست آمد.

میانگین وزنی قطر ذرات (MWD)

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر فاصله از موانع بر میانگین وزنی قطر ذرات (MWD) معنی‌دار بود (جدول ۵). در سیستم موانع شطرنجی میزان MWD در محدوده کنار موانع ۰/۳۳۵ میلی‌متر بود که به‌طور معنی‌داری نسبت به وسط موانع و زمین شاهد افزایش

یافت. همچنین اختلاف معنی‌داری بین محدوده وسط موانع و زمین شاهد ملاحظه گردید (شکل ۷). این نکته حاکی از نقش مثبت بقایای گیاهی بر پایداری خاکدانه‌هاست. پایداری خاکدانه‌ها معمولاً به‌عنوان معیاری از ساختمان‌سازی در خاک در نظر گرفته می‌شود (Six et al., 2000). مارتینز (Martens, 2000) بیان نمود که بیشترین تأثیر بقایا با گذشت زمان بر میانگین وزنی قطر ذرات مشاهده می‌شود. حضور بقایای گیاهی سبب تحریک فعالیت میکروبی شده (شکل ۵) و پایداری خاکدانه‌ها را افزایش می‌دهد. در همین راستا، برخی محققان بیان داشتند که مطلوب بودن بقایای گیاهی به‌شدت خاکدانه‌سازی خاک را توسط موجودات خاک تحت تأثیر قرار می‌دهد (Edwards, 2004). مونرال و همکاران (Monreal et al., 1995) بیان نمودند که بقایای گیاهی نقش مهمی در پایداری خاکدانه‌های میکرو با قطر ۱۰۰-۲۰۰ میکرومتر بازی می‌کنند و مواد آلی، قارچ‌ها و ذرات خاک را در خاکدانه‌های ماکرو پایدار می‌کنند. هندریکس و همکاران (Hendrix et al., 1986) گزارش نمودند که محصولات جانبی متابولیت‌های میکروبی و گسترش میسلیم قارچ‌ها در خاک باعث افزایش خاکدانه‌سازی و بهبود ساختمان خاک می‌شود. در این مطالعه، همبستگی مثبتی بین میانگین وزنی قطر ذرات با تنفس میکروبی و میزان رطوبت خاک مشاهده شد (جدول ۴). همچنین بررسی ضرایب همبستگی (جدول ۴) نشان داد که میانگین وزنی قطر ذرات بیش از آنکه تحت تأثیر تنفس میکروبی قرار گیرد تحت تأثیر میزان رطوبت خاک قرار گرفت. ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2014) بیان نمودند که بازگشت بقایا به خاک پایداری خاکدانه‌ها را افزایش داد که دلیل آن مربوط به کاهش وزن مخصوص ظاهری، بهبود ماده آلی و افزایش تخلخل خاک بود.

میانگین هندسی قطر ذرات (GMD)

میانگین هندسی قطر ذرات (GMD) تحت تأثیر فاصله از موانع قرار گرفت (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که GMD در محدوده کنار موانع اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها داشت، به‌طوری‌که این تیمار سبب افزایش ۴۶/۹۴ درصدی نسبت به زمین شاهد شد که نشان‌دهنده تأثیر مثبت استفاده از این تکنیک بر میانگین هندسی قطر ذرات است (شکل ۸). اختلاف معنی‌داری بین محدوده کنار موانع و وسط موانع مشاهده نشد. مقادیر بزرگ‌تر میانگین هندسی قطر ذرات نشان‌دهنده پایداری بیشتر خاک

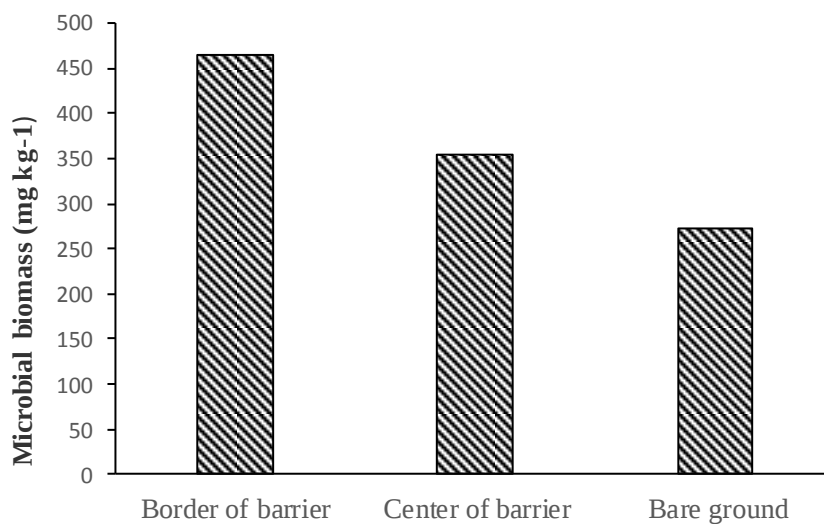
خاکدانه‌ها بسیار مؤثر می‌باشد، به‌طوری‌که نشانه‌گذاری با کربن ۱۴ نشان داد که ترکیباتی که باعث افزایش مقدار خاکدانه مقاوم در خاک می‌شوند، زنجیره‌های پلی‌ساکارییدی جدید سنتز شده به‌وسیله ریزجانداران هستند (Liu et al., 2009).

است. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میانگین هندسی قطر ذرات با تنفس میکروبی ($R=0.86$, $P\leq 0.01$)، زیست‌توده میکروبی ($R=0.74$, $P\leq 0.05$) و میزان رطوبت خاک ($R=0.89$, $P\leq 0.01$) مشاهده شد (جدول ۴). زیست‌توده میکروبی در مقاومت و پایداری

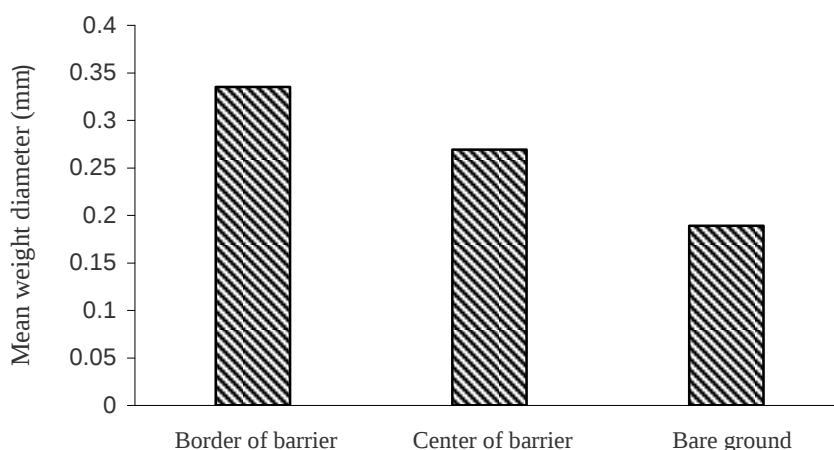
جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) فاصله از موانع بر زیست‌توده میکروبی خاک، میانگین وزنی و هندسی قطر ذرات
Table 4- Analysis of variance (mean of squares) distance from barriers on microbial biomass, MWD and GMD

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square		
		زیست‌توده میکروبی Microbial biomass	میانگین وزنی قطر ذرات MWD	میانگین هندسی قطر ذرات GMD
تکرار Replication	2	2089.85 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.002 ^{ns}
فاصله از مانع Distance from barrier	2	28006.01*	0.016**	0.017**
خطا Error	4	2696.58	0.0006	0.0003
ضریب تغییرات C.V (%)	-	14.26	9.49	4.44

^{ns} و **: به ترتیب بیانگر غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد می‌باشند.
^{ns} and **: indicate, respectively, no significant differences at $P\leq 0.01$ probability level.

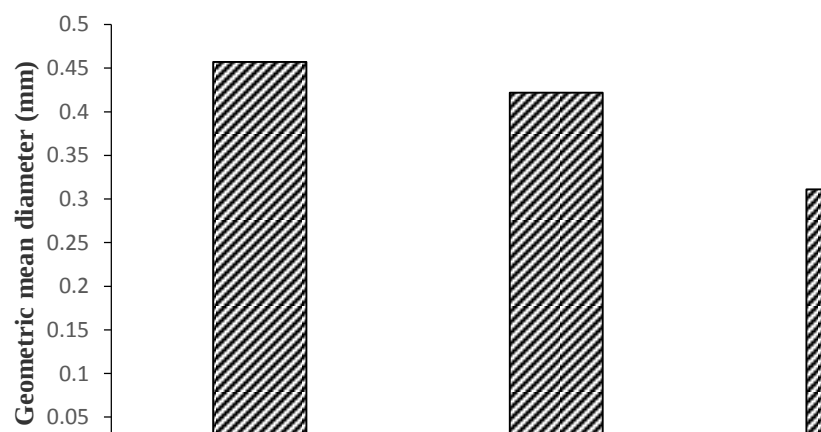


شکل ۶- اثر فاصله از مانع بر زیست‌توده میکروبی خاک (LSD (5%) = 117.72)
Fig. 6- Effect of distance from barrier on soil microbial biomass (LSD (5%) = 117.72)



شکل ۷- اثر فاصله از موانع بر میانگین وزنی قطر ذرات (LSD (5%) = 0.06)

Fig. 7- Effect of distance from barrier on mean weight diameter (LSD (5%) = 0.06)



شکل ۸- اثر فاصله از موانع بر میانگین هندسی قطر ذرات (LSD (5%) = 0.41)

Fig. 8- Effect of distance from barrier on geometric mean diameter (LSD (5%) = 0.41)

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین صفات میزان رطوبت خاک، تنفس میکروبی، زیست توده میکروبی، میانگین وزنی و هندسی قطر ذرات

Table 5- Correlation coefficients between soil water content, microbial respiration, microbial biomass, MWD and GMD

متغیرها Variable	میزان رطوبت خاک Soil water content	تنفس میکروبی Microbial respiration	زیست توده میکروبی Microbial biomass	میانگین وزنی قطر ذرات MWD	میانگین هندسی قطر ذرات GMD
میزان رطوبت خاک Soil water content	1				
تنفس میکروبی Microbial respiration	0.81**	1			
زیست توده میکروبی Microbial biomass	0.77**	0.63 ^{ns}	1		
میانگین وزنی قطر ذرات MWD	0.90**	0.76**	0.64 ^{ns}	1	
میانگین هندسی قطر ذرات GMD	0.89**	0.86**	0.74*	0.92**	1

^{ns}, *, ** : به ترتیب بیانگر غیر معنی دار، معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشند.

^{ns}, * and **: indicate, respectively, no significant differences at $p \leq 0.01$ and differences at $P \leq 0.05$ probability level.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، کارایی تکنیک موانع شطرنجی بر نگهداشت رطوبتی، روند تولید CO_2 ، زیست‌توده میکروبی و پایداری خاکدانه‌ها بررسی و مشخص شد که این تکنیک باعث افزایش معنی‌دار صفات مورد بررسی در مقایسه با زمین شاهد شد. رطوبت در محدوده کنار موانع بیشتر و برای مدت زمان طولانی‌تر نسبت به زمین شاهد حفظ شد. در مرحله اول اندازه‌گیری مقدار رطوبت در محدوده کنار موانع شطرنجی در مقایسه با وسط موانع و زمین شاهد به ترتیب ۱۰/۹۱ و ۱۸/۵۶ درصد افزایش نشان داد که دلیل آن را می‌توان به کاهش سرعت باد و سایه‌اندازی کلس بر روی سطح و تأثیر بر میکروکلیمای نزدیک سطح خاک نسبت داد. همچنین استقرار موانع شطرنجی اثرات ناشی از کمبود رطوبت را بر میکروب‌های خاک کاهش داد و افزایش معدنی شدن کربن را به دنبال داشت. در سیستم موانع شطرنجی

میزان MWD در کنار موانع ۰/۳۳۵ میلی‌متر بود که به‌طور معنی‌داری نسبت به وسط موانع و زمین شاهد افزایش یافت. همچنین GMD محدوده کنار موانع مقادیر بالاتری را نشان داد، به‌طوری‌که این تیمار سبب افزایش ۴۶/۹۴ درصدی نسبت به زمین شاهد شد. بنابراین، این تکنیک روشی مؤثر برای کنترل بیابان‌زایی در شرایط آب و هوایی خشک و نیمه خشک می‌باشد. این اطلاعات یک رویکرد مطلوب مهندسی اکولوژیک را برای مناطق خشک و نیمه خشک ایجاد می‌نماید که ممکن است بتواند در این مناطق علاوه‌براین مزایا، استقرار گیاه را افزایش و یک استراتژی بلندمدت و پایدار فراهم کند.

سپاسگزاری

از دانشگاه شهرکرد به‌خاطر حمایت‌های مالی این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

Reference

- Anderson, J.P.E. (1982). Soil respiration. In R.H. Miller & D.R. Keeney (Eds), Methods of soil analysis part 2. Chemical and microbiological properties. *The American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin*, p. 831-871.
- Austin, A.T., Ahdjian, L.Y., Stark, J.M., Belnap, J., Porporato, A., Norton, U., Ravetta, D.A., & Schaeffer, S.M. (2004). Water pulses and biogeochemical cycles in arid and semiarid ecosystems. *Oecologia*, 141, 221-235. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1519-1>.
- Alef, K., & Nannipieri, P. (1995). Methods in applied soil microbiology and biochemistry. *Academic Press, London, UK*. 556 pp.
- Bending, G.D., & Turner, M.K. (1999). Interaction of biochemical quality and particle size of crop residues and its effect on the microbial biomass and nitrogen dynamics following incorporation into soil. *Biology and Fertility of Soils*, 29, 319-327. <https://doi.org/10.1007/s003740050559>.
- Bo, T.L., Ma, P., & Zheng, X.J. (2015). Numerical study on the effect of semi-buried straw checkerboard sand barriers belt on the wind speed. *Aeolian Research*, 16, 101-107. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2014.10.002>.
- Cao, J., Liu, C., Zhang, W., & Guo, Y. (2012). Effect of integrating straw into agricultural soils on soil infiltration and evaporation. *Water Science and Technology*, 65: 2213-2218. <https://doi.org/10.2166/wst.2012.140>.
- Chen, L., Zhang, J.B., Zhao, B.Z., Xin, X.L., Zhou, G.X., Tan, J.F. & Zhao, J.H. (2014). Carbon mineralization and microbial attributes in straw-amended soils as affected by moisture levels. *Pedosphere*, 24, 167-177. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(14\)60003-5](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(14)60003-5).
- Chen, Q.H., Feng, Y., Zhang, Y.P., Zhang, Q.C., Shamsi, I.H., Zhang, Y.S., & Lin, X.Y. (2012). Short-term responses of nitrogen mineralization and microbial community to moisture regimes in greenhouse vegetable soils. *Pedosphere*, 22, 263-272. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(12\)60013-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(12)60013-7).
- Chen, Y., Xin, L., Liu, J., Yuan, M., Liu, S., Jiang, W., & Chen, J. (2017). Changes in bacterial community of soil induced by long-term straw returning. *Scientia Agricola*, 74, 349-356. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2016-0025>.
- D'Odorico, P., Bhattachan, A., Davis, K.F., Ravi, S., & Runyan, C.W. (2013). Global desertification: Drivers and feedbacks. *Advances in Water Resources*, 51, 326-344. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.01.013>.
- Dai, Y., Dong, Z., Li, H., He, Y., Li, J., & Guo, J. (2019). Effects of checkerboard barriers on the distribution of aeolian

- sandy soil particles and soil organic carbon. *Geomorphology*, 338, 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.04.016>.
- Das, A., Layek, J., Ramkrushna, G.I., Rangappa, K., Lal, R., Ghosh, P.K., Choudhury, B.U., Mandal, S., Ngangom, B., Dey, U., & Prakash, N.(2019). Effects of tillage and rice residue management practices on lentil root architecture, productivity and soil properties in India's Lower Himalayas. *Soil and Tillage Research*, 194, 104313. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104313>.
- Deacon, J.W.(2006). Fungal Biology. Blackwell Publishing, Malden, MA, 371 pp.
- Döring, T.F., Brandt, M., Heß, J., Finckh, M.R., & Saucke, H. (2005). Effects of straw mulch on soil nitrate dynamics, weeds, and yield and soil erosion in organically grown potatoes. *Field Crop Research*, 94, 238–249. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.006>.
- Edwards, C.A.(2004). Earthworm Ecology. 3rd ed., CRC Press, Boca Raton, FL. 441 p.
- Facelli, J.M., & Pickett, S.T.A. (1991). Plant litter: Its dynamics and effects on plant community structure. *The Botanical Review*, 57, 1–32. <https://doi.org/10.1007/BF02858763>.
- Fan, F., Xu, S., Song, G., Zhang, Q., Hou, M., & Song, X.(2012). Studies on improvement of saline and alkali soil with the interlayer of maize straw in West Liaohe region. *Chinese Journal of Soil Science*, 43, 696–701. (In Chinese with English Summary)
- Fontaine, S., Mariotti, A., & Abbadie, L.(2003). The priming effect of organic matter: A question of microbial competition? *Soil Biology and Biochemistry*, 35, 837–843. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(03\)00123-8](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00123-8).
- Geisseler, D., Horwath, W.R., & Scow, K.M.(2011). Soil moisture and plant residue addition interact in their effect on extracellular enzyme activity. *Pedobiologia*, 54, 71–78. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2010.10.001>.
- Hadas, A., Kautsky, L., Goek, M., & Kara, E.E.(2004). Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. *Soil Biology and Biochemistry*, 36, 255-266. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2003.09.012>.
- Halverson, L.J., Jones, T.M., & Firestone, M.K.(2000). Release of intracellular solutes by four soil bacteria exposed to dilution stress. *Soil Science Society of America*, 64, 1630–1637. <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6451630x>.
- Hao, M., Hu, H., Liu, Z., Dong, Q., Sun, K., Feng, Y., Li, G., & Ning, T.(2019). Shifts in microbial community and carbon sequestration in farmland soil under long-term conservation tillage and straw returning. *Applied Soil Ecology*, 136, 43-54. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.12.016>.
- Hendrix, P.F., Parmelee, R.W., Crossley, J.D.A., Coleman, D.C., Odum, E.P., & Groffman, P.M.(1986). Detritus foodwebs in conventional and no-tillage agroecosystems. *Bioscience*, 36, 374-380. <https://doi.org/10.2307/1310259>.
- Jenkinson, D. S., & Ladd, J.N.(1981). Microbial biomass in soil: measurement and turnover: In E. A. Paul and N. Ladd (Eds.). *Soil Biochemistry*. Marcel Dekker Pub., New York. p. 415-471.
- Kakumanu, M.L., Cantrell, C.L., & Williams, M.A.(2013). Microbial community response to varying magnitudes of desiccation in soil: A test of the osmolyte accumulation hypothesis. *Soil Biology and Biochemistry*, 57, 644–653. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.08.014>.
- Keeney, D.R., & Nelson, D.W.(1982). Nitrogen: inorganic forms. In A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.). *Methods of soil analysis. Part 2 (2nd Ed). Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA*, p. 643-698.
- Keith, H., Jacobsen, K.L., & Raison, R.J.(1997). Effects of soil phosphorus availability, temperature and moisture on soil respiration in Eucalyptus pauciflora forest. *Plan and Soil*, 190, 127-141. <https://doi.org/10.1023/A:1004279300622>.
- Klute, A.(1982). Soil pH & lime requirement. pp. 199-224. In E.O. Mclean (Ed.). *Methods of soil analysis part 2. Chemical and microbiological properties. The American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin*.
- Li, S., Li, C., Yao, D., & Wang, S.(2020). Feasibility of microbially induced carbonate precipitation and straw checkerboard barriers on desertification control and ecological restoration. *Ecological Engineering*. 152, 105883. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105883>.
- Li, X., & Sarah, P.(2003). Arylsulfatase activity of soil microbial biomass along a Mediterranean-arid transect. *Soil*

- Biology and Biochemistry*, 35, 925-934. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(03\)00143-3](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00143-3).
- Li, X., Zhou, R., Jiang, H., Zhou, D., Zhang, X., Xie, Y., Gao, W., Shi, J., Wang, Y., Wang, J., Dong, R., Byambaa, G., Wang, J., Wu, Z., & Hai, C.(2018). Quantitative analysis of how different checkerboard sand barrier materials influence soil properties: A study from the eastern edge of the Tengger Desert, China. *Environmental Earth Sciences*, 77, 481. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7653-6>.
- Li, X.R., Xiao, H.L., He, M.Z., & Zhang, J.G.(2006). Sand barriers of straw checkerboards for habitat restoration in extremely arid desert regions. *Ecological Engineering*, 28, 149–157. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.05.020>.
- Liu, M., Hu, F., Chen, X., Huang, Q., Jiao, J., Zhang, B., & Li, H.(2009). Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: The influence of quantity, type and application time of organic amendments. *Applied Soil Ecology*, 42, 165-175. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.03.006>.
- Mando, A., Strosnijder, L., & Brussard, L.(1996). Effects of termites on infiltration into crushed soil. *Geoderma*, 74, 107–113. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(96\)00058-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(96)00058-4).
- Martens, D.A., 2000. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. *Soil Biology and Biochemistry*, 32, 361-369. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00162-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00162-5).
- Mishra, R.R.(2004). *Soil Microbiology*: (4th Ed.). CBS Publishers and Distributors, New Delhi, India. 424 pp.
- Moldrup, P., Olesen, T., Komatsu, T., Schjønning, P., & Rolston, D.E.(2001). Tortuosity, diffusivity, and permeability in the soil liquid and gaseous phases. *Soil Science Society of America Journal*, 65, 613–623. <https://doi.org/10.2136/sssaj2001.653613x>.
- Monreal, C.M., Schnitzer, M., Schulten, H.R., Campbell, C. A., & Anderson, D.W.(1995). Soil organic structures in macro and micro aggregates of a cultivated brown chernozem. *Soil Biology and Biochemistry*, 27, 845-853. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(94\)00220-U](https://doi.org/10.1016/0038-0717(94)00220-U).
- Peng, S., Guo, T., & Liu, G. (2013). The effects of arbuscular mycorrhizal hyphal networks on soil aggregations of purple soil in southwest China. *Soil Biology and Biochemistry*, 57, 411–417. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.10.026>.
- Schimel, J., Balser, T.C., & Wallenstein, M.(2007). Microbial stress-response physiology and its implications for ecosystem function. *Ecology*, 88, 1386–1394. <https://doi.org/10.1890/06-0219>.
- Singh, B., Rengel, Z., & Bowden, J.W.(2006). Carbon, nitrogen and sulphur cycling following incorporation of canola residue of different sizes into a nutrient-poor sandy soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 32-42. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.03.025>.
- Six, J., Elliot, E.T., & Paustian, K.(2000). Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 1042-1049. <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6431042x>.
- Sun, C.L., Liu, G.B., & Xue, S.(2016). Natural succession of grassland on the Loess Plateau of China affects multifractal characteristics of soil particle-size distribution and soil nutrients. *Ecological Research*, 31, 891–902. <https://doi.org/10.1007/s11284-016-1399-y>.
- Sun, D., Li, K., Bi, Q., Zhu, J., Zhang, Q., Jin, C., Lu, L., & Lin, X.(2017). Effects of organic amendment on soil aggregation and microbial community composition during drying-rewetting alternation. *Science of the Total Environment*, 574, 735–743. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.112>.
- Swift, M.J., Heal, O.W., & Anderson, J.M.(1979). *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Blackwell, Oxford. 372 pp.
- Tejada, M., Hernandez, M.T., and Garcia, C.(2009). Soil restoration using composted plant residues: Effects on soil properties. *Soil and Tillage Research*, 102, 109-117. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.08.004>.
- Uhlirova, E., Elhottova, D., Triska, J., & Santruckova, H.(2005). Physiology and microbial community structure in soil at extreme water content. *Folia Microbiology*, 50, 161-166. <https://doi.org/10.1007/BF02931466>.
- Wang, T., Qu, J., & Niu, Q. (2020). Comparative study of the shelter efficacy of straw checkerboard barriers and rocky checkerboard barriers in a wind tunnel. *Aeolian Research*, 43, 100575. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2020.100575>.
- Wang, W., Guo, J.X., Feng, J., & Oikawa, T.(2006). Contribution of root respiration to total soil respiration in a *Leymus*

- chinesis (Trin.) Tzvel. grassland of northeast China. *Journal of Integrative Plant Biology*, 48, 409-414. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2006.00241.x>.
- Zhang, C., Qing Li, Q., Zhou, N., Zhang, J., Kang, L., Shen, Y., & Jia, W.(2016). Field observations of wind profiles and sand fluxes above the windward slope of a sand dune before and after the establishment of semi-buried straw checkerboard barriers. *Aeolian Research*, 20, 59–70. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2015.11.003>.
- Zhang, P., Wei, T., Jia, Z., Han, Q., & Ren, X. (2014). Soil aggregate and crop yield changes with different rates of straw incorporation in semiarid areas of northwest China. *Geoderma*, 230-231, 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.04.007>.
- Zhang, Q.C., Shamsi, I.H., Xu, D.T., Wang, G.H., Lin, X.Y., Jilani, G., Hussain, N., & Chaudhry, A.N.(2012). Chemical fertilizer and organic manure inputs in soil exhibit a vice versa pattern of microbial community structure. *Applied Soil Ecology*, 57. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.02.012>.
- Zhang2018, S., Ding, G., Yu, M., Gao, G., Zhao, Y., Wu, G., & Wang, L.(2018). Effect of straw checkerboards on wind proofing, sand fixation, and ecological restoration in shifting sandy land. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15, 2184. <https://doi.org/10.3390/ijerph15102184>.



Combined Effect of Biological and Nitrogen Fertilizers on Leaf Area Index and Rice (*Oryza sativa* L.) Yield under Different Irrigation Conditions

Ardalan Balabandian¹, Majid Ashouri^{2*}, Hamid Reza Doroudian³, Seyyed Mostafa Sadeghi² and Mojtaba Rezaei⁴

Received: 11-05-2021
Revised: 26-09-2021
Accepted: 29-09-2021
Available Online: 29-09-2021

How to cite this article:

Balabandian, A., Ashouri, M., Doroudian, H.R., Sadeghi, S.M., & Rezaei, M. (2023). Combined effect of biological and nitrogen fertilizers on leaf area index and rice (*Oryza sativa* L.) yield under different irrigation conditions. *Journal of Agroecology*. 15(1), 139-152.
DOI: [10.22067/agry.2021.70032.1041](https://doi.org/10.22067/agry.2021.70032.1041)

Introduction

Rice (*Oryza sativa* L.) is one of the most important and valuable grains in the world, after wheat, and is the main source of food for more than 50% of the world's population. Proper water management in rice fields plays a key role in the usefulness of other production inputs. One way to improve the efficiency of nitrogen fertilizer application and reduce its losses is the simultaneous use of organic and biological fertilizers. Due to the conditions of Iran in terms of water resources and excessive consumption of nitrogen fertilizers, the use of less water in rice cultivation and reducing the use of chemical fertilizers can play a very important role in saving and wasting water by using biofertilizers will reduce the cost and pollution of chemical fertilizers.

Materials and Methods

An experiment in the experimental farm of Rice Research Institute of Iran (Rasht) performed over two years, 2017 and 2018, to evaluate the response of two rice cultivars to bio-chemical fertilizers at different irrigation levels on leaf area index, yield, components Water performance and efficiency were assessed. This experiment was performed in the form of double split plots based on a randomized complete block design with three replications. Accordingly, experimental factors including water management at three levels without stress (flooding) and irrigation intervals of 10 and 15 days as the main factor, fertilizer at three levels including inoculation of seedlings with nitroxin biofertilizer, inoculation of seedlings with nitroxin biofertilizer + 50% of nitrogen chemical fertilizer required by the plant (combined fertilizer treatment) and 100% of nitrogen chemical fertilizer required by the plant) as a secondary agent and rice cultivar at two levels including Hashemi and Gilaneh as a secondary agent. The dimensions of each plot were 3×3 meters. In this experiment, grain yield, grain yield components, leaf area index, and water use efficiency were examined.

Results and Discussion

The results of this experiment showed that there was no significant difference between the combined treatment of fertilizer (2.77 t/ha) and the treatment of 100% nitrogen chemical fertilizer (2.82 t/ha) on the yield of rice cultivars. The waterlogging treatment caused a 23% and 38% higher grain yield compared to 10-day and 15-day

1- Ph.D. Student of Agronomy, Lahijan branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.

2- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant breeding, Lahijan branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.

4- Assistant Professor of Research. Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.

(* - Corresponding author's Email: mashouri48@yahoo.com; Majid.Ashouri69@iau.ac.ir)

irrigation cycles, respectively. The highest leaf area index was observed in the Gilaneh cultivar with 100% chemical nitrogen fertilizer required by the plant and inoculation of seedling roots with the combined treatment of fertilizer during flooding, with values of 4.52 and 4.03, respectively, and the lowest value of 1.48 was observed in the Hashemi cultivar with seedling root inoculation with nitroxin biofertilizer and irrigation for 15 days. Water use efficiency in nitrogen and compound fertilizer treatments was higher in the Gilaneh cultivar than in the other treatments. The Gilaneh cultivar with 15-day irrigation treatment and 100% nitrogen fertilizer required by the plant showed the highest water use efficiency in two years, and the plant needs of this cultivar did not show a significant difference. The combined application of nitroxin biofertilizer and nitrogen chemical fertilizer, in addition to producing a good yield and improving water use efficiency, reduced the use of nitrogen chemical fertilizer by 50%.

Conclusion

By increasing the intensity of stress, seedling root inoculation treatments with nitroxin biofertilizer + 50% chemical nitrogen fertilizer required by the plant and consumption of 100% nitrogen fertilizer required by the plant improved water use efficiency. Biofertilizer, along with nitrogen fertilizer increased the leaf area index and crop yield. Nitrogen fertilizer increased the number of empty seeds per panicle compared to biofertilizer. The Gilaneh cultivar was more successful than the Hashemi cultivar in the studied traits. The use of biofertilizers could be a suitable and desirable alternative to chemical fertilizers, in the long run, to minimize environmental pollution and achieve sustainable agriculture.

Keywords: Gilaneh cultivar, Irrigation management, Paddy



مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، ص ۱۵۲-۱۳۹

اثر کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی بر شاخص سطح برگ و عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) در شرایط آبیاری متفاوت

اردلان بالابندیان^۱، مجید عاشوری^{۲*}، حمیدرضا درودیان^۳، سید مصطفی صادقی^۲ و مجتبی رضایی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۷/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۷

چکیده

با توجه به شرایط ایران از نظر منابع آبی و مصرف بالای کود شیمیایی نیتروژنی، استفاده از آب کمتر در زراعت برنج (*Oryza sativa* L.) و کاهش مصرف کود شیمیایی نقش بسیار مهمی در صرفه جویی و هدررفت آب خواهد داشت. آزمایشی در مزرعه آزمایشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) طی دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به صورت کرت‌های دوبر خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. بر این اساس، فاکتورهای آزمایشی شامل مدیریت آب در سه سطح غرقاب و فواصل آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز یک بار به عنوان عامل اصلی، کود در سه سطح شامل تلقیح ریشه نشاء با کود زیستی، تلقیح ریشه نشاء با کود زیستی نیتروکسین + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن مورد نیاز گیاه (تیمار ترکیبی کود) و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن مورد نیاز گیاه (به عنوان عامل فرعی و رقم برنج در دو سطح شامل هاشمی و گیلانه به عنوان عامل فرعی بودند. نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص سطح برگ در تیمار ۱۰۰ درصد کود نیتروژنی، رقم گیلانه و آبیاری غرقاب بیشترین مقدار معادل ۴/۵۲ در سال اول و ۴/۷۹ در سال دوم را نشان داد و تیمار ترکیبی کود و تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن به ترتیب با ۲/۷۷ تن بر هکتار و ۲/۸۲ تن بر هکتار عملکرد در ارقام برنج تفاوت معنی داری در سطح پنج درصد نداشتند. تیمار غرقاب نسبت به دور آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز به ترتیب ۲۳ و ۳۸ درصد عملکرد دانه بیشتری را سبب گردید. کاربرد ترکیبی کود زیستی و کود شیمیایی نیتروژن علاوه بر تولید عملکرد مناسب (۲/۷۷ تن بر هکتار) و بهبود کارایی مصرف آب (۰/۷ کیلوگرم بر مترمکعب)، مصرف کود شیمیایی نیتروژن را به میزان ۵۰ درصد کاهش داد. با افزایش دور آبیاری تیمارهای تلقیح ریشه نشاء با کود زیستی + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن مورد نیاز گیاه معادل ۰/۷ کیلوگرم بر مترمکعب و مصرف ۱۰۰ درصد کود نیتروژنی مورد نیاز گیاه معادل ۰/۷۴ کیلوگرم بر مترمکعب کارایی مصرف آب را افزایش دادند.

واژه‌های کلیدی: رقم گیلانه، شالیزار، مدیریت آبیاری

۱- دانشجوی دکتری زراعت، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.

۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.

۳- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.

۴- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

(Email: mashouri48@yahoo.com * - نویسنده مسئول)

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از مهمترین غلات در دنیاست که بعد از گندم منبع اساسی و عمده غذایی بیش از ۵۰ درصد جمعیت جهان را تشکیل می‌دهد (Lopez et Jabran & Chauhan, 2015; al, 2019). تولید برنج تا سال ۲۰۵۰ باید بیش از ۵۰ درصد افزایش یابد که در نتیجه، اصلاح ارقام و اعمال مدیریت‌های صحیح زراعی محقق خواهد شد (Esfahani et al., 2005). آب مهمترین عامل برای تولید پایدار در مناطق برنج‌خیز است. حدود سه‌چهارم برنج تولیدی (نیمی از کل مزارع برنج دنیا) به‌صورت فاریاب است (Carmelita et al., 2011). بنابراین، با توجه به اهمیت آب برای تولید پایدار در مناطق برنج‌خیز، متخصصان آب در دنیا با توجه به شرایط خاص در هر منطقه، به دنبال مدیریت بهینه آب می‌باشند (Asadi et al., 2016). مدیریت مناسب آب در مزارع برنج نقش کلیدی در سودمندی سایر نهاده‌های تولید دارد (Darzi et al., 2013). کاهش آب مصرفی و در نتیجه تنش یکی از تنش‌های مهم غیرزیستی است که با کاهش سطح برگ، انسداد روزنه‌ها، کاهش فعالیت‌های پروتوپلاسمی و تثبیت گاز کربنیک، کاهش سنتز پروتئین و کلروفیل سبب تقلیل فرآیند فتوسنتز تحت کلیه جنبه‌های رشد و نمو و عملکرد گیاه را تأثیر قرار می‌دهد (Jaleel et al., 2009; Rezaei et al., 2017). در مقایسه با کاشت برنج در غرقاب دائم، کاشت در آبیاری تحت کنترل، سبب ۳۶ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب و ۳۶ درصد کاهش تبخیر - تعرق می‌شود (Alaei Bazkiaie et al., 2019). اثر تیمار آبیاری (غرقاب دائم، ۵، ۸ و ۱۱ روز یک‌بار آبیاری) بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد معنی‌دار نیست و این صفات بیشتر از آنچه که تحت تأثیر تیمارهای آبیاری اعمال شده باشد، تحت تأثیر شرایط جوی و تغییر عوامل هواشناسی می‌باشد (Taghizade et al., 2008). در واکنش به‌میزان دسترسی به منابع کودی به‌ویژه کود نیتروژن، خصوصیات مورفولوژیک مانند ارتفاع گیاه و فیزیولوژیک مانند شاخص سطح برگ، افزایش یا کاهش می‌یابد (Rezaei Sokhtabbandani & Ramzani, 2010; Peng, 2006). شاخص سطح برگ از شاخص‌های مهم فیزیولوژیک در عملکرد دانه و زیست‌توده گیاهی برنج محسوب می‌شود (Faraji et al., 2012). هرچند امروزه استفاده از کودهای شیمیایی به‌عنوان سریع‌ترین راه برای جبران کمبود عناصر غذایی خاک و عملکرد بالا،

گسترش چشمگیری یافته است، اما در بسیاری موارد کاربرد کودهای شیمیایی باعث آلودگی‌های زیست‌محیطی و صدمات اکولوژیکی شده و هزینه تولید را افزایش می‌دهد (Salehifar et al., 2018). مهم‌ترین و بارزترین اثر مفید قارچ‌های میکوریزا، افزایش رشد گیاه میزبان است که معمولاً به‌واسطه افزایش جذب عناصر غیر متحرک از خاک صورت می‌گیرد و همزیستی قارچ میکوریزا با برخی گیاهان از مهم‌ترین روابط متقابل مفید در اکوسیستم‌های زراعی است (Zad Behtouri et al., 2018; Aghababaei et al., 2011).

یکی از راه‌های بهبود کارایی مصرف کودهای نیتروژنی و کاهش تلفات آن، مصرف هم‌زمان با کودهای آلی و زیستی است. کودهای زیستی متشکل از ریزجانداران مفیدی هستند که هر یک به‌منظور خاصی مانند تثبیت نیتروژن، رهاسازی یون‌های فسفات، پتاسیم، آهن و غیره تولید می‌شوند. این ریزجانداران معمولاً در اطراف ریشه مستقر شده و گیاه را در جذب عناصر یاری می‌کنند (Wu Vessey, 2003; et al., 2005). تجزیه و تحلیل رشد گیاه و اندازه‌گیری عامل سطح برگ در فواصل معین از دوره رشد از جمله عامل مهم در بررسی عملکرد و رشد و نمو انجام می‌شود و پژوهشی نشان داد که ارقامی از برنج که شاخص سطح برگ بالاتری دارند، روند رشد بهتر و نیز عملکرد بالاتری خواهند داشت (Palangi Carretero et al., 2010; et al., 2014). تولید ارقام جدید پرمحصول برنج که دارای پتانسیل عملکرد بالاتری هستند، پاسخی مناسب به تقاضای روزافزون این محصول و راهکار مناسبی برای بهبود امنیت غذایی در کشور به نظر می‌رسد (Tarang et al., 2013). استفاده از باکتری‌ها (ازتوباکتر و آزوسپیریلیوم) و مایکوریزا، به‌عنوان کود زیستی در افزایش جذب نیتروژن و در نتیجه، بهبود رشد چندین گیاه زراعی معرفی شده است (Maleki Narg et al., 2013). استفاده از کود زیستی بر خصوصیات فیزیولوژیکی شنبلیله (*Trigonella foenum-graceum* L.)، اثر مثبتی داشته و با افزایش دور آبیاری، در گیاه نوعی سازگاری به شرایط تنش خشکی ایجاد می‌گردد (Jaberi et al., 2018). قاسمی گوابر و همکاران (Ghasemi Gavabar et al., 2011) نشان دادند که تلقیح ریشه نشای برنج با کود زیستی آزوسپیریلیوم و ازتوباکتر بر تعداد برگ، تعداد پنجه در مترمربع، تعداد دانه پوک و میزان نیتروژن معنی‌دار بود. تلقیح باکتری آزوسپیریلیوم و افزایش مقدار کود نیتروژن مصرفی، سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه برنج می‌گردد (Moslehi

et al., 2016). کود زیستی نیتروکسین حاوی مؤثرترین باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از جنس *ازتوباکتر* و *آزوسپریلیوم* می‌باشد که علاوه بر تثبیت نیتروژن هوا و متعادل کردن جذب عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف مورد نیاز گیاه، با سنتز و ترشح مواد محرک رشد گیاه نظیر هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد مثل اکسین، همچنین ترشح اسیدهای آمینه مختلف و انواع آنتی‌بیوتیک، سیانید هیدروژن و سیدروفور سبب رشد و توسعه ریشه و اندام‌های هوایی و افزایش کمیت و کیفیت محصول می‌گردد (Rezaienia et al., 2018). پناهی موراندینی و همکاران (Panahi Morandini et al., 2015) به‌منظور بررسی اثر مقدار نیتروژن، مصرف کود زیستی نیتروکسین و مقدار سیلیس بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج نشان دادند که اثر

متقابل نیتروژن و کود زیستی بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود. کودهای زیستی، علاوه بر افزایش کیفیت محصول، بهترین راه برای جلوگیری از مصرف کودها و آلودگی‌های ناشی از مصرف زیاد آن‌ها می‌باشد (Rezaienia et al., 2018). اکنون با توجه به اهمیت مدیریت آب و مضرات کودهای شیمیایی و لزوم ارتقای کارایی و شاخص رشد ارقام برنج، هدف این پژوهش کاهش مصرف کودهای شیمیایی و استفاده ترکیبی با کودهای زیستی در مدیریت‌های مختلف آبیاری و تأثیر آن‌ها بر روند رشد، عملکرد و کارایی مصرف آب ارقام برنج هاشمی (رقم غالب استان) و گیلانه (رقم جدید معرفی شده) می‌باشد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری)

Table 1- Physical and chemical characteristics of Soil of Experiment Farm (0-30 cm depth)

سال Year	پتاسیم قابل جذب K available (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب P available (mg.kg ⁻¹)	نیتروژن کل N (mg.kg ⁻¹)	مواد آلی O.C (%)	اسیدیته pH	شوری EC (dS.m ⁻¹)	بافت Texture
2017	280	17.8	0.184	1.4	7.4	1.2	لومی رسی
2018	290	17	0.155	1.4	7.4	1.2	Clay loam

جدول ۲- اطلاعات هواشناسی سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ محل انجام طرح

Table 2- Meteorological information from the year 2016 and 2017 at the site of the project

سال Year	مشخصات هواشناسی Climatic item	فروردین 21 Mar.-20 Apr.	اردیبهشت 21 Apr.-16 May	خرداد 17 May-16 Jun.	تیر 17 Jun.-18 Jul.	مرداد 19 Jul.-18 Agu.	شهریور 20 Agu.-19 Sep.
2017	دما Tmean (°C)	13.6	19.3	23.6	26	28.2	26.9
	بارندگی Rainfall (mm)	86.2	27.8	18.6	13.8	0	61
	رطوبت Humidity (%)	78	78	75	74	71	75
	ساعات آفتابی Sunny hours (h)	140	169.2	229.1	232.5	293.7	245.8
2018	دما Tmean (°C)	13.7	19.4	23.1	28.1	27	25.1
	بارندگی Rainfall (mm)	20.4	37.2	48.7	30.8	68.4	13.8
	رطوبت Humidity (%)	76	74	75	73	77	74
	ساعات آفتابی Sunny hours (h)	145.9	170.4	230.3	295.4	164.9	209.7

مواد و روش‌ها

(رشت) به‌منظور بررسی رژیم‌های مختلف آبیاری و کودهای زیستی (نیتروکسین) و شیمیایی نیتروژن بر شاخص سطح برگ، کارایی

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات برنج کشور

مصرف آب، عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم برنج، به‌صورت کرت-های دوبار خرد شده برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ اجرا شد. ارتفاع محل آزمایش از سطح دریا ۳۶ متر و عرض جغرافیایی ۳۷ و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی بوده و محل آزمایش دارای آب و هوای معتدل و مرطوب است و میزان بارندگی سالانه بر حسب میانگین ۱۰ ساله برابر با ۱۳۳۰ میلی‌متر می‌باشد (Guilan Meteorological Quarterly, 2019). بافت خاک محل آزمایش لومی رسی با $pH=7/4$ ، هدایت الکتریکی در سال اول و دوم به‌ترتیب $1/2$ و $1/12$ دسی‌زیمنس بر متر و فسفر و پتاسیم قابل جذب در سال اول به‌ترتیب $17/8$ و 280 میلی‌گرم بر کیلوگرم و در سال دوم به-ترتیب 17 و 290 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۱). تیمارهای آزمایشی شامل عامل اصلی فواصل آبیاری (غرقاب، ۱۰ روز و ۱۵ روز)، عامل فرعی کود زیستی و شیمیایی نیتروژن (تلقیح ریشه نشاء با کود زیستی نیتروکسین، کود زیستی نیتروکسین + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن) و عامل فرعی فرعی ارقام برنج (هاشمی و گیلانه) بود.

مزرعه محل انجام آزمایش سه بار شخم زده شد که شخم اول در اسفند ماه، شخم دوم در اواسط اردیبهشت هم‌زمان با احداث خزانه و شخم سوم (پادلینگ) هم‌زمان با نشاکاری برنج انجام شد. بذور در خزانه و زیر پوشش پلاستیکی پرورش داده شده و هنگامی که ارتفاع نشاءها ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر رسید بعد از تلقیح نشاءها با نیتروکسین در تیمارهای مورد نیاز به زمین اصلی منتقل گردیدند. کود زیستی نیتروکسین مورد استفاده در این تحقیق، دارای مجموعه‌ای از مؤثرترین باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از جنس *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلیوم* می‌باشد که توسط مؤسسه فنی زیستی مهرآسیا تولید شده است. سهم هریک از جنس‌های باکتری در هر میلی‌لیتر نیتروکسین به تعداد 10^8 سلول زنده است. تلقیح با کودهای زیستی

به‌علت حساس بودن باکتری‌ها به نور و گرما در سایه انجام شد (Taleie & Amini Dehaghi, 2015). با توجه به نتایج آزمون خاک، در زمان کاشت کود فسفر به‌فرم سوپرفسفات تریپل به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم بر هکتار و کود شیمیایی نیتروژن به‌فرم اوره بر حسب تیمارها به‌صورت پایه (۴۰ درصد کود) و سرک (در دو مرحله حداکثر پنجه‌زنی و آغاز گل‌دهی هر کدام ۳۰ درصد) به‌صورت دستی به زمین اصلی داده شد (Erfani Moghadam et al., 2018). آرایش کشت برنج 20×20 سانتی‌متر، ابعاد هر کرت آزمایشی 3×3 متر، تعداد ردیف‌های کاشت ۱۵ ردیف و تراکم بوته در هر کرت ۲۲۵ عدد بود. در طول دوره رشد برنج برای مبارزه با کرم ساقه‌خوار برنج از سم دیازینون (گرانول پنج درصد) و برای مدیریت علف‌های هرز از دو نوبت وجین دستی ۲۰-۱۵ روز بعد از نشاکاری و ۳۵-۲۰ روز پس از نشاکاری و مبارزه شیمیایی (بوتاکلر به‌میزان سه لیتر بر هکتار چهار روز پس از نشاکاری) انجام شد. برای تعیین تعداد خوشه در مترمربع، تعداد پنجه‌های خوشه‌دار و قابل برداشت در ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی از هر کرت و در مرحله رسیدگی دانه شمارش و ثبت گردید. تعداد دانه در خوشه اصلی از ۲۰ خوشه هر کرت آزمایشی به‌صورت تصادفی بعد از رسیدن کامل دانه‌ها تعیین و میانگین داده‌ها ثبت شد. سپس دانه‌ها جدا شدند و تعداد دانه پر و پوک در هر خوشه شمارش گردید. وزن هزار دانه از دو نمونه دانه‌های پر در هر کرت آزمایشی توزین گردید. جهت تعیین عملکرد دانه نیز با رعایت اثر حاشیه یک مترمربع از هر کرت در مرحله رسیدگی کامل برداشت گردید و پس از محاسبه، بر حسب تن بر هکتار بیان شد. برای محاسبه شاخص سطح برگ بیشینه سه هفته بعد از نشاکاری به‌فاصله هر ۱۵ روز تا مرحله برداشت پنج مرحله نمونه‌برداری صورت گرفت و در هر نمونه‌برداری تعداد چهار کپه به‌طور تصادفی انتخاب و کف‌بر شدند. سطح برگ نمونه‌ها با استفاده از دستگاه تعیین سطح برگ (LI-31000, LI-corr, Lincoln, NE) اندازه‌گیری شد.

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Chemical properties of used water in the experiment

نوع آب Water type	نسبت جذب سدیم SAR (me.l ⁻¹)	سدیم Na ⁺ (mg.l ⁻¹)	منیزیم Mg ⁺⁺ (mg.l ⁻¹)	کلسیم (mg.l ⁻¹) Ca ⁺⁺	سولفات So ₄ (mg.l ⁻¹)	کلر Cl ⁻ (mg.l ⁻¹)	بی-کربنات کربنات HCO ₃ ⁻ (mg.l ⁻¹)	کربنات CO ₃ ⁻ (mg.l ⁻¹)	کل مواد جامد در محلول TDS (mg.l ⁻¹)
¹ C3S1	3.1	5.4	1.8	4.2	0.42	4.4	4.6	1.2	598

^۱. آب‌های متوسط برای کشاورزی از نظر شوری و نمودار ویلکاکس

دوم مشاهده شد (جدول ۵). عملکرد در سال دوم (میانگین کل سه درصد) بیشتر از سال اول بود که دلیل آن را می‌توان به شرایط آب و هوایی (میزان بارندگی در فصل رشد در سال اول حدود ۶۰ میلی‌متر و در سال دوم ۱۸۵ میلی‌متر بود و میزان ساعات آفتابی در خرداد و تیر سال اول ۴۶۲ ساعت و در سال دوم ۵۲۶ ساعت بود) سال دوم نسبت داد. در بین دو رقم مورد مطالعه رقم اصلاح‌شده گیلانه حدود ۱۷ درصد عملکرد بیش‌تری را نسبت به رقم محلی هاشمی نشان داد. لازم به ذکر است که رقم گیلانه با داشتن تعداد خوشه در واحد سطح، تعداد دانه در خوشه و تعداد دانه پر در خوشه بیش‌تری در پژوهش حاضر بود.

افزایش دور آبیاری باعث کاهش تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه و افزایش تعداد دانه پوک در خوشه گردید که در نتیجه آن عملکرد دانه نیز کاهش یافت. این کاهش از آبیاری غرقاب به آبیاری ۱۰ روز حدود ۲۷/۷ درصد و در دور آبیاری ۱۵ روز ۴۱/۶ درصد بود. در این تحقیق با افزایش دور آبیاری و استفاده ترکیبی از کود شیمیایی نیتروژنی و زیستی میزان عملکرد شلتوک بیش‌تر شد. بر اساس نتایج پژوهش حاضر احتمالاً کود زیستی توانایی کاهش مصرف کود شیمیایی اوره در تولید برنج در دو رقم هاشمی و گیلانه را دارا می‌باشد. رقم گیلانه در دور آبیاری بالاتر زمانی که ۱۰۰ درصد کود نیتروژن مصرف شده بود عملکرد بیش‌تری نسبت به سایر تیمارها داشت و می‌تواند به دلیل پاسخ پذیر بودن این رقم به کود نسبت به رقم هاشمی باشد (Kavoosi & Allagholipour, 2017). محدودیت در منابع آبی باعث کاهش رشد، بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز، تحت تأثیر قرار گرفتن تنفس، کاهش فضای بین سلولی، تخریب پروتئین‌ها، تخریب آنزیم‌ها، کاهش تشدیدکننده‌های رشد تجمع پرولین و کوتاه شدن دوره رویشی و شروع زود هنگام رشد زایشی می‌شود، در نتیجه عملکرد و اجزای عملکرد کاهش می‌یابد (Mohammadi et al., 2006; Tarighisami et al., 2012). با توجه به پاکوتاه بودن و تعداد دانه در خوشه بالاتر رقم گیلانه در اواخر دوره رشد رویشی نیتروژن اضافه شده به خاک را بیش‌تر صرف پرکردن دانه‌ها کرده و در نتیجه، عملکرد دانه افزایش می‌یابد. در تحقیقی کمترین عملکرد دانه برنج (Lowland) در تیمار عدم مصرف نیتروژن و بیشترین آن در تیمار مصرف ۹۰ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن به‌دست آمد (Belder et al., 2005). رقم هاشمی تعداد خوشه

بعد از اندازه‌گیری سطح برگ، روند تغییرات شاخص سطح برگ در طول دوره رشد و نمو از معادله زیر محاسبه شد:

$$LAI = LA/GA = e^{(a+bt+ct^2)} \quad (1)$$

که در آن، LA؛ سطح برگ اندازه‌گیری شده، GA؛ مساحت فضای نمونه‌برداری، a، b و c: ضرایب رگرسیونی و e: پایه لگاریتم طبیعی و T: زمان می‌باشد. سپس شاخص سطح برگ بیشینه هر کرت در طول دوره رشد یادداشت و سپس مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت (Faraji et al., 2012). کارایی مصرف آب از معادله زیر محاسبه گردید (Zhou et al., 2017):

$$\text{معادله (۲)}$$

آب باران + مقدار آب آبیاری (مترمکعب در مترمربع)/عملکرد دانه (کیلوگرم در مترمربع) = کارایی مصرف آب
میزان آب ورودی (آبیاری و باران) به کرت‌ها با استفاده از یک کنتور حجمی اندازه‌گیری شد. از اطلاعات تشکک تبخیر مستقر در تحقیق برای برنامه آبیاری استفاده شد. پس از انجام آزمون بارلت و اطمینان از یکنواختی اشتباه آزمایشی، تجزیه واریانس مرکب و محاسبات آماری با استفاده از برنامه آماری SAS، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه و اجزای آن

تجزیه واریانس مرکب عملکرد و اجزای عملکرد نشان داد که اثر سال بر عملکرد معنی‌دار و بر تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه، تعداد دانه پر در خوشه و وزن هزاردانه غیرمعنی‌دار بود. اثرات آبیاری، کود، رقم و اثرات سه‌گانه روی عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین، برهمکنش سال در رقم بر تعداد خوشه در بوته و وزن هزار دانه، سال در کود در آبیاری و اثر اصلی کود و رقم بر تعداد خوشه در بوته معنی‌دار شدند (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها در سال اول نشان داد بیش‌ترین عملکرد دانه در تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن مورد نیاز گیاه در رقم گیلانه و دور آبیاری غرقاب معادل ۴/۱۶ تن بر هکتار و پایین‌ترین مقدار آن نیز در رقم هاشمی در دور آبیاری ۱۵ روز و تلقیح ریشه نشاء با کود زیستی نیتروکسین و معادل ۱/۴ تن بر هکتار (کاهش ۶۵ درصدی) در سال

شاخص سطح برگ

تجزیه واریانس مرکب شاخص سطح برگ بیشینه نشان داد که اثر سال بر این صفت معنی‌دار شد. اثر ساده آبیاری، کود و رقم و اثر دوگانه آبیاری در کود، رقم در کود، رقم در آبیاری و اثر سه گانه آبیاری در کود در رقم در سطح یک درصد بر شاخص سطح برگ بیشینه معنی‌دار شدند (جدول ۴). مصرف ۱۰۰ درصد کود نیتروژنی در رقم گیالانه در آبیاری غرقاب بیش‌ترین شاخص سطح برگ بیشینه معادل ۴/۵۲ در سال اول و ۴/۷۹ در سال دوم را نشان داد و رقم هاشمی در دور آبیاری ۱۵ روز و تلقیح نشاءها در کود نیتروکسین کم-ترین شاخص سطح برگ بیشینه معادل ۱/۴۸ در سال اول و ۱/۵۳ در سال دوم را نشان دادند (جدول ۵). به‌طور کل، می‌توان گفت که این شاخص در تیمار آبیاری غرقاب وضعیت بهتری را نسبت به تیمارهای با دور آبیاری ۱۰ روز و ۱۵ روز در هر دو سال نشان داد و با افزایش دور آبیاری شاخص سطح برگ کاسته شده است. کمبود آب در مراحل رشد برنج خصوصاً در اوایل دوره رشد باعث کوچک شدن برگ در نتیجه کاهش سطح برگ گیاه می‌شود (Sedaghat et al., 2017). شاخص سطح برگ بیشینه در سال دوم مطالعه بیش‌تر از سال اول بود. به نظر می‌رسد دریافت دمای بالاتر در این سال (۱۲۰۰/۶۱ درجه روز در مقایسه با ۱۱۸۰/۴ درجه روز)، ساعات آفتابی بیش‌تر و همچنین بارندگی بیش‌تر در سال دوم به همراه مصرف کود نیتروژنی و زیستی موجب رشد رویشی بیش‌تر و کسب شاخص سطح برگ بیشینه بیش‌تر شده باشد. در این تحقیق، مصرف کود شیمیایی نیتروژنی به‌صورت شیمیایی و ترکیب با کود زیستی سبب افزایش شاخص سطح برگ بیشینه در مقایسه با تلقیح ریشه نشاء با کود زیستی شد. در تمامی تیمارها شاخص سطح برگ در طول مراحل رشدی تا مرحله زایشی افزایش یافته و پس از آن به‌دلیل پیری و ریزش برگ‌ها کاهش می‌یابد. هر چند که تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن در چند روز پس از مصرف سطح برگ را بالاتر از تیمار ترکیبی کود نیتروژنی و کود زیستی و تیمار مصرف فقط کود زیستی افزایش داده بود، اما تیمار ترکیبی کود در دوره‌های آبیاری به تیمار کود نیتروژن نزدیک شد و باعث افزایش شاخص سطح برگ به‌طور معنی‌داری گردید. مصرف کود نیتروژن بعد از نشاکاری در برنج، شاخص سطح برگ را افزایش داد (Tahaei Rudsari & Ashouri, 2019).

کمتری بر مترمربع (۲۲۴) نسبت به رقم گیالانه (۲۶۶) نشان داد. تعداد خوشه بر مترمربع در تیمار آبیاری غرقاب حدود ۱۳ درصد بیشتر از دور آبیاری ۱۰ روز و ۱۵ روز یک‌بار بود. در شرایط کم‌آبی و افزایش دور آبیاری احتمالاً به‌علت افزایش تعداد پنجه و افزایش رقابت بین پنجه-ها از تعداد پنجه مؤثر کاسته و تعداد خوشه کاهش می‌یابد (Hazra & Subhash, 2014). تعداد دانه در خوشه در تیمار غرقاب و تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن مورد نیاز گیاه و تلقیح ریشه نشاء با کود زیستی نیتروکسین + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن مورد نیاز و رقم گیالانه بیش‌تر از سایر تیمارها نشان داد. تعداد دانه پوک در تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن مورد نیاز گیاه ۱۹ درصد بیشتر از تیمار تلقیح ریشه نشاء با کود زیستی نیتروکسین + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن مورد نیاز بود. در سطوح زیاد کود نیتروژن تعداد دانه‌های پوک افزایش نشان می‌دهد که می‌تواند ناشی از تولید تعداد دانه بیش‌تر در اثر مصرف بیش‌تر نیتروژن و کمبود سایر منابع غذایی باشد (Niknejad et al., 2016).

وزن هزار دانه میان ارقام از نظر آماری در سطح یک درصد اختلاف معنی‌دار داشت، اما اثرات آبیاری و کود شیمیایی و زیستی بر این صفت معنی‌دار نبود. بیش‌ترین مقدار وزن هزاردانه را رقم هاشمی داشت. کودهای زیستی پتانسیل کاهش مصرف کودهای شیمیایی را دارا می‌باشند. در تحقیقی کاربرد کود زیستی توانست بیش‌ترین شاخص برداشت و عملکرد دانه و تعداد دانه در گیاه دارویی زینان را به دنبال داشته باشد. کاربرد کودهای زیستی به‌خصوص در شرایط کم-آبی با بهبود رشد ریشه و افزایش آسیمیلاسیون مواد فتوسنتزی به-علت افزایش سطح برگ و افزایش ظرفیت فتوسنتزی در دوره قبل از گل‌دهی، می‌تواند در مرحله پس از گل‌دهی با انتقال مجدد این مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن باعث افزایش عملکرد گیاه شود (Rezaei & Chianeh et al., 2017). کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی با کود زیستی باعث حصول بیش‌تر عملکرد دانه نسبت به کاربرد تنهایی هر کدام از کودهای شیمیایی و زیستی می‌شود. کاربرد ترکیبی کودهای شیمیایی و کودهای زیستی در افزایش کارایی مصرف کودهای شیمیایی تأثیر معنی‌دار دارد (Mirzakhani & Sajedi, 2015). اثر متقابل نیتروژن و پتاسیم بر تعداد سنبلچه در خوشه معنی‌دار بود و تیمار ۹۰ کیلوگرم نیتروژن به‌علاوه ۲۰۰ کیلوگرم پتاسیم بیش‌ترین تعداد سنبلچه در خوشه را داشت (Esfahani et al., 2005).

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب اثر تیمارهای آزمایش بر عملکرد، اجزای عملکرد، شاخص سطح برگ و کارایی مصرف آب در دو سال زراعی (۱۳۹۷ و ۱۳۹۸)
 Table 2- Combined analysis of variance for effect of experimental treatments yield and yield components, LAI_{max} and WUE in two cropping years (2017-2018)

میانگین مربعات Mean of squares								
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	عملکرد دانه Grain yield (t.ha ⁻¹)	تعداد خوشه در بوته Panicle No.	تعداد دانه در خوشه Grain No.	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	تعداد دانه پر در خوشه Filled grains	شاخص سطح برگ LAI _{max}	کارایی مصرف آب WUE (kg grain.m ⁻³)
سال Year	1	0.187*	2623.4	47.7	0.0057	7.78	0.084**	0.011**
بلوک داخل سال Rep. in year	4	0.018	400.39	133.39	0.056	118.9	0.0021	0.0006
آبیاری Irrigation	2	17.76**	8135	2604.7**	0.342	1611.4**	17.63**	0.064**
سال × آبیاری Year×irrigation	2	0.03	716.8	171.5	0.695	366.3	0.064**	0.0022
خطای فاکتور آبیاری Rep.×irrigation in year	8	0.086	242.5	903.25	0.155	287.8	0.001	0.00032
کود Fertilizer	2	6.38**	33518.7**	1987.87**	1.11	956.3**	13.24**	0.29**
سال × کود Year×fertilizer	2	0.008	1545.3	41.6	0.201	177.8	0.067**	0.0029
آبیاری × کود Irrigation×fertilizer	4	0.73	5554**	878.8*	0.089	1024.2**	0.92**	0.01**
سال × کود × آبیاری Year×fertilizer×irrigatio n	4	0.124**	2707.4**	117.2	0.161	54.84	0.079**	0.01**
خطای فاکتور کود Rep.×fertilizer in year	24	0.009	449.2	225.2	0.228	187.5	0.0049	0.00046
رقم Cultivar	1	5.62**	48012.65**	4776.03**	42.75**	2196**	12.11**	0.76**
سال × رقم Year×cultivar	1	0.099	4979**	2.93	14.58**	135.5	0.187**	0.0022
رقم × آبیاری Cultivar×irrigation	2	0.096*	1183.4	388.8	0.179	42.3	0.173**	0.0057
سال × رقم × آبیاری Year×irrigation× cultivar	2	0.108**	325.6	289.7	0.668	88.7	0.465**	0.0071**
کود × رقم Fertilizer× cultivar	2	0.021	5936.5**	465.8	0.899	78	0.18**	0.0078**
سال × کود × رقم Year×fertilizer× cultivar	2	0.104*	134.3	41.9	0.176	72.9	0.171**	0.007**
آبیاری × کود × رقم Irrigation× fertilizer× cultivar	4	0.189*	1454.57	199.57	0.535	40.18	0.306**	0.009**
سال × آبیاری × کود × رقم Year×cultivar×fertilizer ×irrigation	4	0.081*	1381.8	66.99	0.31	37.8	0.092**	0.007**
خطای باقی مانده Error	36	0.0217	597.6	318.42	1.63	177.2	0.007	0.0014
ضریب تغییرات CV (%)		5.17	7.49	17.6	4.4	13.7	2.86	6.73

**و*: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد
 * and **: Significant at 0.05 and 0.01 probability level.

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد و شاخص سطح برگ دو گونه برنج
Table 5- Comparison of mean values of Grain yield and LAI_{max} in two rice cultivars

Table 3- Comparison of mean values of Grain yield and LAI _{max} in two rice cultivars						
تیمارها Treatments			عملکرد دانه Grain yield (t.ha ⁻¹)		شاخص سطح برگ LAI _{max}	
آبیاری Irrigation	مقدار کود Fertilizer	رقم Cultivar	2017	2018	2017	2018
Flooding غرقاب	Treat 1 تیمار یک	Gilaneh گیلانه	2.85 ^c	2.8 ^c	2.76 ^g	2.93 ^{fg}
		Hashemi هاشمی	2.53 ^d	2.3 ^f	2.36 ^{hi}	2.17 ^k
	Treat 2 تیمار دو	Gilaneh	3.93 ^a	3.85 ^a	4.03 ^b	4.17 ^b
		Hashemi	3.12 ^{bc}	3.43 ^b	3.77 ^{cd}	3.63 ^{cd}
	Treat 3 تیمار سه	Gilaneh	4.14 ^a	3.99 ^a	4.52 ^a	4.79 ^a
		Hashemi	3.26 ^b	3.54 ^b	3.96 ^{bc}	2.82 ^g
10 days دور آبیاری ۱۰ روز	Treat 1 تیمار یک	Gilaneh	1.69 ^f	2.07 ^g	2.5 ^h	2.54 ^{hi}
		Hashemi	1.5 ^{gf}	1.99 ^{gh}	2.06 ^{kl}	2.14 ^k
	Treat 2 تیمار دو	Gilaneh	3.26 ^{bc}	2.9 ^c	4.02 ^b	3.75 ^c
		Hashemi	2.32 ^{de}	2.6 ^{de}	3.17 ^f	3.12 ^{ef}
	Treat 3 تیمار سه	Gilaneh	2.79 ^{cd}	2.73 ^d	3.69 ^{de}	3.82 ^c
		Hashemi	2.44 ^d	2.48 ^{ef}	3.45 ^e	3.33 ^e
15 days دور آبیاری ۱۵ روز	Treat 1 تیمار یک	Gilaneh	2.1 ^e	2.09 ^g	2.079 ^k	2.14 ^k
		Hashemi	1.36 ^g	1.46 ⁱ	1.48 ^o	1.53 ⁿ
	Treat 2 تیمار دو	Gilaneh	2.06 ^e	2.1 ^g	2.76 ^g	2.58 ^h
		Hashemi	1.75 ^f	1.89 ^h	1.78 ^{mn}	1.89 ^{lm}
	Treat 3 تیمار سه	Gilaneh	2.08 ^e	2.54 ^e	2.83 ^g	2.72 ^{gh}
		Hashemi	1.97 ^{ef}	1.83 ^h	1.89 ^{lm}	2.037 ^{kl}

* تیمار ۱: تلقیح ریشه نشاء با کود نیتروکسین، تیمار ۲: تلقیح ریشه نشاء با کود زیستی نیتروکسین + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن مورد نیاز گیاه، تیمار ۳: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی

* Treatment 1: Inoculation of seedling root with nitroxin fertilizer, Treatment 2: inoculation of seedling root with nitroxin biofertilizer + 50% chemical fertilizer required by the plant, Treatment 3: 100% chemical fertilizer nitrogen

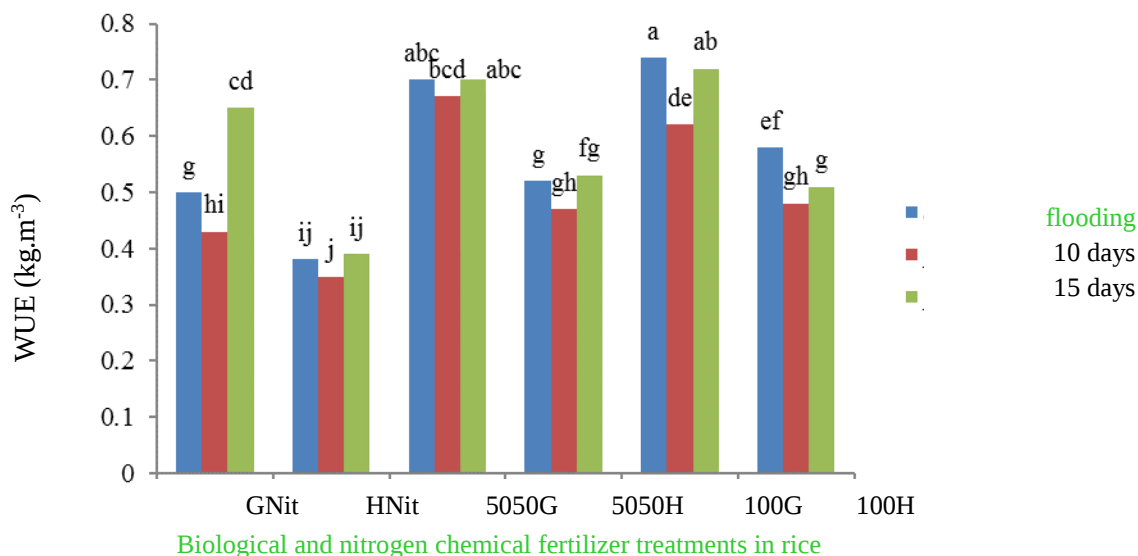
کارایی مصرف آب

جدول تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر ساده آبیاری، کود و رقم، اثر دوگانه آبیاری در کود، کود در رقم و آبیاری در رقم و اثر سه گانه آبیاری در کود در رقم در سطح احتمال یک درصد بر کارایی مصرف آب معنی‌دار شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد رقم گیلانه در تیمار آبیاری ۱۵ روز و مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن مورد نیاز گیاه بیش‌ترین کارایی مصرف آب را در دو سال نشان داد که با تیمارهای دور آبیاری ۱۵ روز با مصرف تلقیح ریشه نشاء با کود زیستی نیتروکسین + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن مورد نیاز گیاه این رقم تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۱). در پژوهش حاضر در دو سطح کودی تلقیح ریشه نشاء با کود زیستی نیتروکسین + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن مورد نیاز گیاه و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن مورد نیاز گیاه در دور آبیاری ۱۰ و ۱۵ روز، کارایی مصرف آب بهتری نسبت به غرقاب در هر دو رقم نشان

دادند. بومن و همکاران (Bouman et al., 2007) در تحقیقی مقدار بهره‌وری آب مبتنی بر تبخیر و تعرق را ۱/۴ کیلوگرم دانه برنج به ازای هر مترمکعب تبخیر و تعرق دانسته‌اند. بالا بودن کارایی مصرف آب در رقم گیلانه در مقایسه با رقم هاشمی در همه سطوح آبیاری و کوددهی مشاهده شد که می‌تواند ناشی از عملکرد بیش‌تر در این رقم باشد. غلامی و همکاران (Gholami Salkouyeh et al., 2012) در بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و کود نیتروژنی بر عملکرد برنج و کارایی مصرف آب نتایج مشابهی را گزارش کرده و بیان کردند که عدم مصرف کود نیتروژن در تمام تیمارهای آبیاری منجر به کاهش شدید کارایی مصرف آب شده است. افزایش کارایی مصرف آب در گیاهان زراعی ناشی از فراهمی نیتروژن گزارش شده است (Hatfield Ashouri, 2014; Teixeira et al., 2014 et al., 2001). فراهمی کود نیتروژنی مشابه با فراهمی آب با افزایش عملکرد ناشی از بهبود زیست‌توده اندام هوایی، کارایی مصرف آب را بهبود دهد

نیترژن مورد نیاز گیاه و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیترژن مورد نیاز گیاه در مقایسه با تلقیح ریشه نشاء با کود زیستی نیتروکسین مشاهده شد.

(Boomsma et al., 2009). در پژوهش حاضر نیز افزایش عملکرد دانه و اجزای عملکرد همسو با کارایی مصرف آب در تیمارهای کودی تلقیح ریشه نشاء با کود زیستی نیتروکسین + ۵۰ درصد کود شیمیایی



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر سه گانه آبیاری، کود و رقم بر عملکرد دانه دو رقم برنج (۱۵ روز) (۱۰ روز، غرقاب، ۱۵ روز)

Fig. 1- The triple effect of irrigation, fertilizer and cultivar on grain yield of two rice cultivars (flooding, 10 days, 15 days)

(تلقیح ریشه نشاء با کود زیستی نیتروکسین + ۵۰ درصد کود (HNit)، تلقیح ریشه نشاء رقم هاشمی در کود نیتروکسین (GNit) تلقیح ریشه نشاء رقم گیلانه در کود نیتروکسین (۱۰۰ درصد کود (5050H)، تلقیح ریشه نشاء با کود زیستی نیتروکسین + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیترژن در رقم هاشمی (5050G) شیمیایی نیترژن در رقم گیلانه (100H)، مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیترژن در رقم هاشمی (100G) مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیترژن در رقم گیلانه (100H))

Inoculation of Gilaneh seedlings in nitroxin fertilizer (GNit), Inoculation of Hashemi cultivar seedlings in nitroxin fertilizer (HNit), Inoculation of seedling roots with nitroxin biofertilizer + 50% nitrogen chemical fertilizer in Gilaneh cultivar (5050G), Inoculation of seedling roots with nitroxin biofertilizer + 50% nitrogen chemical fertilizer in Hashemi cultivar (5050H), Consumption of 100% nitrogen chemical fertilizer in Gilaneh cultivar (100G), Consumption of 100% nitrogen chemical fertilizer in Hashemi cultivar (100N)

نتیجه گیری

بر اساس نتایج این آزمایش می توان مصرف ترکیبی کودهای زیستی و شیمیایی نیترژن بر روی عملکرد، کارایی مصرف آب و شاخص سطح برگ ارقام برنج (هاشمی و گیلانه) تأثیر مثبت داشت. با افزایش دور آبیاری تیمارهای تلقیح ریشه نشاء با کود زیستی نیتروکسین + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیترژن مورد نیاز گیاه و مصرف ۱۰۰ درصد کود نیترژنی مورد نیاز گیاه، به طور ویژه ای میزان مصرف آب و به تبع آن کارایی مصرف آب و بهره وری آب را تحت تأثیر قرار می دهد. شاخص سطح برگ از جمله عوامل تأثیرگذار در

عملکرد دانه بود. کود زیستی به همراه کود شیمیایی نیترژن باعث افزایش شاخص سطح برگ محصول گردید. کود نیترژن نسبت به کود زیستی تعداد دانه پوک در خوشه را ۱۹ درصد افزایش داده بود. تعداد دانه در خوشه، تعداد خوشه بر مترمربع، شاخص سطح برگ و عملکرد رقم گیلانه نسبت به رقم هاشمی بالاتر بود. در شرایط افزایش دور آبیاری و کم آبی کودهای زیستی با تأثیر مثبت روی فرایندهای فیزیولوژیک گیاه توانست تا حدی از بروز اثرات سوء کم آبی بر گیاه زراعی برنج کاسته و مانع از کاهش شدید عملکرد دانه شود و علاوه بر تولید محصول کافی و بهبود کارایی جذب نیترژن، مصرف کود شیمیایی نیترژن را به میزان ۵۰ درصد کاهش دهد.

بهبودسازی مصرف نهاده‌های کشاورزی و کاربرد کودهای زیستی می-
تواند جایگزینی مناسب و مطلوب برای کودهای شیمیایی بوده و در
جهت رسیدن به توسعه پایدار از اهمیت اساسی برخوردار است.

References

- Aghbabaie, F., Raiesi, F., & Nadian, H.(2011). The effect of mycorrhiza existence on the uptake of food elements by some of the commercial genotypes of the almond plant on a sandy soil. *Iranian Journal of Soil Research*, 25(2), 137-147. (In Persian with English Summary)
- Alaei Bazkiaie, P., Kamkar, B., Amiri, E., Kazemi, H., & Rezaei, M.(2019). Effect of irrigation management and planting date on yield and productivity of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal Crop Production*, 12(4), 157-170. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22069/EJCP.2020.16513.2231>.
- Asadi, R., Alizadeh, A., Ansari, H., Kavousi, M., & Amiri, A.(2016). The effect of water and nitrogen consumption on yield, yield components and water productivity in rice cultivation. *Water Research Agriculture*, 30(2), 157-145. (In Persian with English Summary)
- Ashouri, M. (2014). Water use efficiency, irrigation management and nitrogen utilization in rice production in the north of Iran. *APCBEE Procedia*, 8, 70–74. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.1016/j.apcb.2014.03.003>
- Belder, P., Spiertz, J. H. J., Bouman, B.A.M., Lu, G., & Tuong, T.P. (2005). Nitrogen economy and water productivity of lowland rice under water-saving irrigation. *Field Crops Research*, 93, 169–185. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.09.022>.
- Boomsma, C.R., Santini, J.B., Tollenaar, M., & Vyn, T. J.(2009). Maize morphophysiological responses to intense crowding and low nitrogen availability: An analysis and review. *Agronomy Journal*, 101, 1426–1452. <https://doi.org/10.2134/agronj2009.0082>.
- Bouman, B.A.M., Feng L., Tuong, T.P., Lu, G., Wang, H., & Feng, Y.(2007). Exploring options to grow rice under water-short conditions in northern China using a modelling approach. II: Quantifying yield, water balance components, and water productivity. *Agriculture Water Management*, 88, 23-33. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.10.006>.
- Carmelita, M., Alberto, R., Wassmann, R., Hirano, T., Miyata, A., Hatano, R., Kumar, A., Padre, A., & Amante, M. (2011). Comparisons of energy balance and evapotranspiration between flooded and aerobic rice fields in the Philippines. *Agriculture Water Management*, 98, 1417-1430. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.04.011>.
- Carretero, R., Serrago, R.A., Bancal, M.O., Perello, A.E., & Miralles, D.J. (2010). Absorbed radiation and radiation use efficiency as affected by foliar diseases in relation to their vertical position into the canopy in wheat. *Field Crop Research*, 116, 184-195. DOI : [10.1016/j.fcr.2009.12.009](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.12.009).
- Darzi, A.A., Mirlotfi, S.M., Shahnazari, A., Ejlali, F., & Mahdian, M.H. (2013). Effect of surface and subsurface drainage in paddy fields on rice yield and its components. *Iranian Journal Water Research Agriculture*, 26, 61-70. (In Persian with English Summary)
- Erfani Moghadam, R., Nabipour, A.R., & Nori, M.Z. (2018). Guidelines for sustainable rice production under sustainable agricultural conditions. *Agricultural Research, Education and Extension Organization*, 318 p. (In Persian)
- Esfahani, M., Sadrzadeh, S.M., Kavousi, M., & Dabaghmohammadi Nasab, A.(2005). Study the effect of different levels of nitrogen and potassium fertilizers on yield, yield components and growth of rice c.v. Khazar. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 7(3), 226-241. (In Persian with English Summary)
- Faraji, F., Esfahani, M., Kavousi, M., Nahvi, M., & Rabiee, B. (2012). Effect of nitrogen fertilizer quantities and manner on growth and yield indices of Caspian rice. *Iran Journal Crop Science*, 43(2), 333-323. (In Persian with English Summary)
- Ghasemi Gavabar, M., Shakori, M.J., Daneshian, J., & Akhgari, H.(2012). Investigating the combined role of ecological bacteria on physiological and morphological characteristics of rice Hashemi cultivar. *Journal of Plant Production Science*, 2(2), 31-36. (In Persian with English Summary)
- Gholami Salkouyeh, S., Amiri, E., & Abdzad Gohari, A.(2012). Effect of irrigation cycle and nitrogen fertilizer amounts on yield, efficiency and water consumption of corn in Guilan province. *Journal Water Research. Agriculture*, 26(4), 472-484. (In Persian with English Summary)

- Guilan Meteorological Quarterly. 2019. Statistics, 24 p. (In Persian)
- Hatfield, J.L., Sauer, T.J., & Prueger, J. H. (2001). Managing soils to achieve greater water use efficiency: A review. *Agronomy Journal*, 93, 271-280.
- Hazra, K.K., & Subhash, C.(2014). Effect of Extended Water Stress on Growth, Tiller Mortality and Nutrient Recovery under System of Rice Intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biology Science*, 86(1), 105-113. DOI:10.1007/s40011-014-0415-7.
- Jaberi, M., Baradaran, R., Mosavi, G., & Aghhavani Shajari, M. (2018). Effect of biofertilizers and irrigation management on physiological indices of fenugreek (*Trigonella foenum- graecum* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*, 9(32), 142-151. (In Persian with English Summary)
- Jabran, K., & Chauhan, B.S.(2015). Weed management in aerobic rice systems. *Crop Protection*, 78, 151-163. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.09.005>.
- Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H. J., Somasundaram, R., & Panneersel Vam, R. (2009). Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal Agricultural Biology*, 11(1), 100-105.
- Kavoosi, M., & Allagholipour, M. (2017). Effect of rate and split application of nitrogen fertilizer on growth and grain yield of rice (*Oryza sativa* L.) cvs. Gilaneh and Abjiboji. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 19(2), 165-180. (In Persian with English Summary)
- Lopez, L.A.M., Ivera, R.M., Herrera, O.R., & Naval, W.T. (2019). Relationship between growth traits and yield formation in Indica-type rice crop. *Agronomía Mesoamericana*, 230(1), 79-100. <http://dx.doi.org/10.15517/ma.v30i1.29671>.
- Maleki Narg, M., Balouchi, H.R., Farajee, H., & Yadavi, A. (2013). The effect of nitrogen and phosphorus chemical and biological fertilizers on grain yield and qualitative traits of sweet corn. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 23(3), 89-104. (In Persian with English Summary)
- Mirzakhani, M., & Sajedi A. (2015). Evaluation of biological and chemical fertilizers on fertilizer use efficiency, grain yield and yield components of sunflower. *Journal of Agricultural Science*, 25(1), 139-153. (In Persian with English Summary)
- Mohammadi, A., Majidi, E., Bihamta, M.R., & Heidari Sharifabad, H. (2006). Evaluation of drought stress on morphological agronomic characteristics in a number of wheat cultivars. *Research and Construction (Agriculture and Horticulture)*, 73, 184-192.
- Moslehi, N., Nikonjad, Y., Fallah Ameli, H., & Kheiri, N. (2016). The effect of combined application of chemical, organic and biological fertilizers on some morphophysiological traits of Tarom Hashemi rice. *Journal of Crop Physiology*, 8(30), 103-87. (In Persian with English Summary)
- Niknejad, Y., Daneshian, J., Shirani Rad, A.H., & Pirdashti, H.A. (2016). Evaluation of plant growth enhancing bacteria efficiency on yield and yield components of rice under dehydration and reduced nitrogen levels. *Journal Agriculture*, 112, 19-9. (In Persian with English Summary)
- Palangi, M., Pirmoradian, N., Karimi, V.A., & Amiri Larijani, B. (2014). The effect of Mia Nafsl surface drainage on growth trend, physiological indices and rice yield of Tarom Hashemi cultivar. *Cereal Research*, 4(4), 278-267. (In Persian with English Summary)
- Panahi Morandini, N., Rahimi Petroudi, A., & Masoumi Georgian, E. (2015). The Effect of Nitrogen (Nitroxin) Stabilizing Bacteria, Nitrogen and Silica on Yield and Yield Components of Rice Yield, The first national congress for the development and promotion of agricultural engineering and soil sciences in Iran. 15 p. (In Persian)
- Peng, S., 2006. Single leaf & canopy photosynthesis of rice. Elsevier Science. Amsterdam. pp. 213-228.
- Rezaei Chianeh, A., Rahimi, A., Sheikh, F., and Mahiji, M. (2017). Reaction of some agronomic characteristics of beans to biofertilizers under water stress. *Production Crops*, 10(4), 120-107. (In Persian with English Summary)
- Rezaei Sokhtabbandani, R., & Ramezani, M. (2010). Surveying the effects of irrigation interval and nitrogen fertilizer on physiological index of growth and yield of silage corn (hybrid S.c704) in climatic conditions of Mazandaran province. *Crop Physiology Journal*, 7(12), 18-35. (In Persian with English Summary)
- Rezaenia, N., Ramroudi, M., Galavi, M., & Forouzandeh, M. (2018). Effects of bio-fertilizers on physiological traits and absorption of some nutrients of chicory (*Cichorium intybus* L.) in response to drought stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(4), 925-938. (In Persian with English Summary)
- Salehifar, M., Afshar Mohammadian, M., Kavousi, M., Tjadoditalab, K., & Shukrivahed, H. (2018). Comparative

- evaluation of the effect of organic and mineral fertilizers on yield, yield components and rice growth indices. *Cereal Research*, 8(3), 305-291. (In Persian)
- Sedaghat, N.A., Pirdashti, H.A., Rahemi Karizki, A., & Safikhani, S. (2017). Evaluation of growth indices of two improved and native rice cultivars in different irrigation managements. *Plant Ecophys*, 9(29), 79-65. (In Persian with English Summary)
- Taghizade, M., Esfahani, M., Davatgar, N., & Madani, H. (2008). Effects of irrigation management and nitrogen fertilizer on yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.). *New Finding in Agriculture*, 2(4), 353-364. (In Persian with English Summary)
- Tahaei Rudsari, S. L., & Ashouri, M. (2019). Effect of plant density and nitrogen fertilizer on yield, yield components and growth indices of Taron Hashemi rice in Rudsar. *Applied Agronomy Studies*, 32(1), 1-12. (In Persian with English Summary)
- Taleie, G.H., & Amini Dehaghi, M. (2015). Effects of bio and chemical fertilizers on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Iranian Journal Medicinal Aromatic Plants*, 30(6), 931-942. (In Persian with English Summary)
- Tarang, A., Hossieni Chaleshtary, M., Tolghilani, A., & Esfahani, M. (2013). Evaluation of grain yield stability of pure lines of rice in Guilan province. *Iran Journal Crop Science*, 15(1), 24-34. (In Persian with English Summary)
- Tarighisalami, M., Zarghami, R., Mashhadi Akbarbojar, M., & Oveisi, M. (2012). Effect of drought stress and nitrogen fertilizer amounts on physiological health of corn maize. *Journal Agricultural Plant Breeding*, 8(1), 161-174. (In Persian with English Summary)
- Teixeira, E. I., George, M., Herreman, T., Brown, H., Fletcher, A., Chakwizira, E., deRuiter, J., Maleya, S., & Noble, A. (2014). The impact of water and nitrogen limitation on maize biomass and resource-use efficiencies for radiation, water and nitrogen. *Field Crops Research*, 168, 109–118. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.08.002>.
- Vessey, J.K., 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. *Plant and Soil*, 255: 271-586. DOI: [10.31080/ASMI.2022.05.1028](https://doi.org/10.31080/ASMI.2022.05.1028).
- Wu, S.C., Cao, Z.H., Li, Z.G., Cheung, K.C., & Wong, M. H. (2005). Effects of bio-fertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: A greenhouse trial. *Geoderma*, 125, 155–166. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.07.003>.
- Zad Behtouri, M., Seyed Sharifi, R., & Khalilzadeh, R. (2018). Effect of nitrogen and biofertilizers on yield, nitrogen use efficiency and some morpho-physiological traits of rice (*Oryza sativa* L.). *Cereal Research*, 8(4), 409-421. (In Persian with English Summary)
- Zhou, Q., Ju, CH., Wang, Z., Zhang, H., Liu, L., Yang, J., & Zhang J. (2017). Grain yield and water use efficiency of super rice under soil water deficit and alternate wetting and drying irrigation. *Journal Integrative Agriculture*, 16(5), 1028–1043. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61506-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61506-X).



Effect of Relay Triple Intercropping Arrangements of Sugar Beet (*Beta vulgaris*), Chickpea (*Cicer arietinum* L.), and Mung Bean (*Vigna radiate* L.) on Yield and Yield Components

Alireza Koocheki^{1*}, Mehdi Nassiri Mahallati¹, Mohammad Hassan Hatefi Farajian², and Mina Hooshmand²

Received: 23-01-2019
Revised: 16-03-2019
Accepted: 27-04-2019
Available Online: 27-04-2019

How to cite this article:

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Hatefi Farajian, M.H., & Hooshmand, M. (2023). Effect of relay triple intercropping arrangements of sugar beet (*Beta vulgaris*), chickpea (*Cicer arietinum* L.), and mung bean (*Vigna radiate* L.) on yield and yield components. *Journal of Agroecology*. 15(1), 153-168.
DOI: [10.22067/agry.2022.20158.0](https://doi.org/10.22067/agry.2022.20158.0)

Introduction

In conventional agriculture, crop production has gradually shifted from ecological production principles to economic approaches, which has led to the destruction of natural resources and land use change, as well as the reduction in resource consumption (Koocheki et al., 2016b). Satisfying the nutritional needs of a growing population whilst limiting environmental repercussions will require sustainable intensification of agriculture. The adverse effects of climate change are significantly decreasing yield and yield stability over time in current monocropping systems. We argue that intercropping, which is the production of multiple crops on the same area of land, could play an essential role in this intensification. Intercropping often increases resource use efficiency and agricultural productivity compared with growing the component crops solely and can enhance yield stability (Martin-Guay et al., 2018; Raseduzzaman & Jensen, 2017). In the case of an intercropping strategy, the growing period for the legume, as a cover crop, is longer to provide a high amount of fixed nitrogen and potential ground cover to compete with weeds (Vrignon-Brenas et al., 2018). The land equivalent ratio (LER) is often computed as an indicator to determine the efficacy of intercropping that measures land productivity. LER may be interpreted as the relative area required by sole crops to produce the same yields as achieved in a unit area of intercrop. The objective of the present study was to evaluate the effect of relay intercropping as replacement series of three plant species such as chickpea (*Cicer arietinum* L.), mung bean (*Vigna radiate* L.), and sugar beet (*Beta vulgaris* L.), on the yield, yield components, and land equivalent ratio under climatic conditions of Mashhad.

Materials and Methods

A field experiment was conducted at the Agricultural Research Station of Ferdowsi University of Mashhad, Iran, during the growing seasons of 2015-2016. For this purpose, a randomized complete block design with three replications was used. The treatments included sole cropping of chickpea (C), mung bean (M), and sugar beet (S), as well as intercropping with 25% L + 75% S, 50% L + 50% S, and 75% L + 25% S. The investigated traits of mung bean and chickpea were plant height, number of pods per plant, number of seeds per pod, number of branches per plant, seed weight per plant, and 100-seed weight, as well as the number of hollow pods per plant, number of seeds per plant, biological yield, seed yield, and harvest index. For sugar beet, the traits investigated were root height, fresh yield of root, dry yield of root, dry weight of shoot, sucrose content, and sucrose yield. The land equivalent ratio of chickpea, mung bean, and sugar beet was calculated (Sullivan, 2003) as follows: $LER = Y_1/I_1 + Y_2/I_2 + Y_3/I_3$, where Y_1 , Y_2 , and Y_3 represent chickpea, mung bean, and sugar beet yield in intercropping, and I_1 , I_2 , and

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

2- Ph.D. Student of Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

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

I3 represent chickpea, mung bean, and sugar beet yield in mono-culture, respectively. SAS 9.2 was used for analysis of variance. All the means were compared according to Duncan's test ($p \leq 0.05$).

Results and Discussion

The results showed that the effect of relay triple intercropping arrangements of three species, such as mung bean and chickpea with sugar beet, was significant on yield components and seed yield, biological yield ($p \leq 0.05$). The highest seed yield of chickpea and mung bean (2912 and 1247.83 kg/ha, respectively) and biological yield (6237.5 and 6816.7 kg/ha) were observed in sole culture, respectively. Also, the highest amount of fresh root yield was related to its sole cropping with 65242 kg/ha. The highest and lowest LER were calculated for 75% S + 25% L (with 1.53) and 25% S + 75% L (with 0.94), respectively.

Conclusion

Intercropping systems using ecological principles are one of the sustainable solutions to choosing plants suited to the needs, and competitiveness is very important. According to the results, relay triple intercropping of chickpea, and mung bean with sugar beet can be considered as ecological management and ecological intensification in the agroecosystems.

Keywords: Ecological intensification, Land equivalent ratio, Replacement series, Sucrose



مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، ص ۱۶۸-۱۵۳

اثر ترکیب‌های کشت مخلوط سه‌گانه تأخیری چغندر قند (*Beta vulgaris* L.)، نخود (*Cicer arietinum* L.) و ماش (*Vigna radiata* L.) بر عملکرد و اجزای عملکرد

علیرضا کوچکی^{۱*}، مهدی نصیری محلاتی^۱، محمد حسن هاتفی فرجیان^۲ و مینا هوشمند^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۳

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۲/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۰۷

چکیده

در بوم‌نظام‌های کشاورزی، فشرده‌سازی پایدار به‌معنای بهبود خدمات بوم‌نظام، افزایش یا حفظ میزان تولید، همراه با کاهش نهاده‌ها مطرح شده است. کشت مخلوط از جمله نظام‌هایی هستند که از طریق بالا بردن تنوع و پیچیدگی افزایش پایداری سیستم را به دنبال خواهند داشت. بر این اساس، به‌منظور بررسی و مقایسه ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط تأخیری سه‌گونه زراعی چغندر قند (*Beta vulgaris* L.)، نخود (*Cicer arietinum* L.) و ماش (*Vigna radiata* L.) سری‌های جایگزینی بر عملکرد و اجزای عملکرد، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و شش تیمار انجام گرفت. به‌دلیل طولانی بودن دوره رشد چغندر قند دو گونه لگوم (نخود و ماش) به‌عنوان گیاه همراه در طول دوره رشد این گیاه کاشته شد. تیمارها شامل نسبت‌های مخلوط ۷۵ درصد چغندر قند + ۲۵ درصد لگوم (نخود و ماش)، ۵۰ درصد چغندر قند + ۵۰ درصد لگوم (ماش و نخود) و ۲۵ درصد چغندر قند + ۷۵ درصد لگوم (ماش و نخود) و کشت خالص نخود (C)، ماش (M) و چغندر قند (S) در سری‌های جایگزینی بود. تراکم مطلوب برای چغندر شش بوته در مترمربع و برای نخود و ماش ۲۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. صفات مورد مطالعه شامل اجزای عملکرد و عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در نخود و ماش و برای چغندر قند شامل عملکرد تر و خشک غده، عیار قند و عملکرد قند و نسبت برابری زمین بود. نتایج نشان داد که اثر ترکیب‌های کشت مخلوط بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک نخود و ماش معنی‌دار ($p \leq 0.05$) بود. همچنین در مورد صفات مورد مطالعه چغندر قند نیز به‌جز صفت وزن خشک غده که در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، سایر صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج نشان داد، بیشترین عملکرد دانه نخود مربوط به تیمار خالص (C) (با ۲۹۱۲ کیلوگرم در هکتار) بود و بالاترین عملکرد ماش را تیمار خالص (M) (با ۱۲۴۷/۸۳ کیلوگرم در هکتار) به خود اختصاص داد. همچنین در مورد عملکرد غده تر چغندر نیز بالاترین مقدار عملکرد را تیمار خالص (S) (با ۶۵۲۴۲ کیلوگرم در هکتار) دارا بود. ارزیابی نسبت برابری زمین نشان داد که بالاترین LER را نسبت ۷۵ درصد لگوم (نخود و ماش) و ۲۵ درصد چغندر قند به‌میزان ۱/۵۳ به خود اختصاص داد و کمترین آن را نسبت ۲۵ درصد لگوم (نخود و ماش) و ۷۵ درصد چغندر قند به‌میزان ۰/۶۱ دارا بود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از نظام کشت مخلوط چغندر قند با لگوم اثربخش بوده و به‌عنوان راهکار مناسبی در راستای تولید چغندر قند و لگوم نسبت به نظام‌های تک کشتی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سری جایگزینی، عیار قند، فشرده‌سازی اکولوژیک، نسبت برابری زمین

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

۲- دانشجوی دکتری بوم‌شناسی زراعی (آگرو اکولوژی)، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

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

مقدمه

فشرده‌سازی کشاورزی شیوه‌ای از تولید می‌باشد که در آن افزایش عملکرد محصول، با حداقل اثرات زیست محیطی منفی در بهره‌وری کشاورزی، با ادغام کردن مدیریت خدمات اکوسیستم از جمله تنوع زیستی به همراه است (Bommarco et al., 2013). جامعه باید تأمین‌کننده امنیت غذایی محلی و جهانی باشد، به‌طوری‌که موجود بودن غذا، دسترسی به غذا و پایداری در دریافت غذا سه عنصر اصلی در ایجاد امنیت غذایی می‌باشند (Seyedhamzeh & Damari, 2017). برای حمایت از دسترسی به غذا، در دهه‌های گذشته تولید محصولات کشاورزی با کنار گذاشتن روش‌های سنتی و بدون توجه به خدمات اکوسیستم و جایگزین کردن آن‌ها با نهاده‌های خارجی افزایش یافته است. گرچه این رویکرد تاکنون برای رفع نیازهای جهانی به‌ویژه غذا موفق بوده است، اما هزینه‌های زیستی محیطی را کاهش داده است. از جمله اثراتی که مصرف بی‌رویه نهاده‌ها بر محیط زیست گذاشته‌اند، شامل آلودگی آب، برهم زدن تعادل چرخه‌های طبیعی و هیدرولوژیکی زمین بوده که سبب بروز تغییر اقلیم، تخریب اکوسیستم‌های آبی و مشکلاتی برای سلامتی انسان شده است (Bommarco et al., 2018). پیش‌بینی شده است که تا اواسط قرن ۲۱، جمعیت جهان به بیش از نه میلیارد نفر می‌رسد که همچنان نیز رشد خواهد داشت. برای تأمین نیازهای کالری و پروتئین این جمعیت، بایستی تولید دو برابر شود که دستیابی به این هدف محدودیت‌های محیط زیستی بی‌سابقه‌ای را به دنبال دارد. در حالت ایده‌آل این چالش می‌تواند از طریق فشرده‌سازی پایدار ضمن بهبود بهره‌وری و حفظ خدمات اکوسیستم فراهم شود (Martin-Guay, 2018).

امروزه الگوی تولید محصولات زراعی به‌تدریج از اصول اکولوژیک به سمت دیدگاه‌های اقتصادی پیش رفته که این امر نه تنها مخاطرات زیادی را از جمله تخریب منابع طبیعی و تغییر کاربری زمین را سبب شده، بلکه کاهش کارایی مصرف نهاده‌ها را به دنبال داشته است (Koocheki et al., 2016b). روش‌های مختلفی برای دستیابی به پایداری در نظام‌های تولید وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان کشاورزی حفاظتی، تنوع زیستی، گیاهان پوششی، جنگل زراعی، استفاده از مالچ، استفاده صحیح از کودها و مواد آلی، مدیریت یکپارچه مواد مغذی، مدیریت تلفیقی آفات و بیماری‌ها و کشت

مخلوط با حبوبات نام برد (Raseduzzaman, 2016). سیستم‌های کشت مخلوط در راستای بهره‌گیری از اصول کشاورزی اکولوژیک از روش‌های بسیار مناسب با حداقل اثرات سوء بر محیط زیست می‌باشند. در این بین انتخاب گونه‌هایی با نیازها و قدرت رقابتی متفاوت حائز اهمیت است و کشت گونه‌های بقولات با غیر بقولات یکی از روش‌های بالقوه کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی از جمله نیتروژن می‌باشد (Koocheki et al., 2016a).

کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2017) بررسی کشت مخلوط تأخیری گندم زمستانه (*Triticum aestivum* L.) و چغندر قند نشان داده شد که استفاده از مخلوط‌های تأخیری راهکار مناسبی برای استفاده بهتر از منابع نیتروژن و افزایش عملکرد در مقایسه با کشت متوالی گونه‌های پاییزه و بهاره می‌باشد. در پژوهشی روی کشت مخلوط ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.) و سویا (*Glycine max* L.) نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد دانه ارزن در نسبت‌های (۶۷ درصد سویا: ۳۳ درصد ارزن) و (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد) به‌دست آمد و بیشترین عملکرد دانه سویا نیز در نسبت ۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن مشاهده شد (Hajinia, et al., 2018). نتایج تحقیق مبصر و همکاران (Mobasser et al., 2018) در کشت مخلوط جایگزینی ذرت (*Zea mays* L.) و سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) نشان داد بالاترین میزان عملکرد دانه ذرت در تیمار کشت جایگزینی دو ردیف ذرت + یک ردیف سیب‌زمینی مشاهده شد.

نتایج پژوهشی بر روی کشت مخلوط سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)، نخود و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) نشان داد که نسبت برابری زمین بیش از یک بود و این برتری کشت مخلوط را نسبت به تک‌کشتی نشان می‌دهد (Koocheki et al., 2014). محققین در بررسی روی کشت مخلوط چای ترش (*Hibiscus sabdariffa*) و ماش اعلام نمودند که نسبت برابری زمین بالاتر از یک (۱/۳۶) به‌دست آمد. همچنین اهمیت کشت مخلوط لگوم و گیاه دارویی در استفاده بهینه از منابع طبیعی، افزایش حاصلخیزی خاک و سودمندی بیشتر آن را نسبت به کشت خالص چای ترش و ماش تأیید کردند (Hodiani Mehr et al., 2017). با توجه به نیاز بالای چغندر قند به نیتروژن، به نظر می‌رسد کشت مخلوط این گیاه با لگوم‌ها می‌تواند نقش مهمی در تأمین نیاز به نیتروژن این گیاه ایفا نماید. همچنین

دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کشت خالص گیاهان زراعی چغندرقد (S)، نخود (C) و ماش (M) و سری‌های جایگزینی با نسبت‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد کشت مخلوط چغندرقد با سایر گیاهان (لگوم‌ها) بود.

زمین مورد استفاده در سال قبل از اجرای آزمایش تحت آیش قرار داشت. به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از اجرای آزمایش نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک انجام شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ نشان داده شده است.

به‌دلیل طولانی بودن دوره رشد این گیاه، دو لگوم زمستانه و بهاره به‌ترتیب که شامل نخود و ماش بود را در طول دوره رشد این گیاه کاشته شد تا حد امکان گیاه با کمبود نیتروژن مواجه نشود. در این مطالعه، رشد و عملکرد چغندرقد در سری‌های جایگزینی با بقولات متفاوت بسته به نوع گونه لگوم در فصل رشد مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس، این مطالعه با هدف بررسی اثر کشت مخلوط تأخیری نخود و ماش با چغندرقد بر عملکرد و اجزای عملکرد و نسبت برابری زمین در شرایط آب و هوایی مشهد اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)
Table 1- Soil physical and chemical characteristics of the experiment field (0-30 cm depth)

بافت Texture	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	کربن آلی Organic C (%)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل دسترس Available P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم قابل دسترس Available K (mg.kg ⁻¹)
لوم سیلتی Silty loam	1.70	7.65	0.65	0.068	47.1	356

از بذر چغندرقد رقم بریجیتا، ماش سبز توده گنبد کاووس و نخود کرمانشاهی استفاده شد. کاشت نخود و چغندرقد بر روی ردیف‌های کاشت جدا، هم‌زمان در ۲۰ اسفند و کاشت ماش در پنج مرداد ماه به‌صورت دستی انجام گرفت. پس از کاشت به‌منظور سهولت در جوانه‌زنی و سبز شدن بذرها بلافاصله آبیاری شد و پس از سبز شدن، دور آبیاری هر هفت روز به‌صورت نشتی انجام شد. در مرحله چهار برگی، نخود و ماش با تراکم مطلوب ۲۰ بوته در مترمربع (Koocheki et al., 2016) و چغندرقد با تراکم شش بوته در مترمربع تنک شدند. وجین علف‌های هرز بنا به ضرورت در طول فصل رشد در سه نوبت انجام گرفت بدین‌گونه که در اواخر زمستان هم‌زمان با کشت چغندرقد، نخود گونه همراه بود و پس از رسیدن و برداشت نخود در انتهای فصل رشد در تیرماه، ماش به‌عنوان لگومی گرمادوست و تابستانه، جایگزین شد. در پایان فصل رشد، خصوصیات رشدی و اجزای عملکرد ماش شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه و برای نخود نیز شامل ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد غلاف پوک در بوته،

به‌دلیل طولانی‌تر بودن دوره رشد چغندرقد نسبت به دو گیاه دیگر، در تیمارهای مخلوط، چغندرقد با نسبت‌های بیان شده به‌صورت هم‌زمان با نخود کشت شد. پس از برداشت محصول نخود و جمع‌آوری بوته‌ها، ماش به‌صورت تأخیری کشت و جایگزین نخود شد و بنابراین نسبت‌های کشت قبلی برای ماش نیز حفظ شد. بر این اساس، تیمارهای کشت مخلوط شامل کشت هم‌زمان چغندرقد و نخود به‌صورت 25S:75C، 50S:50C و 75S:25C و همچنین کشت تأخیری چغندرقد با ماش به‌صورت 25S:75M، 50S:50M و 75S:25M بود. تیمارهای کشت مخلوط برای نسبت برابری زمین 25%S+75%L، 50%S+50%L و 75%S+25%L در نظر گرفته شد. عملیات آماده‌سازی زمین و تهیه بستر کاشت با استفاده از گاواهن برگردان‌دار و دو بار دیسک عمود بر هم در اسفند ماه انجام شد. سپس با استفاده از فاروئر، ردیف‌های کشت به عرض ۵۰ سانتی‌متر ایجاد شد. ابعاد کرت‌ها ۳/۵×۳ متر و در داخل هر کرت شش ردیف کاشت در نظر گرفته شد. فاصله کرت‌ها از یکدیگر و فاصله بلوک‌ها از یکدیگر یک متر در نظر گرفته شد. در این پژوهش

استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد نخود

نتایج تجزیه واریانس نخود نشان داد که اثر ترکیب‌های مختلف کاشت مخلوط با چغندر قند بر ارتفاع بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود و در صفات تعداد غلاف در بوته، تعداد غلاف پوک در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته، وزن دانه در بوته، وزن ۱۰۰ دانه نخود در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۲). همچنین صفات تعداد شاخه جانبی و شاخص برداشت نخود تحت تأثیر معنی‌دار نسبت‌های کشت مخلوط با چغندر قند قرار نگرفتند (جدول ۲).

ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته و تعداد غلاف پوک در بوته نخود

نتایج مقایسه میانگین اثر ترکیب‌های مختلف کاشت مخلوط با چغندر قند از نظر ارتفاع بوته نخود نشان داد که بالاترین و کمترین ارتفاع بوته به ترتیب مربوط به تیمار C50S50 و خالص نخود (C) (به ترتیب با ۵۵/۵ و ۴۸/۷ سانتی‌متر) می‌باشد (جدول ۳). همچنین بین تیمار C25S75 با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج پژوهشی بر روی جو و نخود نشان داد که ارتفاع بوته نخود در کشت مخلوط بالاتر از کشت خالص بود که علت این امر به دلیل رقابت گیاهان بر سر جذب نور در نتیجه افزایش سرمایه‌گذاری گیاهان برای بهبود ارتفاع بوته است (Hamzei et al., 2013). سیدی و همکاران (Seyedi et al., 2012) با بررسی کشت مخلوط نخود با جو اعلام نمودند که ارتفاع بوته در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بیشتر بوده است که دلیل این امر رقابت دو گونه برای دریافت نور ذکر شده است. بالاترین تعداد غلاف در بوته مربوط به تیمارهای C50S50 (به میزان ۶۷/۷۵ غلاف در بوته) و C25S75 (با ۷۳/۶۲ غلاف در بوته) بود که با تیمار خالص (C) و C75S25 اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۳).

تعداد دانه در بوته، وزن دانه در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه از میانگین پنج بوته که به صورت تصادفی انتخاب شده به دست آمد. برداشت نخود در اول مرداد، ماش در اوایل مهر ماه و چغندر قند در ۳۰ آبان ماه انجام شد. عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک از سطح یک مترمربع با رعایت اثر حاشیه‌ای برداشت و در هوای آزاد نمونه‌ها جداگانه خشک شد. پس از خشک شدن بوته‌ها توزین و عملکرد بیولوژیک تعیین شد. سپس وزن دانه‌ها اندازه‌گیری و عملکرد دانه برآورد گردید. برداشت چغندر قند در انتهای آبان ماه از سطح یک مترمربع با رعایت اثر حاشیه‌ای از داخل هر کرت انجام گرفت. پس از برداشت، غده‌های چغندر قند برگ‌زنی شدند و اندام‌های هوایی در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و سپس وزن خشک تعیین گردید. برای به دست آوردن طول غده بعد از برداشت قسمتی از غده‌ها که در قسمت بیرونی زمین واقع شده بودند، نادیده گرفته شد و اندازه‌گیری از محل زیر طوقه تا انتهای ریشه انجام گرفت؛ برای این کار از هر کرت چند نمونه به صورت تصادفی انتخاب و با استفاده از خط کش طول غده‌ها اندازه‌گیری شد. سپس غده‌های هر کرت جداگانه توزین شد تا وزن غده‌تر محاسبه شود. سپس غده‌ها خرد شده و داخل آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت گذاشته شدند تا وزن خشک آن‌ها به دست آید. اندازه‌گیری عیار قند با استفاده از دستگاه Betalyzer در آزمایشگاه صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. لازم به ذکر است که عملکرد برای نخود و ماش دانه و برای چغندر قند وزن تر غده در نظر گرفته شد.

برای ارزیابی کشت مخلوط چغندر قند، نخود و ماش در مقایسه با کشت خالص گونه‌ها شاخص نسبت برابری زمین (LER) از معادله ۱ محاسبه شد. (Gliessman, 1997).

$$\text{معادله (۱)} \quad \text{LER} = (Y_1/B_1) + (Y_2/B_2) + (Y_3/B_3)$$

که در آن، Y_1 ، Y_2 و Y_3 : به ترتیب عملکرد گونه‌های نخود، ماش و چغندر قند در کشت مخلوط و B_1 ، B_2 و B_3 : نیز عملکرد گونه‌های نخود، ماش و چغندر قند در کشت خالص است.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم شکل‌ها به ترتیب از نرم افزارهای SAS ver.9.2 و MS Excel و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن (DMRT) در سطح احتمال پنج درصد

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد نخود و ماش در نسبت‌های کشت مخلوط تأخیری با چغندر قند
Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for yield and yield components of chickpea and mung bean as affected by relay intercropping ratios with sugar beet

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی No. of branches per plant	تعداد گل‌اف بوته No. of pods per plant	تعداد گل‌اف پوک No. of hollow pod per plant	تعداد غل‌اف در No. of seeds per pod	تعداد دانه در بوته No. of seeds per plant	وزن دانه ۱۰۰ دانه 100-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest Index
بلوک Block	2	14.06 ^{ns}	0.024 ^{ns}	21.15 ^{ns}	1.56 ^{ns}	0.022 [*]	22.36 ^{ns}	24.55 ^{ns}	1034.86 ^{ns}	360820.31 ^{ns}	21.43 ^{ns}
تیمار Treatment	3	38.12 [*]	0.42 ^{ns}	887.02 ^{**}	65.37 ^{**}	0.032 ^{**}	507.66 ^{**}	1449.34 ^{**}	1683549.47 ^{**}	13627929.69 ^{**}	44.79 ^{ns}
خطا Error	6	7.35	0.024	38.56	8.68	0.003	36.42	1030.84 ^{**}	138587.48	308945.31	23.20
ضریب تغییرات CV (%)		5.26	4.86	11.08	19.98	4.68	12.35	13	20.12	10.51	13.65
بلوک Block	2	137.85 [*]	0.43 ^{ns}	120.25 ^{ns}	-	0.676 ^{ns}	-	0.125 ^{ns}	3854.07 ^{ns}	3715833 ^{ns}	36.26 ^{ns}
تیمار Treatment	3	158.41 ^{**}	3.86 ^{**}	232.41 [*]	-	18.75 ^{**}	-	0.397 ^{**}	643359.71 ^{**}	29007431 ^{**}	5.911 ^{ns}
خطا Error	6	13.84	0.298	47.13	-	1.184	-	0.080	6452.91	1046388.9	3
ضریب تغییرات CV (%)		9.47	16.81	36.86	-	10.23	-	4.88	10.19	20.44	10.32

ns، * و **: غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد
ns, * and **: are non-significant and significant at 5 and 1 probability percent, respectively.

کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014) با بررسی کشت مخلوط سیاهدانه، نخود و لوبیا بیان کردند که تعداد غلاف در بوته در تمامی گیاهان در کشت مخلوط بالاتر از کشت خالص بود. در بررسی دیگری بر روی کشت مخلوط لوبیا با آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) اعلام شد که تعداد غلاف در بوته لوبیا در کشت مخلوط بالاتر از خالص بود (Hamzei & Babaei, 2016). نصراله‌زاده اصل و همکاران (Nasrollahzadeh Asl et al., 2012) نیز بیان کردند که بیشترین تعداد غلاف در بوته لوبیا در کشت مخلوط با آفتابگردان مربوط به تیمارهای مخلوط بود. از نظر تعداد غلاف پوک در بوته نیز بالاترین تعداد غلاف پوک مربوط به تیمار C25S75 بوده و کمترین آن مربوط به تیمار C75S25 بود. تعداد دانه در غلاف

نیز مشابه تعداد غلاف پوک در بوته نتایج مشابهی داشت؛ به‌طوری‌که بالاترین و کمترین آن به‌ترتیب مربوط به تیمار C25S75 و C75S25 که به‌ترتیب به‌میزان ۱/۳۷ و ۱/۲۵ دانه در بوته بود (جدول ۳). تعداد دانه در غلاف، بیانگر ظرفیت مخزن گیاه بوده و هر چه تعداد دانه بیشتر باشد، گیاه دارای مخزن بزرگ‌تری برای دریافت مواد فتوسنتزی است که در نهایت، افزایش این صفت موجب افزایش عملکرد دانه خواهد شد (Rezaei-Chiyaneh & Gholinezhad, 2015). کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2009) در بررسی بر روی کشت مخلوط لوبیا و ذرت بیان کردند با کاهش نسبت لوبیا در مخلوط، تعداد دانه در غلاف از چهار به یک کاهش یافت.

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد نخود و ماش تحت تأثیر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط جایگزینی با چغندر قند
Table 3- Mean comparison by for the yield and yield components of chickpea and mung bean as affected different intercropping ratios replacement with sugar beet

تیمارهای کشت مخلوط Intercropping treatments	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه جانبی No. of branches per plant	تعداد غلاف در بوته No. of pods per plant	تعداد غلاف پوک در بوته No. of hollow pods per plant	تعداد دانه در غلاف No. of seeds per pod	تعداد دانه در بوته No. of seeds per plant	وزن دانه در بوته Seed weight (g.plant ⁻¹)	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight (g)
C25+S75	53.5 ^{ab*}	-	73.6 ^a	20 ^a	1.3 ^a	61.3 ^a	58.4 ^a	93.3 ^a
C50+S50	55.5 ^a	-	67.7 ^a	17.2 ^{ab}	1.3 ^{ab}	58.7 ^a	32.8 ^b	58.6 ^b
C75+S25	48.2 ^b	-	39 ^b	10 ^c	1.1 ^c	37 ^b	14.2 ^c	42.9 ^c
C	48.7 ^b	-	43.7 ^b	11.7 ^{bc}	1.2 ^b	38.2 ^b	27.2 ^b	52.4 ^b
M25+S75	28.6 ^b	1.6 ^b	5.5 ^b	-	6.8 ^b	-	-	5.6 ^b
M50+S50	42.5 ^a	3.6 ^a	23.8 ^a	-	11.8 ^a	-	-	6.3 ^a
M75+S25	40.9 ^a	3.3 ^a	21.6 ^a	-	12 ^a	-	-	5.5 ^b
M	45 ^a	4.3 ^a	23.5 ^a	-	11.7 ^a	-	-	5.7 ^b

C, M, and S: به‌ترتیب نشان‌دهنده نخود، ماش و چغندر قند می‌باشد.

C, M, and S: are chickpea, mung bean, and sugar beet, respectively.

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

* Means with the same letter(s) in each column and for each component have no significant difference at 5% probability level based on Duncan's test.

تعداد دانه در بوته، وزن دانه در بوته و وزن ۱۰۰ دانه نخود

نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین تعداد دانه در بوته، وزن دانه در بوته و وزن ۱۰۰ دانه در تیمار C25S75 و کمترین آن در این صفات در تیمار C75S25 مشاهده شد. هرچند از نظر صفت تعداد دانه در بوته بین تیمارهای C25S75 و C50S50 اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، اما این دو تیمار با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشتند. همچنین بین تمامی تیمارها از نظر وزن دانه در بوته نیز

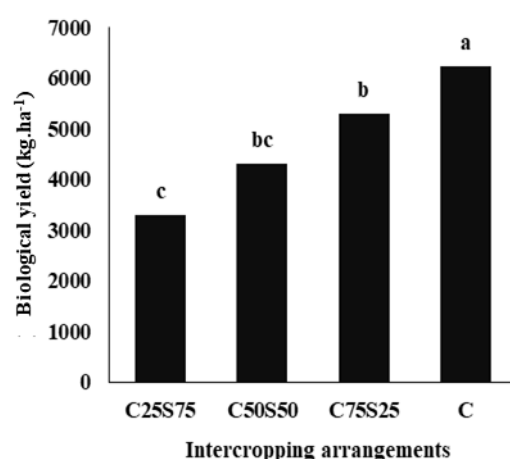
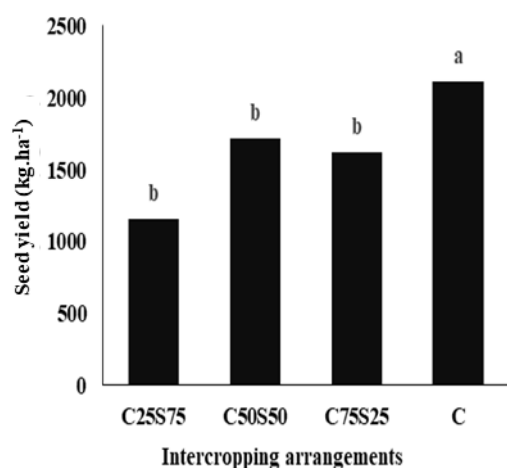
اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. در صفت وزن ۱۰۰ دانه بین تیمار C25S75 اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشتند، ولی بین تیمار C50S50 و کشت خالص (C) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، ولی با تیمار C75S25 اختلاف داشتند (جدول ۳). قلعه‌نویی و همکاران (Ghale Noyee et al., 2017). محققین در پژوهشی بیان کردند تعداد و وزن دانه در بوته تابع تعداد و وزن غلاف در بوته و همچنین تعداد و وزن دانه در غلاف می‌باشد، بنابراین تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف سبب تغییرات مشابهی در تعداد و وزن دانه در

عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به تیمار خالص (C) (به‌میزان ۲۱۱۲ کیلوگرم در هکتار) و تیمار C25S75 (به‌میزان ۱۱۵۴/۶ کیلوگرم در هکتار) بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت، درحالی‌که سایر تیمارها باهم از نظر عملکرد دانه اختلافی مشاهده نشد (شکل ۱). نتایج مربوط به عملکرد بیولوژیک در شکل ۱ نشان داده شده و بیانگر این موضوع است که مشابه نتایج عملکرد دانه، بیشترین عملکرد بیولوژیک مربوط به تیمار خالص (C) (به‌میزان ۶۳۳۷/۵ کیلوگرم در هکتار) بود و کمترین میزان به تیمار C25S75 (به‌میزان ۳۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) اختصاص داشت (شکل ۱).

بوته می‌شود. قلعه‌نویی و همکاران. در آزمایشی بر روی کشت مخلوط کنجد و لوبیا بیان داشتند که بالاترین تعداد دانه در بوته ۶۱/۸۳ دانه بود. پور امیر و همکاران (Pooramir et al., 2010) در پژوهشی بر روی کنجد و نخود گزارش کردند، بالاترین وزن هزار دانه نخود در بین تیمارهای آزمایش، برای تیمار ۱۰ درصد نخود + ۱۰۰ درصد کنجد مشاهده شد.

عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک نخود

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که بین تیمارها از نظر عملکرد دانه اختلاف معنی‌داری وجود دارد که بیشترین و کمترین



شکل ۱- مقایسه میانگین عملکرد دانه و بیولوژیک نخود تحت تأثیر ترکیب‌های کشت مخلوط جایگزینی با چغندر قند

Fig. 1- Mean comparison for seed yield and biological yield of chickpea affected as intercropping arrangements replacement with sugar beet

C و S: به‌ترتیب نشان‌دهنده نخود و چغندر قند می‌باشد.

C and S: are chickpea and sugar beet, respectively.

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

Means with the same letter(s) in each figure have no significant difference at 5% probability level based on Duncan's test

نخود با گندم انجام دادند نشان داد حداکثر عملکرد دانه نخود در تیمار خالص به‌دست آمد و علت کاهش عملکرد دانه در تیمار مخلوط را رقابت شدید گندم با نخود بیان کرد.

عملکرد و اجزای عملکرد ماش

نتایج تجزیه واریانس داده‌های ماش نشان داد، اثر ترکیب‌های مختلف کاشت بر صفات ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه و عملکرد

نتایج آزمایش کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2016b) نیز نشان داد که بالاترین عملکرد دانه و بیولوژیک لوبیا در کشت مخلوط با کنجد و آفتابگردان در کشت خالص به‌دست آمد. در پژوهشی دیگر بر روی کشت مخلوط جو با حبوبات اعلام شد که بیشترین میزان عملکرد دانه در تیمار خالص برای نخود به‌دست آمد که دلیل آن به بالاتر بودن تراکم کشت هر یک از گیاهان در تک‌کشتی‌ها نسبت داده شد. اظهارات مشهودی و همکاران (Mashhadi et al., 2015) در بررسی که بر روی کشت مخلوط

بیولوژیک معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود (جدول ۲).

ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف ماش

مقایسه میانگین‌ها نشان داد بین الگوهای مختلف کشت مخلوط با چغندر قند از نظر صفات ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف ماش اختلاف معنی‌داری مشاهده شد به طوری که تیمار M25S75 در تمامی صفات کمترین مقدار را دارا بود و با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت، در حالی که بین سایر تیمارهای مخلوط اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بالاترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار خالص به‌میزان ۴۵ سانتی‌متر و کمترین آن ۲۸/۶۶ سانتی‌متر بود. بیشترین و کمترین تعداد شاخه جانبی به‌ترتیب ۴/۳۳ و ۱/۶۶ شاخه در تیمار خالص و تیمار M25S75 مشاهده شد (جدول ۳). نتایج پژوهشی نشان داد که تعداد شاخه جانبی نخود در کشت مخلوط با جو، در تیمارهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص کاهش یافت که دلیل این امر را کاهش منابع محیطی در دسترس گیاهان و از طرفی افزایش رقابت درون گونه‌ای و بین گونه‌ای مربوط دانستند (Seyedi et al., 2012). روند مشابهی در تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف نیز مشاهده شد، به‌نحوی که بیشترین تعداد غلاف در بوته به‌میزان ۲۳/۸۰ در تیمار M50S50 و کمترین مقدار آن را تیمار M25S75 با ۵/۵۰ به خود اختصاص داد که البته تیمار M25S75 با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار نداشته و سایر تیمارها باهم اختلافی نداشتند. تعداد دانه در غلاف در تیمار M75S25 بالاترین مقدار (به‌میزان ۱۲ دانه) را داشت که تنها با تیمار M25S75 اختلاف معنی‌دار داشت. کمترین تعداد دانه در غلاف مربوط به تیمار M25S75 (به‌میزان ۶/۸۸ دانه) بود.

وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک ماش

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بین الگوهای مختلف کشت مخلوط با چغندر قند از نظر وزن ۱۰۰ دانه ماش تفاوت معنی‌داری وجود دارد، به طوری که بالاترین و کمترین وزن ۱۰۰ دانه به‌ترتیب در تیمار M50S50 (به‌میزان ۶/۳۳ گرم) و تیمار M75S25 (به‌میزان ۵/۵۰ گرم) مشاهده شد. همچنین بین تیمار M50S50 با سایر تیمارهای مخلوط اختلاف معنی‌داری وجود دارد، ولی بین سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). در پژوهشی محققین بیان نمودند که بالاترین میزان عملکرد دانه در تیمار خالص ماش به‌میزان ۹۸۳/۹۸ کیلوگرم در هکتار در کشت مخلوط آفتابگردان و ماش مشاهده شد (Anas et al., 2017). نتایج این محققین

همچنین نشان داد که بالاترین میزان وزن هزار دانه (۴۴/۸۸ گرم) در تیمار خالص مشاهده شد. میرشکاری (Mirshekari, 2016) نیز اعلام نمود بیشترین میزان عملکرد دانه ماش در کشت مخلوط با همیشه‌بهار در تیمار خالص مشاهده شد.

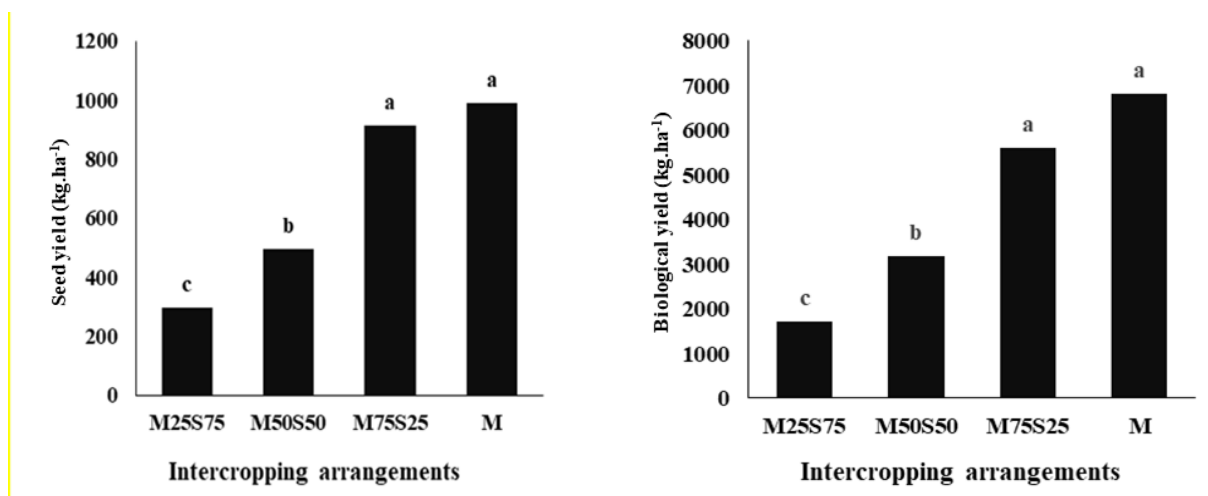
همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، عملکرد دانه تحت تأثیر الگوهای کشت مخلوط قرار گرفته، به‌نحوی که بین تیمارها اختلاف معنی‌داری به‌وجود آمده و بالاترین میزان عملکرد ماش را تیمار خالص (M) (به‌میزان ۹۸۷/۸۳ کیلوگرم در هکتار) به خود اختصاص داده که با تیمار M75S25 اختلاف معنی‌داری نداشت، ولی این دو تیمار با سایر تیمارها اختلاف دارند. کمترین عملکرد دانه مربوط به تیمار M25S75 (به‌میزان ۲۹۷/۸۰ کیلوگرم در هکتار) می‌باشد (شکل ۲). نتایج مربوط به عملکرد بیولوژیک نیز نشان داد که بالاترین عملکرد بیولوژیک مربوط به تیمار خالص (M) (۶۸۱۶/۷ کیلوگرم در هکتار) و پس از آن تیمار M75S25 (به‌میزان ۵۶۰۰ کیلوگرم در هکتار) به خود اختصاص داده و کمترین عملکرد بیولوژیک را تیمار M25S75 (به‌میزان ۱۷۱۶/۷ کیلوگرم در هکتار) دارا بود (شکل ۲).

در آزمایشی دیگر نیز بالاترین میزان عملکرد دانه ماش (۱۶۷۶ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد بیولوژیک (۵۲۷۴ کیلوگرم در هکتار) در تیمار خالص ماش مشاهده شد (Koocheki et al., 2016a) که با نتایج پیش رو هم‌خوانی دارد.

عملکرد و اجزای عملکرد چغندر قند: تجزیه واریانس نشان

داد اثر ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط تأخیری با دو گیاه نخود و ماش بر صفات طول غده، عملکرد غده، عیار قند، عملکرد قند و وزن خشک اندام‌های هوایی چغندر قند در سطح احتمال یک درصد و تنها وزن خشک غده در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

مقایسه میانگین اثر ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط جایگزینی با ماش و نخود بر عملکرد و اجزای عملکرد چغندر قند در شکل ۳ و جدول ۵ نشان داده شده است.



شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد دانه و بیولوژیک ماش تحت تأثیر ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط جایگزینی با چغندر قند
Fig. 2- Mean comparisons for yield seed and biological yield of mung bean affected as intercropping arrangements replacement with sugar beet

M و S: به ترتیب نشان‌دهنده ماش و چغندر قند می‌باشد.

M and S: are mung bean and sugar beet, respectively.

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

Means with the same letter(s) in each figure have no significant difference at 5% probability level based on Duncan's test.

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد چغندر قند تحت تأثیر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط با نخود و ماش
Table 4- Analysis of variance (mean of squares) for yield and yield components of sugar beet as affected by intercropping ratios with chickpea and mung bean

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	طول غده Root height	وزن تر غده Fresh root yield	وزن خشک غده Dry root yield	وزن خشک اندام‌های هوایی Shoot dry weight	عیار قند Sucrose	عملکرد قند Sucrose yield
بلوک Block	2	2.64 ^{ns}	67895677*	316206.67**	34427.08 ^{ns}	0.152 ^{ns}	2245408.6*
نسبت‌های کشت مخلوط با لگوم Intercropping ratios with legume	3	38.05**	5013037135**	137926.4*	23248750**	13.46**	203689558**
خطا Error	6	3.15	8746927	24525.53	367343.75	0.132	283735.7
ضریب تغییرات CV (%)		5.38	3.83	8	9	2.26	4.95

عملکرد بیشتری را در کشت خالص نسبت به ترکیب‌های مخلوط داشته باشد

نتایج مقایسه میانگین ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط چغندر قند با لگوم‌ها نشان داد که تمامی ترکیب‌های کشت مخلوط با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشته‌اند (جدول ۵ و شکل ۳). بالاترین و کمترین مقدار عملکرد تر غده به ترتیب در تیمار خالص (S) (به میزان ۶۵۲۴۲ کیلوگرم در هکتار) و تیمار 25S75L (به میزان ۳۴۲۵۸ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. در واقع به نظر می‌رسد که رقابت بین گونه‌ای بر درون گونه‌ای غلبه کرده است و گیاه چغندر قند توانسته

جدول ۵- مقایسه میانگین طول غده و وزن خشک اندام‌های چغندر قند در نسبت‌های کشت مخلوط با نخود و ماش

Table 5- Mean comparisons for length root and shoot dry weight of sugar beet affected as intercropping ratios with chickpea and mung bean

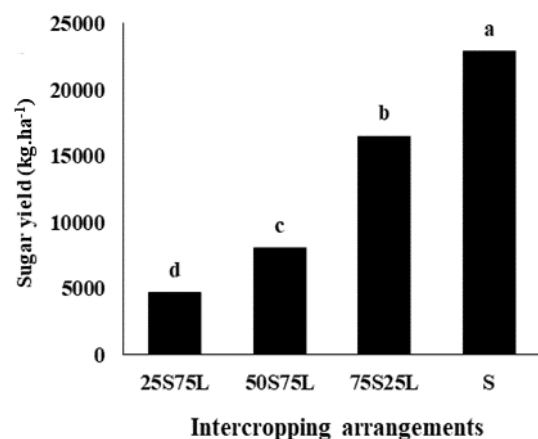
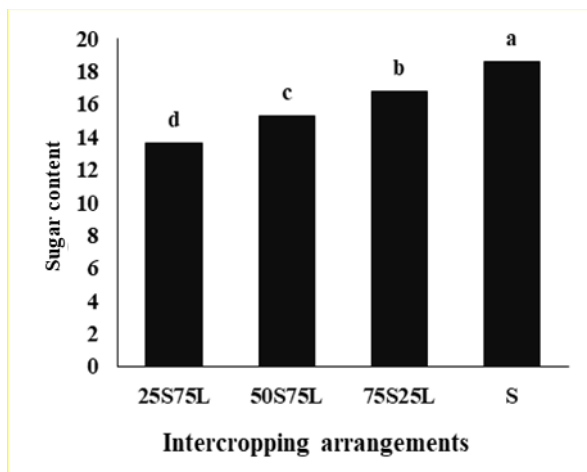
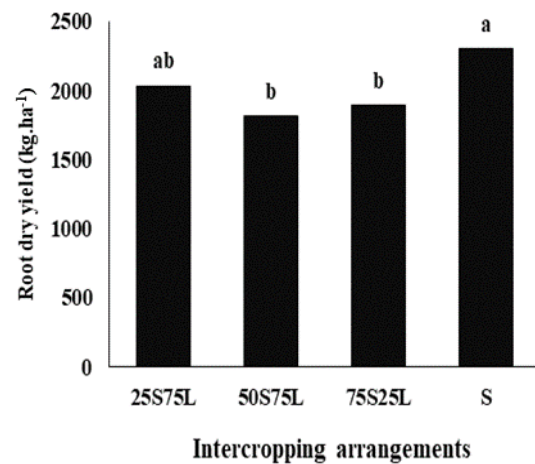
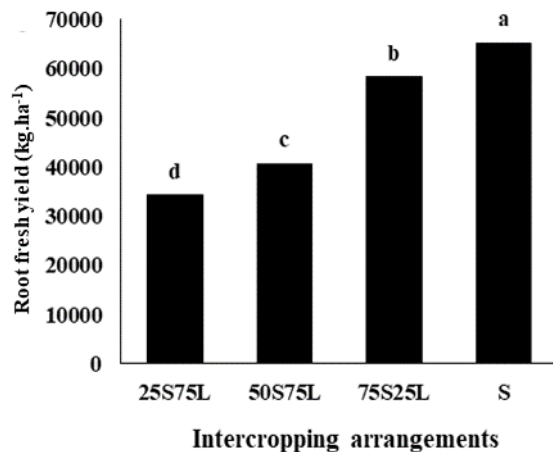
نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios	طول غده Root length (cm)	وزن خشک اندام‌های هوایی Shoots dry weight (kg.ha ⁻¹)
25S+75L	37.010 ^{a*}	4916.7 ^c
50S+50L	28.36 ^c	4491.7 ^c
75S+25L	33.02 ^b	7416.7 ^b
S	33.66 ^{ab}	10541.7 ^a

L و S: به ترتیب نشان‌دهنده لگوم و چغندر قند می‌باشد.

L and S: are legume and sugar beet, respectively.

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

* Means with the same letter(s) in each column have not significant difference at 5% probability level based on Duncan's test



شکل ۳- مقایسه میانگین عملکرد تر و خشک غده، عملکرد قند و عیار قند چغندر قند تحت تیمارهای کشت مخلوط با نخود و ماش

Fig. 3- Mean comparisons for fresh root yield, dry root yield, sugar yield, and sugar content of sugar beet affected as intercropping treatments with chickpea and mung bean

L و S: به ترتیب نشان‌دهنده لگوم و چغندر قند می‌باشد.

L and S: are legume and sugar beet, respectively.

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

Means with the same letter(s) in each figure have no significant difference at 5% probability level based on Duncan's test

نظر می‌رسد با توجه به اینکه فتوسنتز و در نهایت، ساخت کربوهیدرات در اندام‌های هوایی انجام می‌پذیرد، بنابراین هر چه فضا بازتر و شرایط برای چغندر قند مساعدتر باشد، برگ‌ها در شرایط بهتری قرار می‌گیرند و با افزایش نسبت لگوم‌ها در کشت مخلوط، شرایط به دلیل رقابت و سایه‌اندازی برای بوته‌های چغندر قند نامناسب می‌شود که کاهش عیار قند را موجب شده است. با توجه به اینکه درصد قند از تفاضل قند موجود در غده و قند ملاس به وجود می‌آید، تمامی عوامل مؤثر بر روی این فاکتورها بر عیار قند نیز مؤثر هستند. از آنجایی که در کشت خالص به خاطر پوشش کامل سطح خاک محتوی رطوبتی حفظ شده و از تنش رطوبتی نسبت به سایر تیمارهای مخلوط جلوگیری می‌شود، بنابراین می‌توان اظهار داشت که بالاترین میزان عیار قند در تیمار خالص به این دلیل می‌باشد. همچنین در کشت خالص به دلیل نبود رقابت بین گونه‌ای این صفت افزایش داشته است. از نظر عملکرد قند نیز بالاترین مقدار آن مربوط به تیمار خالص (S) به میزان ۲۲۸۶۸ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار آن در تیمار 50S50L (به میزان ۸۰۳۸ کیلوگرم) مشاهده شد. سالاما و همکاران (Salama et al., 2016) در بررسی دوساله‌ای بر روی کشت مخلوط چغندر قند با گندم، جو (*Hordeum vulgare* L.) و باقلا (*Vicia faba* L.) اعلام نمودند، بالاترین میزان عملکرد قند در تیمار خالص به میزان به ترتیب در دو سال زراعی ۷۳۴۰ و ۷۴۱۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد.

نتایج مقایسه میانگین ترکیب‌های کشت مخلوط چغندر قند با لگوم (نخود و ماش) نشان داد که طول غده در تیمار L 25S75 (۲۵ درصد چغندر قند + ۷۵ درصد لگوم (نخود و ماش) بالاترین مقدار (۳۷/۰۱ سانتی‌متر) را داشت که با تیمار کشت خالص اختلاف معنی‌داری نداشته و کمترین میزان طول غده را تیمار 50S50L (۲۸/۳۶ سانتی‌متر) را به خود اختصاص داده‌اند. نتایج نشان داد بالاترین میزان وزن خشک اندام هوایی در تیمار خالص (S) به میزان ۱۰۵۴۱/۴ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت و کمترین میزان وزن خشک اندام هوایی در تیمار 50S50L به میزان ۴۴۹۱/۷ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که تنها با تیمار 25S75L اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۵).

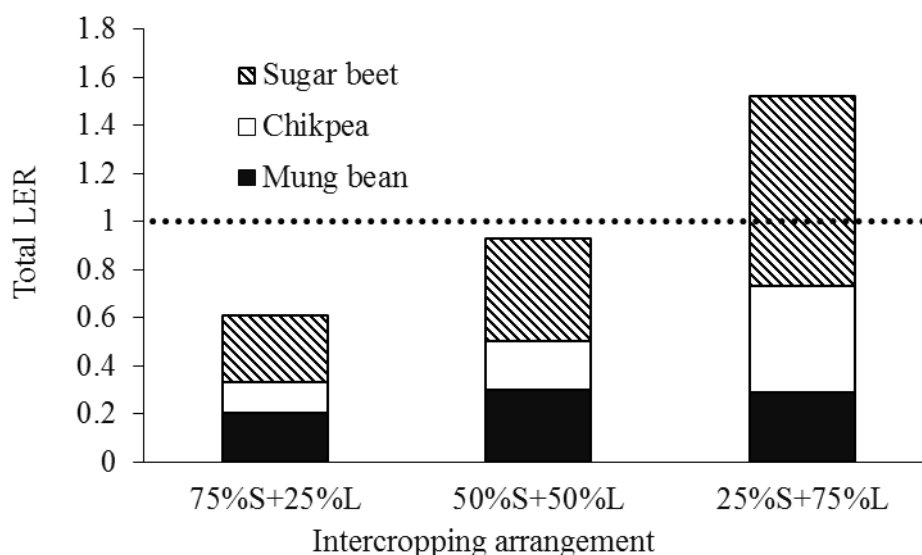
کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2017) در آزمایشی بر روی کشت مخلوط تأخیری چغندر و گندم بیان کردند، بیشترین عملکرد غده در کشت خالص چغندر قند (به میزان ۶۶ تن در هکتار) و کمترین آن مربوط به تیمار مخلوط تأخیری سه ردیف گندم و یک ردیف چغندر قند (۳۴/۴ تن در هکتار) بود. همچنین نتایج پژوهش خزائی (Khazei, 2015) نیز با این آزمایش هم‌خوانی داشت؛ به طوری که بالاترین میزان عملکرد غده چغندر قند در تیمار خالص (۶۱۷۳۳ کیلوگرم در هکتار) و تیمار نسبت کشت ۷۵ درصد ذرت + ۲۵ درصد چغندر قند (۱۳۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) کمترین عملکرد غده را دارا بودند.

از نظر وزن خشک غده نیز می‌توان بیان کرد که تیمار خالص (S) با تیمار 25S75L اختلاف معنی‌داری نداشت؛ ولی با دو تیمار 50S50L و 75S25L اختلاف معنی‌دار دارند. نتایج پژوهشی دو ساله بر روی کشت مخلوط چغندر قند و شبدر نشان داد که وزن تر غده در هر دو سال در تیمار خالص بیشترین مقدار (برای سال اول و دوم به ترتیب با ۶۷/۹۸ و ۷۷/۰۳ تن در هکتار) را به خود اختصاص داد که با نتایج این تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. همچنین بالاترین میزان وزن خشک غده در سال اول و دوم به ترتیب در تیمار خالص چغندر قند (به میزان ۲۶/۷۷ تن در هکتار) و تیمار ۱:۲ چغندر قند به شبدر (۲۵/۸۵ تن در هکتار) به دست آمد. (Edrees et al., 2019) همانند سایر صفات، بالاترین صفت عیار قند را تیمار خالص (S) (با ۱۸/۶ درصد) به خود اختصاص داد و کمترین میزان عیار قند مربوط به تیمار 25S75L (به میزان ۱۳/۶۰ درصد) بود (شکل ۳). در بررسی کشت مخلوط چغندر قند با ذرت مشاهده شد که بیشترین عیار قند را تیمار خالص به میزان ۱۹/۴ درصد دارد و بعد از آن نسبت کشت ۲۵ درصد ذرت + ۷۵ درصد چغندر قند به میزان ۱۸/۶۳ درصد و کمترین میزان عیار قند در تیمار ۷۵ درصد ذرت + ۲۵ درصد چغندر قند (۱۳/۸۸) اعلام شد (Khazaie, 2015) که نتایج این پژوهش با تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. در تحقیقی دو ساله بر روی کشت مخلوط چغندر قند با پیاز و کلزا محققین اعلام نمودند، در سال‌های اول و دوم بالاترین درصد عیار قند برای تیمار خالص (۱۷/۸۸-۱۷/۷۹ درصد) و کمترین میزان در تیمار کشت مخلوط با پیاز (۱۷/۰۴-۱۷/۱۸ درصد) به دست آمد (Masri & Safina, 2015).

نسبت برابری زمین

نسبت برابری زمین جزئی و کل در ترکیب‌های مختلف کشت

مخلوط در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- نسبت برابری زمین جزئی و کل در نسبت‌های کشت مخلوط چغندرکند با نخود و ماش

Fig. 4- Partial and total land equivalent ratio for intercropping ratios of sugar beet whit chickpea and mung bean

۷۵ درصد چغندرکند + ۲۵ درصد لگو، ۵۰ درصد چغندرکند + ۵۰ درصد لگو، ۲۵ درصد چغندرکند + ۷۵ درصد لگو، ۲۵ درصد چغندرکند + ۷۵ درصد لگو، ۵۰ درصد چغندرکند + ۵۰ درصد لگو، ۷۵ درصد چغندرکند + ۲۵ درصد لگو (لگو شامل نخود و ماش)

۲۵ درصد س + ۷۵ درصد ل: ۲۵ درصد س + ۷۵ درصد ل، ۵۰ درصد س + ۵۰ درصد ل: ۵۰ درصد س + ۵۰ درصد ل، ۷۵ درصد س + ۲۵ درصد ل: ۷۵ درصد س + ۲۵ درصد ل (لگو شامل چغندرکند و ماش)

(خط نقطه‌چین نشان‌دهنده نسبت برابری زمین یک است.)

(Dotted line indicates LER=one.)

نسبت به تک‌کشتی عملکرد کمتری تولید کرده‌اند و اثر کاهشی کشت مخلوط نخود بیشتر از چغندر و چغندر بیشتر از ماش بود. در مطالعه‌ای مومن کیخا و همکاران (Momen Keykhah et al., 2018) با بررسی ترکیب‌های کشت مخلوط آفتابگردان و گوار بیان کردند، بالاترین نسبت برابری زمین در تیمار ۷۵ درصد گوار + ۲۵ درصد آفتابگردان به میزان ۲/۷۳ به‌دست آمد که با نتایج پژوهش پیش رو هم‌خوانی دارد. در بررسی دیگری نسبت برابری زمین در تمامی تیمارها به جز تیمار کاشت مخلوط همیشه‌بهار پرپر با ماش نسبت برابری بالاتر از یک بود (Mirshekari, 2016). در مطالعه‌ای کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2016b) با بررسی کشت مخلوط آفتابگردان، کنجد و لوبیا اعلام نمودند، بالاترین نسبت برابری زمین با ۱/۳۴ برای کشت مخلوط ردیفی و کمترین مقدار با ۱/۰۱ برای کشت مخلوط نواری چهار ردیفی مشاهده شد. نتایج بررسی دیگری نشان داد که نسبت برابری زمین بالاتر از یک بود که

نتایج نشان داد تیمار کشت مخلوط ۲۵ درصد س + ۷۵ درصد ل بالاترین نسبت برابری زمین (۱/۵۳) را به خود اختصاص داده است (جدول ۴). در این الگوی کشت جایگزینی، عملکرد ماش ۲۹ درصد، عملکرد نخود ۴۵ درصد و عملکرد چغندرکند ۷۹ درصد حالت تک‌کشتی بوده که در مجموع، ماش اثر بیشتری از همراهی با چغندرکند در کشت مخلوط پذیرفته است. بر این اساس، عملکرد حاصل از کشت مخلوط در این تیمار نسبت به تک‌کشتی افزایش نشان داده است. این بدان معناست که کشت این گیاهان سبب می‌شود تا از کشت مخلوط محصول بیشتری نسبت به تک‌کشتی برداشت شود و دلیل آن تأثیرپذیری بیشتر گونه‌های همراه با آن نسبت بوده که بهتر توانسته‌اند از عوامل محیطی استفاده نمایند. کمترین میزان LER مربوط به تیمار مخلوط ۷۵ درصد س + ۲۵ درصد ل (۰/۶۱) به‌دست آمد که سه گونه ماش، نخود و چغندرکند به‌ترتیب دارای عملکرد نسبی ۰/۲۱، ۰/۱۳ و ۰/۲۸ بودند و این بیانگر این موضوع می‌باشد که هر سه گونه

مخلوط به‌عنوان یکی از راهکارهای کاهش مصرف نهاده‌ها می‌باشند، قرار داشتن این گیاهان در کنار یکدیگر به‌صورت تأخیری همراه با چغندر قند مفید و مؤثر بوده است. به هر حال، نتایج به‌دست آمده برتری کشت مخلوط را نسبت به کشت خالص در رابطه با محصولات مورد مطالعه نشان داد که بالاترین میزان نسبت برابری زمین در با تیمار کشت مخلوط با نسبت ۷۵ درصد لگوم + ۲۵ درصد چغندر قند به‌میزان ۱/۵۳ درصد مشاهده شد. از این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از نظام‌های کشت مخلوط چغندر قند همراه با لگوم‌ها (ماش و نخود) به‌عنوان راهکاری مناسب و با ثبات در راستای تولید چغندر قند و لگوم‌ها نسبت به نظام‌های تک‌کشتی می‌باشد.

سپاسگزاری

اعتبار این پژوهش از محل پژوهش طرح شماره ۴۰۴۱۴ مصوب ۱۳۹۵/۰۲/۰۷ معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

بالاترین و کمترین این مقدار به‌ترتیب به‌میزان ۱/۳۸ و ۱/۰۴ می‌باشد که این یافته‌ها برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی را نشان می‌دهد (Koocheki et al., 2016a).

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه نظام‌های کشت مخلوط یکی از راهکارهای مناسب جهت بهره‌گیری پایدار از متکی به مبنای اکولوژیک می‌باشد، لذا انتخاب مناسب گیاهان با نیازها و قدرت رقابت آن‌ها جهت همراهی در کشت مخلوط حائز اهمیت است؛ در کشت مخلوط تنوع زیستی و در نتیجه پایداری بوم‌نظام زراعی افزایش می‌یابد، بهره‌گیری از این الگوی کشت همچنین سبب افزایش کارایی استفاده از منابع می‌شود. در این پژوهش، گیاه چغندر قند با نیاز بالا به نیتروژن و گیاه غده‌ای که بیشتر انرژی گیاه صرف تولید غده می‌شود و گیاهان نخود و ماش که منبع تولید نیتروژن می‌باشند و نسبت به چغندر دارای غده سطحی‌تر بوده‌اند، جهت همراهی در کشت مخلوط به‌صورت تأخیری انتخاب شدند. با توجه به این‌که قرارگیری لگوم‌ها در این ترکیب

References

- Anas, M., Jabbar, A., Sarwar, M.A., Ullah, R., Abuzar, M.K., Ahmad, I., & Latif, S. (2017). Intercropping sunflower with mung bean for improved productivity and net economic return under irrigated conditions. *Pakistan Journal of Agricultural Research*. 30(4), 338-345. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjar/2017/30.4.338.345>
- Awal, M.A., Koshi, H., & Ikeda, T. (2006). Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*. 139(1-2), 74-83. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.06.001>
- Bommarco, R., Kleijn, D., & Potts, S.G. (2013). Ecological intensification: Harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology and Evolution*. 28(4), 230-238. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.012>
- Bommarco, R., Vico, G., & Hallin, S. (2018). Exploring ecosystem services in agriculture for increased food security. *Global Food Security* 17: 57-63. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.04.001>
- Edrees, G.H., El-Nakhlawy, F.S., & Ismail, S.M. (2019). Performance of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Cultivars under the Intercropping with Clover in Arid Land Conditions. *Journal of King Abdulaziz University-Meteorology Environment and Arid Land Agriculture Sciences*. 28(1), 11-19. Doi: 10.4197/Met. 28-1.2
- El-Nakhlawy, F.S., & Ismail, S.M. (2018). Optimizing land use efficiency in arid land conditions through sugar beet-clover intercropping. *Sugar Technology*. 20(5), 534-539. DOI: 10.1007/s12355-017-0578-7
- Ghale Noyee, S., Koocheki, A., Naseri poor yazdi, M. T., & Jahan, M. (2017). Effect of Different Treatments of Mixed and Row Intercropping on Yield and Yield Components of Sesame and Bean. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 15(3), 588-602. Doi: 10.22067/gsc.v15i3.49345
- Gliessman, S.R. 1997. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*, Arbor Press.
- Hajinia, S., Ahmadvand, G., & Mehrabi, A.A. (2019). Evaluation of yield and yield components of common millet and soyabean in different intercropping ratio under deficit irrigation levels in Hamadan region. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 16(4), 761-779. (In Persian with English Summary). DOI: 10.22067/gsc.v16i4.66825
- Hamzei, J., Babaei, M. (2016). Study of Quality and Quantity of Yield and Land Equivalent Ratio of Sunflower in Intercropping Series with Bean. *Journal of Agroecology*. 8(4), 490-504. Doi: 10.22067/jag.v8i4.37250
- Hamzei, J., & Seyed, M. (2013). Evaluation of Barley (*Hordeum vulgare*) and Chickpea (*Cicer arietinum*) Intercropping Systems Using Advantageous Indices of Intercropping under Weed Interference Conditions. *Journal of Agriculture Knowledge*. 6(9), 1-12.
- Hodiani Mehr, A., Dahmardeh, M., Khammari, I., & Asgharipoor, M.R. (2017). Effects of tillage systems on changes of soil nutrients, yield and land equivalent ratio in roselle – green gram intercropping. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 15(2), 311-322. (In Persian with English Summary). DOI: 10.22067/GSC.V15I2.48487

- Khazaei, M., 2015. The study of maize and sugar beet intercropping. *Journal of Crops Improvement* 16(4): 987-997. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22059/jci.2015.53593>
- Koocheki, A., Lalehgani, B., & Najibnia, S. (2009). Evaluation of productivity in bean and corn intercropping. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 7(2), 605-614. (In Persian with English Summary).
- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Borumand Rezazadeh, Z., Jahani, M., & Jafari, L. (2014). Yield responses of black cumin (*Nigella sativa* L.) to intercropping with chickpea (*Cicer arietinum* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*. 12(1), 1-8. (In Persian with English Summary). DOI: 10.22067/GSC.V12I1.36624
- Koocheki, A., Nassiri, M., Zarghani, H., & Norooziyan, A. (2017). Evaluation of yield and radiation use efficiency of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in relay intercropping. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 14(4), 539-557. (In Persian with English Summary). DOI: 10.22067/gsc.v14i4.51159
- Koocheki, A., Solouki, H., & Karbor, S. (2016a). Study of ecological aspects of sesame (*Sesamum indicum* L.) and mung bean (*Vigna radiata* L.) intercropping in weed management treatments. *Iranian Journal of Pulses Research*. 7(2), 27-44. (In Persian with English Summary). DOI: 10.22067/ijpr.v7i2.42232
- Koocheki, A., Zarghani, H., & Norooziyan, A. (2016b). Comparison of yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.), sesame (*Sesamum indicum* L.) and red bean (*Phaseolus calcaratus*) under different intercropping arrangements. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 14(2), 226-243. (In Persian with English Summary). DOI: 10.22067/GSC.V14I2.51158
- Martin-Guay, M.O., Paquette, A., Dupras, J., & Rivest, D. (2018). The new green revolution: Sustainable intensification of agriculture by intercropping. *Science of the Total Environment*. 615, 767-772. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.024>
- Mashhadi, T., Nakhzari Moghaddam, A., & Sabouri, H. (2015). Investigation of competition indices in intercropping of wheat (*Triticum aestivum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) under nitrogen consumption. *Journal of Agroecology*. 7(3), 344-355. (In Persian with English Summary). DOI: 10.22067/JAG.V7I3.26662
- Masri, M., & Safin, A. (2015). Agro- economic impact of intercropping canola and onion on some sugar beet varieties under different nitrogen rates. *Journal of Plant Production*. 6(10), 1661-1678. DOI: 10.21608/jpp.2015.52078
- Mirshakari, B., 2016. Study effect of sowing ratios in marigold (*Calendula officinalis*) and mung bean (*Vigna radiata*) intercropping systems on weed control and mung bean yield improvement. *Iranian Journal of Pulses Research*. 7(2), 152-163. (In Persian with English Summary). DOI: 10.22067/IJPR.V7I2.45919
- Mobasser, H., Barjasteh, S.H., & Keshtehgar, A. (2018). Effect of replacement and additive intercropping on the yield of maize (*Zea mays* L.) and potatoes (*Solanum tuberosum* L.) in the region of Nikshar. *Journal of Agroecology*. 10(2), 400-415. (In Persian with English Summary). DOI: 10.22067/jag.v10i2.53841
- Momen Keykha, M., Khammari, L., Dahmardeh, M., & Forouzandeh, M. (2018). Assessing yield and physiological aspects of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.) intercropping under different levels of nitrogen. *Journal of Agroecology*. 9(4), 1050-1069. (In Persian with English Summary). DOI: 10.22067/jag.v9i4.51084
- Nasrollahzadeh Asl, A., Chavoshgoli, A., Valizadegan, E., Valiloo, R., & Nasrollahzadeh Asl, V. (2012). Evaluation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercropping based on additive method. *Agricultural Science and Sustainable Production*. 22(2), 79-90. (In Persian with English Summary)
- Pouramir, F., Nasiri mahallati, M., Koocheki, A., & Ghorbani, R. (2010). Evaluation the Effect of Different Planting ratios on Yield and Yield Components of Intercropping Sesame and Chickpea in Additive Series. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 8(3), 393-402. Doi: 10.22067/gsc.v8i3.7716
- Rafiiolhossaini, M., Salehi, F., & Mazhari, M. (2016). The effect of drought stress intensity and stage on agronomic characteristics of two common bean cultivars. *Engineering of Desert Ecosystem*. 11, 45-56. (In Persian with English Summary)
- Raseduzzaman, M. (2016). Intercropping for enhanced yield stability and food security. Master's Thesis in Agricultural Science/Agroecology. *Sveriges Lantbrukuniversitet Swedish University of Agricultural Sciences*. DOI: 10.13140/RG.2.2.20053.73448
- Rezaei-Chiyaneh, E., & Gholinezhad, E. (2014). Study of agronomic characteristics and advantage indices in intercropping of additive series of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) and Black Cumin (*Nigella sativa* L.). *Journal of Agroecology*. 7(3), 381-396. (In Persian with English Summary). DOI: 10.22067/JAG.V7I3.35858
- Salama, H.S., Dina El-S, E.K., & Nawar, A.I. (2016). Additive intercropping of wheat, barley, and faba bean with sugar beet: impact on yield, quality and land use efficiency. *Egyptian Plant Journal of Agronomy*. 38(3), 413-430. DOI: 10.21608/AGRO.2016.1277
- Seyedhamzeh, SH., & Damari, B. (2017). The conceptual model of food and nutrition security in Iran. *Community Health*. 4(3), 223-232. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22037/ch.v4i3.15555>
- Seyedi, M., Hamzei, J., Ahmadvand, G., & Abutalebian, M.A. (2012). The evaluation of weed suppression and crop production in barley-chickpea intercrops. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 22(3), 101-115. (In Persian with English Summary)



Parameterization and Evaluation of a Simple Simulation Model (SSM-iCrop2) for Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Growth and Yield in Iran

Shabnam Pourshirazi¹, Afshin Soltani^{2*}, Ebrahim Zeinali³ and Benjamin Torabi³

Received: 16-05-2021
Revised: 04-08-2021
Accepted: 16-08-2021
Available Online: 16-08-2021

How to cite this article:

Pourshirazi, S., Soltani, A., Zeinali, E., & Torabi, B. (2023). Parameterization and Evaluation of a Simple Simulation Model (SSM-iCrop2) for alfalfa (*Medicago sativa* L.) growth and yield in Iran. *Journal of Agroecology*. 15(1), 191-211.
DOI: [10.22067/agry.2021.70433.1044](https://doi.org/10.22067/agry.2021.70433.1044)

Introduction

Crop simulation models are very useful tools for the evaluation of plant growth and development processes. Crop-simulating models may be used to estimate yield and evaluate climatic, plant, and management parameters on yield. Also, it may be used to predict crop water requirements under different conditions. Crop models should be evaluated and parameterized to simulate crop growth and development. Parameterization is used for precise simulation of crop growth and development and can estimate the best and most appropriate values for model parameters obtained via observed data or calibration. The objectives of this study were to describe the SSM-iCrop2 model, determine plant parameters, and evaluate alfalfa (*Medicago sativa* L.) in its major production regions using the SSM-iCrop2 model in Iran.

Materials and Methods

SSM-iCrop2 crop simulation model is a simplified form of SSM crop models which is suitable for the simulation of growth, development, and yield of different crops under different environmental conditions and large-scale estimation of crop production, especially in the evaluation of nutrient availability and climatic effects. This model includes sub-models of phenology, leaf expansion and senescence, dry matter production and distribution, and soil water balance. Daily weather data, agronomic management, soil properties, and plant parameters are required for simulation in this model. The present study investigates the performance of the SSM-iCrop2 model regarding the prediction of single cuts and overall cuts, phenologic stages, and water requirement of alfalfa under changing climatic conditions in Iran. To simulate the growth, development and yield of alfalfa using SSM-iCrop2 model in Iran, the major irrigated alfalfa production provinces, including East Azarbaijan, Hamedan, West Azarbaijan, Sistan and Baluchestan, Khorasan Razavi, Esfahan, Kordestan, Ghazvin, Ardabil, Markazi, Fars, Zanjan, Chaharmahal and Bakhtiari and Tehran were identified based on the data available in Ministry of Agriculture statistics. Then, field experiment data required for model parameterization and estimation were collected from these provinces.

Results and Discussion

According to the results of the SSM-iCrop2 model parameterization, two cultivars with different leaf area indices (high-yielding and low-yielding) were identified in major alfalfa production provinces. The model was evaluated using independent experimental data that had not been used for parameterization. The evaluation results for alfalfa yield showed that the observed single-cut forage yield ranged from 112 to 640 g.m⁻² with an average of

1- Ph.D. Graduate, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

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

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

(*- Corresponding author's Email: Afshin.Soltani@gmail.com)

330 g.m-2; the observed total annual forage yield ranged from 646 to 4042 g.m-2 with an average of 1717 g.m-2; and the water requirement of alfalfa obtained from the NETWAT software was between 5140 to 12690 m3 ha-1 with an average of 8746 m3 ha-1. The predicted single-cut forage yield, predicted total annual forage yield, and alfalfa water requirement ranged from 189 to 457 g.m-2 with an average of 351 g.m-2, 693 to 3296 g.m-2 with an average of 1654 g.m-2, and 4093 to 16874 m3 ha-1 with an average of 10940 m3.ha-1, respectively. Overall, in the evaluation of observed versus simulated alfalfa forage yield, 31 points were obtained for single-cut yield with a correlation coefficient (r) of 0.79, root mean square error (RMSE) of 88.3 g.m-2, and coefficient of variation (CV) of 26.78%; and 21 points were obtained for annual yield with an r of 0.90, RMSE of 344.4 g.m-2, and CV of 20.05%. The evaluation results also showed that the observed versus simulated alfalfa water requirement had an r of 0.43, RMSE of 3503 m3 ha-1, and CV of 40%.

Conclusion

The results obtained from parameterization and evaluation of the SSM-iCrop2 model show that the mentioned model presents a logical prediction and accurate estimation of model parameters for yield and water requirement of alfalfa crops in Iran. Thus, this model may be used for the prediction of alfalfa yield under different climates and management conditions.

Keywords: Crop models, Forage, Phenology, Water requirement

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، ص ۱۶۹-۱۸۹

پارامتریابی و ارزیابی مدل SSM-iCrop2 برای پیش‌بینی رشد و عملکرد یونجه (*Medicago sativa* L.) در ایران

شبیم پورشیرازی^۱، افشین سلطانی^{۲*}، ابراهیم زینلی^۳ و بنیامین ترابی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۵/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۲۱

چکیده

برای اطمینان از مدل‌های شبیه‌سازی زراعی می‌توان پارامتریابی و ارزیابی محصول را با مجموعه‌ای از داده‌های مناسب از محیط، مدیریت، ارقام و خاک‌های متفاوت انجام داد. بنابراین، هدف از این مطالعه، تعیین پارامترهای گیاهی و ارزیابی عملکرد علوفه یونجه (*Medicago sativa* L.) با استفاده از مدل SSM-iCrop2 در مناطق عمده تولید آن در ایران بود. این مطالعه عملکرد مدل را از نظر پیش‌بینی عملکرد تک چین و مجموع سالانه، مرحله فنولوژیک و نیاز آبی یونجه بررسی می‌کند. ارزیابی مدل بر اساس داده‌های آزمایشی مستقل از مرحله پارامتریابی انجام شد. مجموع عملکرد علوفه سالانه مشاهده شده بین ۶۴۶ تا ۴۰۴۲ با میانگین ۱۷۱۷ گرم در مترمربع و نیاز آبی یونجه حاصل از برنامه NETWAT بین ۵۱۴۰ تا ۱۲۶۹۰ با میانگین ۸۷۴۶ مترمکعب در هکتار بود. عملکرد شبیه‌سازی شده و نیاز آبی یونجه به‌ترتیب بین ۶۹۳ تا ۳۲۹۶ با میانگین ۱۶۵۴ گرم در مترمربع و ۴۰۹۳ تا ۱۶۸۷۴ با میانگین ۱۰۹۴۰ مترمکعب در هکتار به‌دست آمد. همچنین، نتایج ارزیابی نشان داد که ضریب همبستگی (r)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تغییرات (CV) برای عملکرد تک چین شبیه‌سازی شده در مقایسه با مشاهده شده به‌ترتیب ۰/۷۹، ۸۸/۳ و ۰/۴۳ در مترمربع و ۲۶/۷۸ درصد، برای عملکرد علوفه سالانه به‌ترتیب ۰/۹۰، ۳۴۴/۴ گرم در مترمربع، ۲۰/۰۵ درصد و برای نیاز آبی یونجه به‌ترتیب ۰/۴۳، ۳۵۰۳ مترمکعب در هکتار و ۴۰ درصد به‌دست آمد. نتایج نشان داد که برآوردها برای متغیرهای مختلف قابل قبول است؛ بنابراین، می‌توان از این مدل برای تخمین عملکرد پتانسیل، خلأ عملکرد و اثرات تغییرات اقلیمی محصول یونجه استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌های گیاهان زراعی، علوفه، نیاز آبی، فنولوژی

۱- فارغ‌التحصیل دکتری اکرواکولوژی، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

۲- استاد گروه زراعت، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

۳- دانشیار گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

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

مقدمه

یونجه (*Medicago sativa* L.) یکی از گیاهان علوفه‌ای چندساله مهم در ایران و جهان است که به دلیل داشتن علوفه‌ای با کیفیت بالا، منبع غذایی مهمی برای انواع دام‌ها می‌باشد و به‌تنهایی می‌تواند انرژی، پروتئین، مواد معدنی و ویتامین‌های مورد نیاز آن‌ها را تأمین کند (Monirifar et al., 2020; Monirifar et al., 2020). تولید سالانه این محصول علوفه‌ای طی ۱۵ سال گذشته (۱۳۹۶-۱۳۸۲) در کشور به‌طور میانگین تقریباً پنج میلیون تن علوفه خشک (با رطوبت ۱۵ درصد) با سطح زیر کشت متوسط ۶۰۰ هزار هکتار معادل ۵/۴۱ درصد از کل اراضی قابل کشت ایران (که به‌ترتیب ۹۰ و ۱۰ درصد آن تحت شرایط آبیاری و دیم کشت می‌شود) بود (Ghaderpour et al., 2018; Agricultural Statistics, 2020). حبوبات علوفه‌ای در ایران بیش از ۱۰۰ درصد ضریب خودکفایی را دارند و بیش از نیاز یا تقاضای کشور تولید می‌شوند (Soltani et al., 2020) و برای اطمینان از این خودکفایی، باید از میزان تولید محصولات علوفه‌ای در آینده اطمینان حاصل کرد.

افزایش دما و کاهش بارندگی باعث تغییرات آب‌وهوایی در کشور شده است و منجر به آسیب‌پذیری بیشتر اکوسیستم‌های کشاورزی در ایران می‌شود (Vatankhah et al., Aliahmadi et al., 2021). و به همین دلیل، بخش اعظم کشور به‌طور منظم دچار خشکسالی و کاهش منابع آب آبیاری هستند و از آنجایی که یونجه نسبت به گونه‌های زراعی دیگر تحمل به خشکی بیشتری و ارقام مختلف آن سازگاری بالایی به شرایط سخت و متفاوت اقلیمی دارند، از این جهت انتخاب ارقامی مناسب با ویژگی هر منطقه یکی از مهم‌ترین فاکتورهای افزایش عملکرد این محصول می‌باشد (Monirifar et al., 2020). یونجه در طول دوره رشد خود آب زیادی مصرف می‌کند و باران ناکافی در کشور یکی از محدودیت‌های اصلی تولید یونجه می‌باشد، بنابراین، اتخاذ روش‌های آبیاری درست می‌تواند یکی از روش‌های صرفه‌جویی آب برای این محصول باشد (Monirifar et al., 2020). از این جهت شناخت میزان سازگاری و مقدار تولید این محصول در مناطق مختلف آب‌وهوایی ایران یکی از الزامات تولید عملکرد با بالاترین پتانسیل ممکن در آن منطقه می‌باشد.

به‌منظور بررسی میزان پاسخ عملکرد به شرایط مختلف محیطی،

می‌توان از آزمایش‌های مزرعه‌ای در طی چند سال و در مکان‌های مختلف استفاده کرد، اما چنین کاری سخت، زمان‌بر و پرهزینه می‌باشد. اما امروزه مدل‌های شبیه‌سازی ابزار مفیدی برای مطالعه بوده که می‌تواند از انجام چنین آزمایش‌های زمان‌بر و پرهزینه جلوگیری کند (Dadrasi et al., 2020; Soltani & Hoogenboom, 2007). مدل‌های ریاضی، مجموعه‌ای از معادلات هستند که می‌توانند فرآیندهای رشد گیاه را به‌صورت کمی بررسی و توصیف کنند (Torabi et al., 2020).

از مدل‌های شبیه‌سازی می‌توان برای تخمین میزان عملکرد و ارزیابی پارامترهای اقلیمی، گیاهی و مدیریتی بر روی عملکرد و همچنین برآورد نیاز آبی محصولات در شرایط مختلف استفاده کرد. به‌منظور شبیه‌سازی رشد و نمو محصولات، مدل‌های زراعی باید مورد پارامتریابی و ارزیابی قرار گیرند. پارامتریابی برای شبیه‌سازی دقیق رشد و نمو محصولات انجام می‌شود که می‌تواند بهترین و مناسب‌ترین مقدار پارامترهای مدل که بر اساس داده‌های مشاهده شده و یا کالیبراسیون به‌دست آمده است را برآورد کند (Dadrasi et al., 2020).

SSM به گروهی از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی اطلاق می‌شود که ساخت آن‌ها به سال ۱۹۸۶ برمی‌گردد که یک مدل شبیه‌سازی ساده برای سویا (*Glycine max* L.) تهیه شد (Sinclair, 1986). ساختار این مدل طی ۳۰ سال بعد بهبود یافت و تقریباً برای همه گیاهان زراعی استفاده شده است که از جمله می‌توان به ذرت (*Zea mays* L.) (Sinclair & Muchow, 1995)، سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) (Sinclair et al., 1997)، گندم (*Triticum aestivum* L.) (Soltani et al., Sinclair & Amir, 1992)، جو (*Hordeum vulgare* L.) (Wahbi & Sinclair, 2013)، بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) (Hammer et al., 1995) و نخود (*Cicer arietinum* L.) (Soltani et al., 1999) اشاره کرد. در برخی منابع توضیحات کامل مدل‌های SSM ارائه شده است (Soltani et al., 2013; Soltani & Sinclair, 2012).

SSM-iCrop2 نسخه ساده‌تری از مدل‌های محصول SSM است که برای انجام برآورد در مقیاس وسیع تولید محصولات مختلف گیاهان زراعی، به‌ویژه در ارزیابی در دسترس‌بودن مواد غذایی و تأثیرات تغییرات آب‌وهوایی مناسب است. این مدل برای شبیه‌سازی

بنابراین، هدف از این مطالعه انطباق، پارامتریابی و ارزیابی مدل SSM-iCrop2 برای شبیه‌سازی محصول یونجه بر اساس داده‌های آزمایشی میدانی مستقل به‌دست آمده در استان‌های عمده تولیدکننده یونجه در ایران بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور شبیه‌سازی رشد، نمو و عملکرد یونجه با مدل SSM-iCrop2 در کشور، ابتدا بر اساس اطلاعات موجود در آمارنامه‌های وزارت جهاد کشاورزی، استان‌های مهم تولیدکننده علوفه یونجه آبی که شامل استان‌های آذربایجان شرقی، همدان، آذربایجان غربی، کرمان، سیستان و بلوچستان، خراسان رضوی، اصفهان، کردستان، قزوین، اردبیل، مرکزی، فارس، زنجان، چهارمحال و بختیاری و تهران شناسایی شدند و سپس داده‌های آزمایش‌های مزرعه‌ای مورد نیاز برای پارامتریابی و ارزیابی از این استان‌های مهم جمع‌آوری شدند.

تعداد زیادی از گونه‌های گیاهی از جمله گونه‌های باغی و علوفه‌های چندساله اقتباس شده است.

تاکنون مدل‌های زیادی برای شبیه‌سازی رشد و نمو محصولات زراعی استفاده شده است که می‌توان از مدل‌هایی مانند DSSAT (Jones et al., 2003)، CropSyst (Stöckle, 2003) و APSIM (McCown, 1996) نام برد. مدل SSM-iCrop2 در مقایسه با مدل‌های دیگر دارای مزایای قابل توجهی می‌باشد، به‌عنوان مثال به-عنوان مدلی با منبع باز برای ورودی‌های مورد نیاز است و از صفحه گسترده اکسل آن برای تهیه ورودی و تولید خروجی استفاده می‌شود. در تحقیقی که با استفاده از مدل‌های SSM-iCrop2، CropSyst، APSIM و DSSAT برای پیش‌بینی عملکرد گندم انجام شد، نتایج مشخص نمود که مدل SSM-iCrop2 دقت بیشتری در پیش‌بینی رشد و عملکرد گندم داشته است و همچنین بیان شد که تعداد پارامترهای ورودی آن با ۵۵ پارامتر از دو مدل APSIM با ۲۹۲ و DSSAT با ۲۱۱ پارامتر بسیار کمتر است (Soltani & Sinclair, 2015).

جدول ۱- ورودی‌های داده‌های هواشناسی و مدیریت زراعی مورد نیاز برای اجرای مدل SSM-iCrop2

ورودی‌ها Inputs	مخفف Abbreviation	واحد Unit
داده‌های هواشناسی Weather data		
حداکثر دمای روزانه Maximum daily temperature (TMAX)	TMAX	درجه سانتی‌گراد °C
حداقل دمای روزانه Minimum daily temperature (TMIN)	TMIN	درجه سانتی‌گراد °C
تشدید خورشیدی روزانه Solar radiation	SRAD	مگاژول در مترمربع در روز MJ m ⁻² d ⁻¹
بارندگی روزانه Daily rainfall	RAIN	میلی‌متر mm
مدیریت زراعی Crop management		
تاریخ کاشت Planting data	PDOY	روز day
سطح آستانه آبیاری Irrigation threshold level	IRGLVL	میلی‌متر mm
تعداد برداشت یا چین Clipping (harvest) number for forages	ClipNo	-

جدول ۲- مشخصات فیزیوشیمیایی خاک در مناطق تولیدکننده یونجه بر اساس IFPRI Harvest Choice
 Table 2- Soils physiochemical profile in alfalfa production areas based on IFPRI Harvest Choice (Koo & Dimes 2013)

کد خاک Soil code	کربن آلی خاک Soc (%)	عمق خاک SOLDEP (mm)	آلبدوی خاک SALB	شماره منحنی خاک CN	زهکشی خاک DRAIN	مقدار آب در زمان اشباع SAT (m)	حد ظرفیت زراعی DUL (m)	مقدار آب در حد پژمردگی LL (m)
HC2-Clay HF120	>1.2	1200	0.05	85	0.2	0.458	0.405	0.233
HC5-Clay MF120	0.7-1.2	1200	0.05	85	0.2	0.458	0.405	0.233
HC8-Clay LF120	0-0.7	1200	0.05	85	0.2	0.458	0.405	0.233
HC12-Loam HF060	>1.2	600	0.10	75	0.5	0.41	0.307	0.180
HC14-Loam MF120	0.7-1.2	1200	0.10	75	0.5	0.41	0.307	0.180
HC17-Loam LF120	0-0.7	1200	0.10	75	0.5	0.41	0.307	0.180

کد خاک: ۲: رسی، حاصلخیزی بالا، عمق ۱۲۰ سانتی متر، کد خاک ۵: رسی، حاصلخیزی متوسط، عمق خاک ۱۲۰ سانتی متر، کد خاک ۱۲: لومی، حاصلخیزی بالا، عمق خاک ۶۰ سانتی متر، کد خاک ۱۴: لومی، حاصلخیزی متوسط، عمق ۱۲۰ سانتی متر، کد خاک ۱۷: لومی، حاصلخیزی کم، عمق خاک ۱۲۰ سانتی متر.

Soil codes (IFPRI Harvest Choice): 2= Clay, high fertility, 120 cm depth; 5= Clay, medium fertility, 120 cm depth; 8= Clay, low fertility, 120 cm depth; 12= Loam, high fertility, 60 cm depth; 14= Loam, medium fertility 120cm depth; 17= Loam, low fertility 120 cm depth.

(Soltani et al., 2006):

معادله (۳)

$$\begin{aligned} \text{tempfun} &= 0 & \text{if } \text{TMP} \leq \text{TBD} \\ \text{tempfun} &= (\text{TMP} - \text{TBD}) / (\text{TP1D} - \text{TBD}) & \text{if } \text{TBD} < \text{TMP} < \text{TP1D} \\ \text{tempfun} &= 1 & \text{if } \text{TP1D} \leq \text{TMP} \leq \text{TP2D} \\ \text{tempfun} &= (\text{TCD} - \text{TMP}) / (\text{TCD} - \text{TP2D}) & \text{if } \text{TP2D} < \text{TMP} < \text{TCD} \\ \text{tempfun} &= 0 & \text{if } \text{TMP} \geq \text{TCD} \end{aligned}$$

که در معادلات فوق، TMP: میانگین دمای شبانه روز، TBD: دمای پایه، TP1D: دمای تحتانی مطلوب، TP2D: دمای فوقانی مطلوب، TCD: دمای سقف، tempfun: سرعت نمو نسبی و CTU: واحد دمایی تجمعی برحسب درجه سانتی گراد برای گیاه می باشند. گیاهان برای رسیدن به هر یک از مراحل نمو (سبز شدن، شروع رشد برگ، پایان رشد برگ، شروع گل دهی، پایان گل دهی، غلاف دهی، شروع پر شدن دانه، شروع رسیدگی و رسیدگی کامل) نیاز به مقادیر مشخصی از واحد دمایی تجمعی دارند که این مقادیر به عنوان پارامترهای ورودی مدل SSM-iCrop2 جهت مدل سازی مراحل فنولوژیک گیاهان محسوب می شوند.

تغییرات شاخص سطح برگ: روش های متفاوتی برای شبیه سازی تغییرات شاخص سطح برگ (هر مترمربع یا هکتار سطح برگ در هر مترمربع یا هکتار زمین) در شرایط مختلف وجود دارد. شاخص سطح برگ در هر روز در مدل SSM-iCrop2 با معادله زیر محاسبه می شود (Soltani & Sinclair, 2012):

$$LAI_i = LAI_{i-1} + GLAI_i - DLAI_i \quad \text{معادله (۴)}$$

که در آن، LAI_i : مقدار شاخص سطح برگ در روز حاضر، LAI_{i-1} : مقدار شاخص سطح برگ در روز قبل، $GLAI_i$: مقدار افزایش LAI در روز حاضر و $DLAI_i$: مقدار کاهش LAI در روز حاضر

توصیف مدل: مدل SSM-iCrop2 یک مدل شبیه سازی گیاه

زراعی و نسخه ساده تری از مدل های محصول SSM است که برای شبیه سازی رشد، نمو و عملکرد محصولات مختلف در شرایط مختلف محیطی و انجام برآورد در مقیاس وسیع تولید محصولات مختلف گیاهان زراعی، به ویژه در ارزیابی در دسترس بودن مواد غذایی و تأثیرات تغییرات آب و هوایی مناسب است و شامل مدل های فرعی فنولوژی، گسترش و پیری سطح برگ، تولید و توزیع ماده خشک و موازنه آب خاک می باشد (برای دریافت مدل و فایل های راهنمای آن به سایت <http://ssm-crop-models.net/> مراجعه کنید). برای انجام شبیه سازی این مدل، داده های روزانه آب و هوا (جدول ۱)، مدیریت زراعی (جدول ۱) و مشخصات خاک (جدول ۲) مورد نیاز است (Soltani et al., 2020).

فنولوژی: فنولوژی بر اساس مفهوم واحد دمایی تعدیل شده (TU) بر اساس مقدار رطوبت خاک پیش بینی می شود. به منظور تعیین تاریخ باز شدن جوانه ها و شروع رشد مجدد بهاره در علوفه های چندساله مانند یونجه، فرض بر این بود که باز شدن جوانه ها یا شروع رشد مجدد بهاره هنگامی رخ دهد که واحد دمایی تجمعی از اول ژانویه به بعد به یک مقدار بحرانی برسند و یا از آن عبور (Soltani et al., 2020). مقدار واحد دمایی روزانه (DTU) و تجمعی (CTU) با استفاده از معادله زیر محاسبه می شود:

$$DTU = (T_{01} - T_b) \times \text{tempfun} \quad \text{معادله (۱)}$$

$$CTU = \sum DTU \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن، tempfun: همان منحنی واکنش سرعت نمو به دما یا تابع دمایی است که مقدار آن از معادله های زیر محاسبه می شود

هستند. واحد همگی مترمربع بر مترمربع است.

میزان گسترش در LAI در هر روز در طول دوره گسترش سطح برگ یعنی از شروع شبیه‌سازی گیاه تا مرحله نموی که پیر شدن برگ‌ها شروع می‌شود (BLS) به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$GLAI_i = (LAI_i - LAI_{i-1}) \times WSFL \quad (۵)$$

که در آن، WSFL: ضریب اصلاحی گسترش سطح برگ برای تنش آب (کمبود یا زیادبود آب) می‌باشد که مقدار آن بین صفر (در شرایط تنش) تا یک (در شرایط بدون تنش) متغیر است. مقدار LAI با کمک یک تابع نمایی به مرحله نموی نرمالیزه شده (NDS) و در حقیقت به واحد دمایی که گیاه تجربه کرده است، مرتبط می‌شود:

$$LAI_i = NDS / [NDS + \exp (AL - BL \times LAIMX)] \quad (۶)$$

که در آن، AL و BL: ضرایب ثابت و پارامتر ورودی مدل هستند و LAIMX: حداکثر شاخص سطح برگ مورد انتظار و پارامتر ورودی دیگری در مدل است.

در صورتی که پارامترهای AL و BL در دست نباشد، با در دست داشتن دو نقطه از رابطه LAI در مقابل NDS، مقدار آن‌ها توسط مدل به‌صورت داخلی محاسبه می‌گردد. چنانچه این دو نقطه را با مشخصات (y_1, x_1) و (y_2, x_2) نشان دهیم، AL و BL با حل تحلیلی معادله ۶ به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$BL = \log ((1/y_2 - 1) / (1/x_2)) - \log ((1/y_1 - 1) / (1/x_1)) / x_1 - x_2 \quad (۷)$$

$$AL = \log ((1/y_1) / (1/x_1)) + BLx_1 \quad (۸)$$

به‌عنوان مثال، در این پژوهش بر اساس آزمایشات به‌دست آمده از سایر تحقیقات (جدول ۲)، به‌ترتیب دو نقطه با مشخصات $(0.15, 0.01)$ و $(0.95, 0.08)$ هستند، مفهوم آن به این صورت قابل توضیح است که وقتی گیاه ۱۵ درصد از دوره حیاتی خود را طی می‌کند، LAI آن به یک دهم درصد حداکثر قابل انتظار (LAIMX) می‌رسد و وقتی که گیاه هشت درصد از دوره حیاتی خود را طی می‌کند، LAI آن به ۹۵ درصد حداکثر قابل انتظار، افزایش می‌یابد.

بعد از مرحله BLS یعنی شروع پیر شدن برگ‌ها، شبیه‌سازی میزان کاهش روزانه در LAI (DLAI) با روش ساده‌ای صورت می‌گیرد. در این روش LAI از مقداری که در BLS دارد (BLSLAI) شروع به کاهش می‌کند و در رسیدگی برداشت (HAR) به صفر می‌رسد (در علوفه یونجه، مرحله کاهش DLAI در نظر گرفته نمی‌شود، زیرا علوفه در آغاز گل‌دهی برداشت می‌شود). مقدار DLAI و LAI

در هر روز از معادلات زیر محاسبه می‌شود:

$$DLAI = (LAI_{i-1} - LAI_i) \times WSFDS \quad (۹)$$

$$LAI_i = BLSLAI \times (1 - NDS) / (1 - frBLS)^{SRATE}$$

که در معادلات فوق، WSFDS: ضریب اصلاحی تنش خشکی برای تسریع نمو فنولوژیک و پیر شدن برگ‌ها است که در قسمت کمی‌سازی واکنش به تنش آب توضیح داده شده است. $frBLS$: مرحله نمو نرمالیزه شده است که در آن پیر شدن و کاهش سطح برگ آغاز می‌گردد و $SRATE$: یک ضریب است که نحوه کاهش LAI از BLS تا HAR را مشخص می‌کند.

تولید و توزیع ماده خشک: هسته اصلی مدل‌های شبیه‌

سازی گیاهی، محاسبه تولید ماده خشک است که در آن انرژی خورشیدی به انرژی نهفته در پیوندهای شیمیایی ماده خشک تولیدی تبدیل می‌شود. مبنای محاسبه تولید ماده خشک بر اساس دریافت و تبدیل تشعشع خورشیدی را توضیح داده شده است (Soltani & Soltani, 2009; Sinclair, 2012). در مدل حاضر نیز از همین مبنا استفاده می‌شود. برای محاسبه تولید ماده خشک روزانه (DDMP)، گرم در مترمربع زمین در روز، ابتدا کسری از تشعشع خورشیدی که در همان روز دریافت می‌شود (FINT) محاسبه می‌گردد و سپس بر اساس مفهوم کارایی استفاده از تشعشع (RUE)، گرم ماده خشک تولیدی به‌ازای هر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شده، ماده خشک تولیدی محاسبه می‌شود:

$$FINT = 1 - \exp (-KPAR \times LAI) \quad (۱۱)$$

$$DDMP = SRAD \times 0.48 \times FINT \times RUE \quad (۱۲)$$

که در معادلات فوق، KPAR: ضریب خاموشی پوشش گیاهی برای تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) می‌باشد، SRAD (مگاژول در مترمربع در روز): تشعشع خورشیدی رسیده به زمین در روز مورد نظر، 0.48 مقدار SRAD را به PAR تبدیل می‌کند و بدین معنی است که 48 درصد تشعشع خورشیدی از PAR تشکیل شده است؛ و RUE: درواقع شیب خط ماده خشک تولیدی در مقابل PAR دریافت شده است که مقدار روزانه RUE به‌صورت زیر محاسبه می‌شود (Soltani et al., 2013):

$$RUE = IRUE \times TCFRUE \times WSFG \quad (۱۳)$$

که در آن، IRUE: کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی در شرایط مطلوب، TCFRUE: ضریب اصلاحی RUE برای دما و

DRAIN1: زه‌کشی از لایه اول، RUNOF: رواناب، SEVP: تبخیر از سطح خاک، TR1: مقدار تعرق از گیاه که لایه اول استخراج شده است، EWAT: مقدار آبی که در اثر افزایش عمق مؤثر استخراج آب یعنی نفوذ ریشه به لایه‌های زیرین، قابل دسترس شده است و DRAIN: زه‌کشی از لایه دوم هستند. همگی این اجزا دارای واحد میلی‌متر و در مقیاس روزانه می‌باشند.

رشد ریشه و عمق آن: برای لایه مؤثر ریشه یا همان عمق مؤثر استخراج آب، کل آب قابل دسترس خاک (TTSW)، کل آب خاک (WATRL)، آب خاک در حالت اشباع (WSATRL) و کسر آب قابل دسترس خاک (FTSW) که همگی برحسب میلی‌متر هستند با معادلات زیر محاسبه می‌گردد (Soltani & Sinclair, 2012):

$$TTSW = DEPORT \times EXTR \quad \text{معادله (۱۷)}$$

$$WATRL = DEPORT \times CLL + ATSW \quad \text{معادله (۱۸)}$$

$$WSATRL = DEPORT \times SAT \quad \text{معادله (۱۹)}$$

$$FTSW = ATSW / TTSW \quad \text{معادله (۲۰)}$$

که در آن، DEPORT: عمق لایه مؤثر ریشه (میلی‌متر) است، EXTR: کسر حجمی آب خاک قابل دسترس (تفاضل حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم)، CLL: رطوبت خاک در حد نقطه پژمردگی دائم و SAT: رطوبت خاک در نقطه اشباع هستند و واحد آن‌ها متر بر متر یا مترمکعب بر مترمکعب می‌باشند. FTSW: شاخص وضعیت رطوبتی خاک در لایه مؤثر ریشه که مقدار آن در CLL برابر صفر، در ظرفیت زراعی برابر یک و در بالاتر از آن، بیشتر از یک است.

تبخیر از خاک: بدین منظور ابتدا تبخیر تعرق بالقوه (PET)، سپس تبخیر بالقوه از سطح خاک (EOS) و سرانجام تبخیر واقعی از سطح خاک (SEVP) و همگی برحسب میلی‌متر در روز محاسبه می‌شوند.

تبخیر تعرق بالقوه با روش پرستلی و تیلور اصلاح شده توسط ریچی محاسبه می‌شود (Priestley & TAYLOR, 1972; Ritchie, 1998). در این روش، ابتدا تبخیر و تعرق معادل (EEQ) از آلبدو (ALBEDO) سطح (خاک و گیاه زراعی)، میانگین دمای هوا در طی روز (TD) و تشعشع خورشیدی روزانه (SRAD) به‌دست آید:

$$EEQ = SRAD \times (0.004876 - 0.004374 \times ALBEDO) \times (TD + 29) \quad \text{معادله (۲۱)}$$

WSFG: ضریب اصلاحی RUE برای تنش آب هستند و مقدار آن‌ها برحسب شرایط دمای هوا و آب خاک بین صفر (تنش کامل) و یک (بدون تنش) متغیر است.

فاکتور تصحیح RUE برای دما (TCFRUE) در مدل با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

معادله (۱۴)

$$\begin{aligned} TCFRUE &= 0 & \text{if } TMP \leq TBRUE \\ TCFRUE &= (TMP - TBRUE) / (TP1RUE - TBRUE) & \text{if } TBRUE < TMP < TP1RUE \\ TCFRUE &= 1 & \text{if } TP1RUE \leq TMP \leq TP2RUE \\ TCFRUE &= (TP2RUE - TMP) / (TP2RUE - TCRUE) & \text{if } TP2RUE < TMP < TCRUE \\ TCFRUE &= 0 & \text{if } TMP \geq TCRUE \end{aligned}$$

که در آن، مقدار TCFRUE بین صفر تا یک متغیر است. TCRUE، TP2RUE، TP1RUE، TBRUE: دماهای کاردینال (به ترتیب دمای پایه، دمای مطلوب تحتانی، دمای مطلوب فوقانی و دمای سقف) برای RUE می‌باشند و همگی برحسب درجه سانتی‌گراد هستند.

موازنه آب خاک: مدل حاضر موازنه آب خاک در مزرعه یا باغات و اثرات تنش آبی (کمبود و یا زیادی) را شبیه‌سازی می‌کند (Soltani & Sinclair, 2012; Ritchie, 1998; Sinclair, 1986). برای انجام محاسبات موازنه آب خاک، خاک به صورت دو لایه در نظر گرفته شده است. این دو لایه عبارتند از: یک لایه فوقانی با ضخامت ۱۵ تا ۶۰ سانتی‌متر و یک لایه دوم که خود شامل لایه اول نیز می‌باشد و برابر با عمق مؤثر استخراج آب^۱ توسط گیاه است؛ بنابراین، عمق لایه دوم در ابتدا برابر با عمق اولیه ریشه در شروع شبیه‌سازی گیاه (کاشت، شروع مجدد در رشد بهاره یا باز شدن جوانه) است که با رشد ریشه افزایش می‌یابد تا به حداکثر خود برسد.

در هر روز معین (i) مقدار آب قابل دسترس در لایه اول (ATSW₁، میلی‌متر) و لایه دوم (ATSW) با معادلات زیر محاسبه می‌شود:

معادله (۱۵)

$$ATSW_i = ATSW_{i-1} + RAIN + IRGW - DRAIN1 - RUNOF - SEVP - TR1$$

معادله (۱۶)

$$ATSW_i = ATSW_{i-1} + RAIN + IRGW + EWAT - DRAIN1 - RUNOF - SEVP - TR$$

که در آن، RAIN: بارندگی روزانه، IRGW: آبیاری انجام شده،

$SEVP = EOS \times [(DYSE + 1)^{0.5} - DYSE^{0.5}]$ Stage II
که در آن، DYSE: تعداد روز از شروع مرحله دوم است.

تعرق از گیاه: تعرق روزانه از گیاه (TR، میلی‌متر در روز) بر اساس پیوستگی بین تعرق و تولید ماده خشک روزانه (DDMP) محاسبه می‌شود (Tanner & Sinclair, 1983). بر این اساس، مقدار تعرق روزانه متناسب با مقدار ماده خشک روزانه (حاصل فتوسنتز که از طریق روزنه‌ها رخ می‌دهد یعنی همان مسیری که تعرق از آن روی می‌دهد) است که درجه خشکی هوا (VPD، کمبود فشار بخار اشباع برحسب کیلو پاسکال) و ویژگی‌های گیاه از طریق ضریب کارایی تعرق (TEC، کیلو پاسکال) نیز اثرگذار است:

$$TR = (DDMP \times VPD) / TEC \quad \text{معادله (۲۷)}$$

کمبود فشار بخار اشباع (VPD) به صورت کسری (VPDF) از اختلاف بین فشار بخار اشباع در دمای حداکثر روزانه (VPTMAX) و دمای حداقل روزانه (VPTMIN) به دست می‌آید:

$$VPD = VPDF (VPTMAX - VPTMIN) \quad \text{معادله (۲۸)}$$

که در آن، مقدار VPDF عموماً برابر ۰/۷۵ می‌باشد، ولی در مناطق مرطوب و نیمه مرطوب به ۰/۶۵ قابل کاهش است.

بخشی از آب تعرق از لایه اول استخراج می‌شود. چنانچه عمق لایه مؤثر ریشه برابر یا کوچک‌تر از لایه اول باشد، همه آب تعرق از لایه اول جذب می‌شود؛ اما چنانچه عمق لایه مؤثر ریشه بزرگ‌تر باشد، بخشی از آب تعرق از لایه اول و مابقی از لایه ریشه واقع در زیر این لایه جذب می‌گردد. در مدل این کسر (RT1) به کسر آب قابل دسترس در لایه اول (FTSW1) ارتباط داده شده است. چنانچه FTSW1 بزرگ‌تر از حد تنش برای رشد (روزنه) گیاه باشد (WSSG)، مقدار RT1 برابر یک فرض می‌شود و بدین معنی است که به دلیل رطوبت مناسب در این لایه، همه آب تعرق از آن لایه جذب شده است. با خشک‌تر شدن لایه اول و کاهش FTSW1 به کمتر از WSSG، مقدار این کسر (RT1) از یک رو به کاهش می‌گذارد و در FTSW1 برابر با صفر، به صفر می‌رسد:

$$RT1 = 1 \quad \text{if} \quad FTSW1 \geq WSSG$$

$$RT1 = FTSW1 / WSSG \quad \text{if} \quad FTSW1 \leq WSSG$$

با ضرب RT1 در مقدار تعرق روزانه (TR)، مقدار آب تعرق یافته که از لایه اول جذب و استخراج شده است (TR1)، تخمین زده می‌شود.

زه‌کشی: زه‌کشی زمانی اتفاق می‌افتد که آب قابل دسترس

میانگین دمای هوا از معادله زیر محاسبه می‌شود که در آن وزن بیشتری به حداکثر دمای روزانه داده شده است:

$$TD = 0.6 \times TMAX + 0.4 \times TMIN \quad \text{معادله (۲۲)}$$

آلبدو سطح بستگی به بخشی از سطح مزرعه که توسط گیاه زراعی یا خاک پوشیده شده دارد و به آلبدو گیاه زراعی (CALB) یا خاک (SALB) نیز وابسته است:

$$ALBEDO = CALB \times (1 - \exp(-KET \times ETLAI)) + SALB \times (\exp(-KET \times ETLAI))$$

بعد از تخمین EEQ، تبخیر تعرق بالقوه بسته به شرایط طی روز به دست می‌آید:

$$PET = EEQ \times 1.1 \quad \text{if} \quad 5 \leq TMAX \leq 34$$

$$PET = EEQ((TMAX - 34) \times 0.05 + 1.1) \quad \text{if} \quad TMAX > 34$$

$$PET = EEQ \times 0.01 \times \exp(0.18 \times (TMAX + 20)) \quad \text{if} \quad TMAX < 5$$

که در آن، TMAX: حداکثر دمای روزانه می‌باشد. تبخیر بالقوه از سطح خاک یعنی تبخیر از خاک کاملاً مرطوب، با ضرب PET در کسری از سطح خاک که توسط گیاه پوشیده نشده است به دست می‌آید:

$$EOS = PET \times \exp(-KET \times ETLAI) \quad \text{معادله (۲۵)}$$

که در آن، عبارت نمایی در سمت راست معادله، کسری از زمین که لخت است را نشان می‌دهد، KET: ضریب خاموشی برای کل تشعشع خورشیدی (و نه PAR) (معادل ۰/۵) و ETLAI: شاخص سطح برگ مؤثر در تبخیر هستند.

تبخیر حقیقی از سطح خاک (SEVP) بر مبنای مدل ساده شده دو مرحله‌ای تبخیر است (Soltani & Sinclair, 2012). در مرحله اول، تبخیر از سطح خاک توسط انرژی قابل دسترس محدود می‌شود و زمانی اتفاق می‌افتد که لایه اول خاک مرطوب باشد، یعنی اولین روز پس از مرطوب شدن سطح خاک با بارندگی یا آبیاری بیش از ۱۰ میلی‌متر. در این شرایط مقدار SEVP مساوی با EOS قرار داده می‌شود. مرحله دوم، در زمانی اتفاق می‌افتد که لایه اول خشک باشد و یا از مرطوب شدن سطح خاک بیش از یک روز گذشته باشد، یا کسر آب قابل دسترس در لایه مؤثر ریشه کمتر از نیم باشد. در این مرحله، هر چه زمان پیشرفت کند، تبخیر حقیقی از سطح خاک کمتر می‌شود. معادله زیر مراحل تبخیر از سطح خاک را نشان می‌دهد:

$$SEVP = EOS \quad \text{معادله (۲۶)}$$

Stage I

ارزیابی مدل: ارزیابی مدل با استفاده از یک سری داده‌های

آزمایشی مستقل که در پارامتریابی استفاده نشده بودند، انجام شد. فنولوژی (جدول ۳) و عملکرد (جدول ۳) شبیه‌سازی شده محصول یونجه با همین متغیرها از آزمایش‌های جمع‌آوری شده مقایسه شدند. در ارزیابی مقدار نیاز آبی یونجه (جدول ۴) از برنامه NETWAT به‌عنوان داده‌های مشاهده شده استفاده شد (که این داده‌ها هم به‌صورت برآورد می‌باشد). روش محاسبه نیاز آبی در این برنامه بدین صورت است که، برنامه ابتدا تبخیرتقرق یعنی ETo را با روش پنمن-مانیت محاسبه می‌کند و بعد با توجه به ضریب گیاهی به تبخیرتقرق گیاه زراعی یعنی ETC و سپس به‌میزان نیاز آبیاری خالص می‌رسد.

برای ارزیابی توانایی مدل در شبیه‌سازی این متغیرها، مقادیر ضریب تغییرات (CV)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی (r) بین مقادیر شبیه‌سازی شده و گزارش شده محاسبه شدند. همچنین، خط ۱:۱ با اختلاف ۲۰ درصد برای نشان دادن میزان انحراف شبیه‌سازی شده در مقابل مقادیر مشاهده شده استفاده شد. این شاخص‌های آماری به شرح زیر محاسبه شده است:

$$RMSE = \sqrt{\sum (P_i - O_i)^2 / (n-1)} \quad (31) \quad \text{معادله (۳۱)}$$

که در آن، P: مقادیر شبیه‌سازی شده، O: مقادیر مشاهده شده و n: تعداد نمونه می‌باشد. همچنین از تقسیم RMSE بر میانگین مقادیر گزارش شده، RMSE نسبی یا ضریب تغییرات (CV) محاسبه می‌گردد.

نتایج و بحث

در مجموع، ۳۷ پارامتر گیاهی برای پارامتریابی مدل SSM-iCrop2 برای محصول یونجه استفاده شد (جدول ۵). در این مدل، تفاوت بین ارقام با کمک سه پارامتر واحد دمایی تا رسیدگی (tuHAR)، حداکثر سطح برگ مورد انتظار (LAIMX) و حداکثر شاخص برداشت (HIMAX) قابل توجیه بود. این بدان معنی است که سایر پارامترها تفاوت گونه‌ها را مشخص می‌کنند و برای تفاوت ارقام داخل یک گونه این سه پارامتر کافی هستند. از ارقام مختلف محصول یونجه با ویژگی‌های رشدی متفاوت برای پارامتریابی مدل SSM-iCrop2 استفاده شد و نتیجه پارامتریابی مدل تعریف دو رقم با شاخص سطح برگ متفاوت (پر محصول و کم محصول) بود.

خاک در یک لایه (ATSW) بیشتر از کل آب قابل دسترس در آن لایه (TTSW) باشد. در این شرایط آب اضافه بر ظرفیت زراعی یا DUL در اثر نیروی ثقل از لایه خارج می‌شود (Ritchie, 1998):

معادله (۳۰)

$$\begin{aligned} DRAIN &= 0 & \text{if } ATSW \leq TTSW \\ DRAIN &= (ATSW - TTSW) \times DRAINF & \text{if } ATSW > TTSW \end{aligned}$$

که در آن، DRAINF: ضریب زه‌کشی و ورودی خاک برای مدل است. چنانچه مقدار DRAINF معادل یک باشد، کل مازاد بر ظرفیت زراعی در یک روز از خاک خارج می‌شود، چنانچه مقدار آن مثلاً ۰/۳ باشد، در هر روز ۳۰ درصد آب مازاد بر ظرفیت زراعی از خاک خارج می‌گردد.

پارامتریابی مدل: پارامتریابی مدل SSM-iCrop2 با استفاده

از داده‌های جمع‌آوری شده مربوط به رشد و تولید محصول یونجه از مقالات مختلف در سراسر کشور که در جدول ۳ ارائه شده است انجام شد. همچنین اطلاعات هواشناسی و خاک مورد نیاز برای مناطق انتخابی جمع‌آوری شد و اطلاعات مدیریتی منطبق بر آنچه در مقالات بیان شده بود، انتخاب شد. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته از بین نشریات داخلی ۲۱۰ مقاله در خصوص محصول یونجه در استان‌های مهم تولیدکننده یافت شد که از بین این مقالات، تعداد ۸۵ مقاله دارای تاریخ شروع رشد مجدد بهاره دقیق بودند و مابقی به تاریخ مذکور نپرداخته بودند. از بین این ۸۵ مقاله نیز برخی از مقالات به تاریخ برداشت هر چین نپرداخته بودند؛ بنابراین، برخی دیگر از مقالات بدین صورت حذف گردید، از بین مقالات باقی‌مانده ۱۱ مقاله جهت پارامتریابی و ۱۰ مقاله جهت ارزیابی انتخاب شدند. علاوه‌براین اطلاعات عملکرد یونجه آبی با همکاری سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی از مراکز اصلی تولید این گیاه جمع‌آوری و برای ارزیابی مدل استفاده شد. نحوه پارامتریابی مدل بدین صورت بود که پارامتریابی برای فنولوژی، سطح برگ و تولید ماده خشک انجام گرفت که این پارامترها با استفاده از داده‌های تجربی نشان داده شده در جدول ۳ برآورد شده است. برای تعیین صحت پارامترهای برآورد شده، خروجی مدل عملکرد تک چین و مجموع عملکرد چین‌های سالانه با آزمایش‌های مستقل (جدول ۳) با استفاده از شاخص‌های آماری مقایسه شد (به بخش بعدی مراجعه کنید). اگر پارامترها نادرست باشند، پارامترها تغییر می‌کنند، به‌طوری‌که مقادیر خروجی مدل به نتایج آزمایش مستقل نزدیک می‌شوند.

جدول ۳- آزمایش‌های مورد استفاده برای پارامتریابی و ارزیابی مدل SSM-iCrop2
Table 3- Experiments used for parameterization and evaluation of SSM-iCrop2

استان، مکان و سال Province, location and year	تیمارها Treatments	منابع References
آزمایش‌های مورد استفاده در بخش پارامتریابی مدل Experiments used for model parameterization		
خوزستان، اهواز، ۱۳۹۱-۱۳۸۹ Khuzestan, Ahvaz, 2010-2012	ژنوتیپ، فصول Genotype, seasons	Lack et al. (2016)
فارس، فسا، ۱۳۹۱-۱۳۹۰ Fars, Fasa, 2011-2012	میزان بذر، کشت مخلوط Seed rate, intercropping	Madandust & Zahedi, (2014)
سیستان و بلوچستان، خاش، ۱۳۹۲-۱۳۹۱ Sistan and Baluchestan, Khash, 2012-2013	ژنوتیپ Genotype	Moeini Zadeh et al. (2016)
خوزستان، اهواز، ۱۳۹۶ Khuzestan, Ahvaz, 2017	تاریخ برداشت، شوری Harvesting date, salinity	Nekoian far et al. (2017)
یزد، یزد، ۱۳۹۳-۱۳۹۲ Yazd, Yazd, 2013-2014	تاریخ برداشت Harvesting date	Tabatabaei et al. (2017)
محال و بختیاری، شهر کرد، ۱۳۹۳ Chahar Mahal and Bakhtiari, Shahrekord, 2014	اسید هومیک Humic acid	Tadayon & Zafarian, (2016)
شیراز، باجگاه، ۱۳۸۸-۱۳۸۷ Shiraz, Bajgah, 2008-2009	روش‌های کاشت، مقادیر بذر Planting methods, seed quantities	Yazdani et al. (2015)
البرز، کرج، ۱۳۷۶-۱۳۷۵ Karaj, Alborz, 1996-1997	ژنوتیپ Genotype	Zamanian, (2003)
تهران، ورامین، ۱۳۹۴ Tehran, Varamin, 2015	منابع کود Fertilizer sources	Naderi, (2017)
خوزستان، اهواز، ۱۳۹۱-۱۳۹۰ Khuzestan, Ahvaz, 2011-2012	آبیاری Irrigation	Behnam Far et al. (2015)
قم، قمرو، ۱۳۸۰-۱۳۷۷ Qom, Qomrud, 1998-2001	ژنوتیپ Genotype	Zamanian et al. (2004)
آزمایش‌های مورد استفاده در بخش ارزیابی مدل Experiments used for model evaluation		
اصفهان، نجف‌آباد، ۱۳۹۰-۱۳۸۹ Isfahan, Najaf Abad, 2010-2011	تنش شوری، ژنوتیپ Salt stress, genotype	Ashrafi et al. (2015)
مرکزی، اراک، ۱۳۹۳-۱۳۹۲ Markazi, Arak, 2013-2014	کودهای شیمیایی و بیولوژیکی Chemical and biological fertilizers	Madani et al. (2015)
همدان، بهار، ۱۳۹۱-۱۳۹۰ Hamadan, Bahar, 2011-2012	اثر چین Cutting effect	Majnuni et al. (2013)
کرمان، جیرفت، ۱۳۸۵-۱۳۸۴ Kerman, Jiroft, 2005-2006	آبیاری Irrigation	Sadat Asilan & Hajiluei, (2010)
خوزستان، اهواز، ۱۳۸۸-۱۳۸۷ Khuzestan, Ahvaz, 2008-2009	ژنوتیپ Genotype	Seyyed Mohammadi et al. (2011)
قم، قمرو، ۱۳۸۷-۱۳۸۵ Qom, Qomrud, 2006-2008	شوری Salinity	Tabandeh, (2014)
اردبیل، موغان، ۱۳۹۲ Ardabil, Moqan, 2013	کانوپی، قدرت بذر Canopy, seed power	Soleyman Zadeh et al. (2015)
زنجان، خیرآباد، ۱۳۸۵-۱۳۸۳ Zanjan, Kheyr Abad, 2004-2006	کشت مخلوط جو و یونجه Alfalfa and barley intercropping	Taherion et al. (2013)
بلوچستان، ایرانشهر، ۱۳۸۶-۱۳۸۴ Baluchestan, Iranshahr, 2005-2007	روش کشت، میزان بذر Cropping method, seed rate	Miri, (2014)
تهران، هشتگرد، ۱۳۹۳ Tehran, Hashtgerd, 2014	قابلیت تولید Product capability	Nush Abadi et al. (2017)

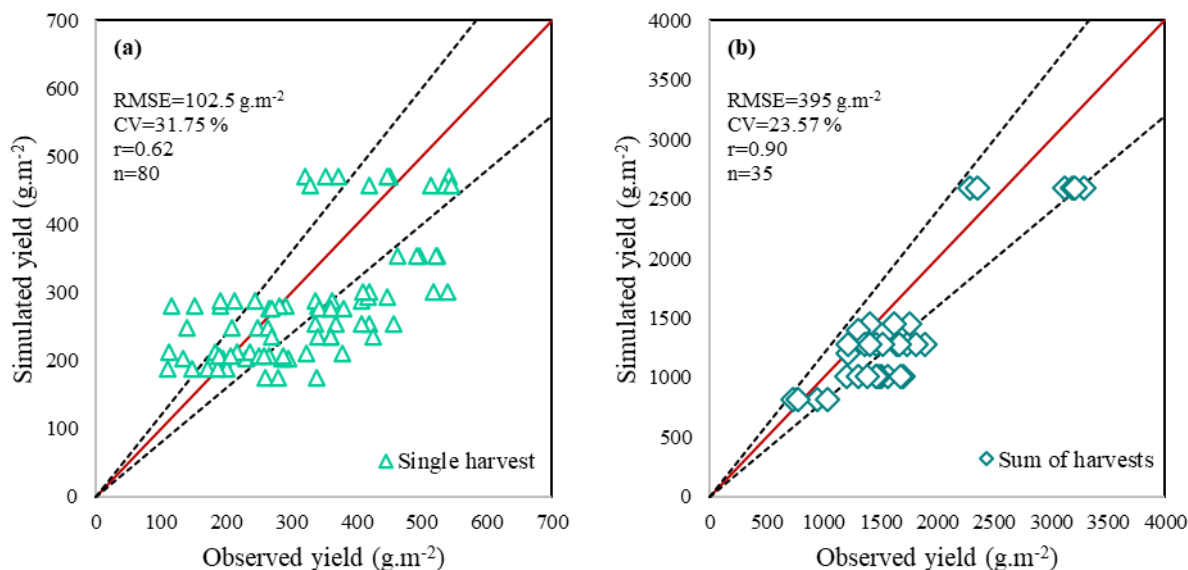
جدول ۴- آزمایش‌های مورد استفاده برای ارزیابی نیاز آبی مدل SSM-iCrop2

Table 4- Experiments used for evaluation of the water requirement of SSM-iCrop2

لیست نقاط مقایسه نیاز آبی ارزیابی شده از NETWAT با SSM-iCrop2		
List of points to compare evaluated water requirement from NETWAT with SSM-iCrop2		
اردبیل، اردبیل	همدان، بهار همدان	لرستان، الیگودرز
Ardebil, Ardebil	Hamadan, Bahar Hamadan	Lorestan, Aligudarz
اردبیل، گرمی	کرمان، لاله‌زار	مرکزی، کمijan
Ardebil, Germe	Kerman, Lalehzar	Markazi, Komijan
اردبیل، مغان	کرمان، زرند	مرکزی، غرق‌آباد
Ardebil, Moqan	Kerman, Zarand	Markazi, Qarqabad
چهارمحال و بختیاری، بروجن	کرمان، بم	قم، قم
Chahar Mahal and Bakhtiari, Borujen	Kerman, Bam	Qom, Qom
چهارمحال و بختیاری، شهرکرد	کرمان، میانه جیرفت	سمنان، گرمسار
Chahar Mahal and Bakhtiari, Shahrekord	Kerman, Miandeh jiroft	Semnan, Garmsar
آذربایجان شرقی، بستان‌آباد	کرمانشاه، سنقر	آذربایجان غربی، میاندوآب
East Azarbaijan, Bostanabad	Kermanshah, Sonqor	West Azarbaijan, Miandoab
آذربایجان شرقی، میانه	خراسان رضوی، قوچان	آذربایجان غربی، خوی
East Azarbaijan, Mianeh	Razavi Khorasan, Quchan	West Azarbaijan, Khoy
آذربایجان شرقی، تبریز	خراسان رضوی، سبزوار	آذربایجان غربی، سلماس
East Azarbaijan, Tabriz	Razavi Khorasan, Sabzevar	West Azarbaijan, Salmas
اصفهان، خوانسار	کهگیلویه و بویر احمد، یاسوج	آذربایجان غربی، ارومیه
Isfahan, Khansar	Kohgiluyeh and Boyer Ahmad, Yasuj	West Azarbaijan, Orumyeh
فارس، اقلید فارس	کردستان، بیجار	آذربایجان غربی، ماه‌نشان
Fars, Eqlide fars	Kordestan, Bijar	West Azarbaijan, Mah neshan
فارس، زرگان	کردستان، سقز	آذربایجان غربی، خداوند
Fars, Zarqan	Kordestan, Saqez	West Azarbaijan, Khoda bandeh
همدان، نهاوند	لرستان، بروجرود	
Hamadan, Nahavand	Lorestan, Broujerd	

پارامترهای برآورد شده برای مدل در جدول (۵) نشان داده شده است. دامنه مقدار تعداد چین‌ها در پارامتریابی بین دو تا هشت چین بسته به نوع آزمایش صورت گرفته در آن منطقه مورد نظر متغیر بود. برای پارامتریابی مدل SSM-iCrop2 مقادیر عملکرد علوفه یونجه شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهده شده مقایسه گردید. بدین منظور از مجموعه‌ای از داده‌های آزمایشی استفاده شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که دامنه مقادیر عملکرد علوفه تک چین مشاهده شده بین ۱۱۱ تا ۵۴۶ گرم در مترمربع با میانگین ۳۲۳ گرم در مترمربع و دامنه مقادیر عملکرد علوفه تک چین شبیه‌سازی شده بین ۱۷۵ تا ۴۷۱ گرم در مترمربع با میانگین ۲۸۰ گرم در مترمربع به‌دست آمد. همچنین دامنه مقادیر مجموع عملکرد علوفه سالانه مشاهده شده بین ۷۳۰ تا ۳۲۹۲ گرم در مترمربع با میانگین ۱۶۷۶ گرم در مترمربع و دامنه مقادیر

مجموع عملکرد علوفه سالانه شبیه‌سازی شده بین ۸۲۰ تا ۲۵۹۵ گرم در مترمربع با میانگین ۱۳۹۲ گرم در مترمربع محاسبه شد. در نهایت، ۸۰ نقطه برای عملکرد علوفه تک چین با جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برابر با ۱۰۲/۵ گرم در مترمربع و ضریب همبستگی (r) ۰/۶۲ (شکل ۱-ا) و تعداد ۳۵ نقطه برای عملکرد علوفه سالانه یونجه با جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برابر با ۳۹۵ گرم در مترمربع و ضریب همبستگی (r) ۰/۹۰ به‌دست آمد (شکل ۱-ب). نتایج نشان داد که نزدیک به نیمی از نقاط در عملکرد علوفه یونجه تک چین و بیشتر نقاط در عملکرد علوفه سالانه در محدوده خطوط ± 20 از خط ۱:۱ قرار گرفت که این امر بیانگر تخمین خوبی از پارامترهای مدل می‌باشد.



شکل ۱- نتایج مربوط به عملکرد علوفه تک چین مشاهده شده در مقابل عملکرد علوفه تک چین شبیه‌سازی شده (a)، و مجموع عملکرد علوفه سالانه مشاهده شده در مقابل مجموع عملکرد علوفه سالانه شبیه‌سازی شده (b) (با رطوبت صفر درصد) توسط مدل SSM-iCrop2 بر اساس داده‌های استفاده شده در بخش پارامتریابی

Fig. 1- Observed versus Simulated single-cut forage yield (a), Observed versus Simulated total annual forage yield (b) (0% mc) by SSM-iCrop2 model based on data used in model parameterization

نقطه چین نشان‌دهنده حدود اطمینان ۲۰ درصد و خط پر نشان‌دهنده خط ۱:۱ است.

The $\pm 20\%$ discrepancy lines are indicated by dashed lines. The solid line is 1:1 line.

جدول ۵- پارامترهای برآورد شده در مدل SSM-iCrop2 برای محصول یونجه در ایران

Table 5- SSM-iCrop2 parameter estimates for alfalfa in Iran

پارامتر (واحد) Parameter (Unit)	مخفف Abv	مقدار Value	منبع References
فنولوژی Phenology			
دمای پایه برای نمو Base temperature for development (°C)	TBD	5	جدول ۳ Table 3
دمای مطلوب تحتانی برای نمو Lower optimum temperature for development (°C)	TP1D	30	جدول ۳ Table 3
دمای مطلوب فوقانی برای نمو Upper optimum temperature for development (°C)	TP2D	30	جدول ۳ Table 3
دمای سقف برای نمو Ceiling temperature for development (°C)	TCD	40	جدول ۳ Table 3
واحد دمایی از ۱ ژانویه برای رشد مجدد بهاره یا بازشدن جوانه درختان Temperature unit from 1 st January to bud burst or spring regrowth (°C)	ForReq	180	*
واحد دمایی برای جوانه‌زنی یا شروع رشد برگ Temperature unit for emergence or beginning leaf growth (°C)	tuEMR	6.5	*
واحد دمایی برای شروع رشد بذر یا میوه Temperature unit for beginning of seed or fruit growth (°C)	tuBSG	7.15	*
واحد دمایی برای پایان رشد بذر یا میوه Temperature unit for termination of seed or fruit growth (°C)	tuTSG	643.5	*
واحد دمایی برای بلوغ فیزیولوژیکی (پایان تجمع ماده خشک) Temperature unit for physiological maturity (end of dry mass accumulation) (°C)	tuPM	643.5	*

واحد دمایی برای برداشت یا ریزش برگ Temperature unit for harvest or leaf fall (°C)	tuHAR	650	*
توسعه سطح برگ و پیری Leaf area development and senescence			
نقطه ۱ شاخص سطح برگ نسبی در مقابل مرحله نمو نسبی یا نرمالیزه شده** Point #1 Relative leaf area index versus relative or normalized development stage**	x1, y1	(0.15, 0.01)	*
نقطه ۲ شاخص سطح برگ نسبی در مقابل مرحله نمو نسبی یا نرمالیزه شده** Point #2 Relative leaf area index versus relative or normalized development stage**	x2, y2	(0.8, 0.95)	*
حداکثر شاخص سطح برگ قابل انتظار Maximum expected leaf area index	LAIMX	3-5	*
واحد دمایی از کاشت تا شروع پیر شدن برگ‌ها Thermal unit from planting to the beginning of leaf aging (°C)	tuBLS	643.5	جدول ۳ Table 3
ضریب سرعت پیر شدن برگ Leaf senescence rate coefficient	SRATE	0	*
آستانه انجماد برای مرگ برگ / دمای پایین Low temperature / freezing threshold for leaf death (°C)	FrzTh	-7	*
مرگ نسبی برگ به ازای هر درجه کاهش دما زیر دمای پایین / آستانه انجماد Relative leaf death per each degree below low temperature / freezing threshold	FrzLDR	0.01	*
دمای آستانه گرما برای پیر شدن برگ‌ها Heat threshold temperature for leaf senescence (°C)	HeatTH	35	*
افزایش نسبی سرعت پیری برگ به ازای هر درجه افزایش دما از دمای آستانه گرما Relative increase in leaf senescence rate per each degree above heat threshold	HtLDR	0.1	*
تجمع ماده خشک Dry mass accumulation			
دمای پایه برای تولید ماده خشک Base temperature for dry matter production (°C)	TBRUE	0	*
دمای مطلوب تحتانی برای تولید ماده خشک Lower optimum temperature for dry matter production (°C)	TP1RUE	8	*
دمای مطلوب فوقانی برای تولید ماده خشک Upper optimum temperature for dry matter production (°C)	TP2RUE	25	*
دمای سقف برای تولید ماده خشک Ceiling temperature for dry matter production (°C)	TCRUE	40	*
ضریب خاموشی برای تشعشع فعال فتوسنتزی Extinction coefficient for photosynthetically active radiation	KPAR	0.65	جدول ۳ Table 3
کارایی استفاده از تشعشع در شرایط مطلوب رشد Radiation use efficiency under optimal growth conditions (g.MJ ⁻¹)	RUE	2.3	جدول ۳ Table 3
ضریب پاسخ RUE به غلظت CO ₂ Coefficient for response of RUE to CO ₂ concentration	C3C4	0.8	Soltani et al. (2020)
تشکیل عملکرد Yield formation			
حداکثر شاخص برداشت Maximum harvest index	HI _{max}	0.9	جدول ۳ Table 3
کسری از توده خشک قابل جابجایی از بافت رویشی به بذر / میوه در حال رشد Fraction of dry mass remobilizable from the vegetative tissue to the developing seeds/fruits (g.g ⁻¹)	FRTRL	0.05	*
ضریب تبدیل دانه Grain conversion coefficient (g.g ⁻¹)	GCC	1	Soltani et al. (2020)
روابط آب Water relations			
واحد دمایی برای شروع رشد ریشه Temperature unit for beginning root growth (°C)	tuBRG	6.5	*
واحد دمایی برای پایان رشد ریشه Temperature unit for termination root growth (°C)	tuTRG	643.5	*

عمق ریشه در زمان سبز شدن Initial depth of roots at emergence or beginning leaf growth (mm)	iDEPORT	1000	*
حداکثر عمق مؤثر استخراج آب از خاک توسط ریشه Maximum effective depth of water extraction from soil (mm)	MEED	1300	*
ضریب کارایی تعرق Transpiration efficiency coefficient	TEC	5	*
کسر آب قابل دسترس خاک که در کمتر از آن تولید ماده خشک کم می‌شود FTSW threshold when dry matter production starts to decline	WSSG	0.5	*
کسر آب قابل دسترس خاک که در کمتر از آن گسترش سطح برگ کم می‌شود FTSW threshold when leaf area development starts to decline	WSSL	0.5	*
ضریب حساسیت نمو و پیر شدن به تنش خشکی Developmental susceptibility coefficient and aging to drought stress	WSSD	0	*

* مقادیر از مقالات منتخب استخراج و در پارامتریابی مدل استفاده شد و در جدول قرار گرفت.

* Values were extracted from selected articles and used in model parameterization and tabulated.

** به‌عنوان حداکثر سطح برگ گیاه در شرایط مطلوب (PLAMX: ۵۷۱ سانتی مترمربع در هر بوته) با تراکم گیاه (۷۰ گیاه در مترمربع برای شرایط آبیاری) استفاده می‌شود.

** Used as maximum plant leaf area under optimal condition (PLAMX: 571 cm² per plant) product by plant density (70 plants per m² for irrigated conditions)

مجدد بهار در یونجه برآورد شد. جهت بررسی میزان دقت این تاریخ، تاریخ‌های شروع رشد مجدد بهار مشاهده شده در مقابل مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل قرار گرفت. نتایج نشان داد که ضریب تغییرات (CV) تاریخ مذکور برابر با ۱۰ درصد و ضریب همبستگی (r) برابر ۰/۹۱ و میانگین مربعات خطا (RMSE) نه روز به‌دست آمد که حاکی از دقت بالای تخمین تاریخ شروع مجدد بهار می‌باشد (شکل ۲).

نتایج ارزیابی مربوط به نیاز آبی یونجه بر اساس داده‌های موجود در برنامه NETWAT (که این داده‌ها هم به‌صورت برآورد می‌باشد) برای مقایسه با نتایج حاصل از مدل انجام گرفت و نتایج نشان داد که دامنه نیاز آبی یونجه در برنامه NETWAT بین ۵۱۴۰ تا ۱۲۶۹۰ با میانگین ۸۷۴۶ مترمکعب در هکتار و دامنه مقادیر نیاز آبی یونجه شبیه‌سازی شده بین ۴۰۹۳ تا ۱۶۸۷۴ با میانگین ۱۰۹۴۰ مترمکعب در هکتار به‌دست آمد و نتایج با میانگین مربعات خطا (RMSE)، ۳۵۰۳ مترمکعب در هکتار، ضریب تغییرات برابر ۴۰ درصد و مقدار ضریب همبستگی ۰/۴۳ به‌دست آمد. همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، تقریباً نیمی از نقاط در محدوده خط ± 20 قرار دارد. از آنجایی که برنامه NETWAT نیز مدل می‌باشد، لزوماً از شکل مذکور نمی‌توان نتیجه‌گیری دقیقی برای قابل قبول بودن نتایج حاصل از مدل SSM-iCrop2 داشت، اما مدل استفاده شده در پژوهش حاضر قادر به پیش‌بینی میزان آب آبیاری محصولات می‌باشد که برنامه NETWAT این قابلیت را ندارد. همچنین می‌توان خاطر نشان کرد

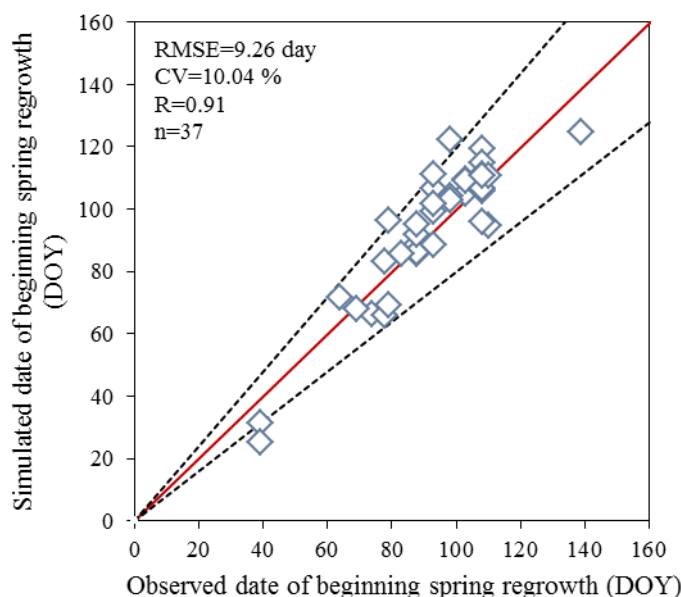
تعداد پارامترها در مدل SSM-iCrop2 خیلی کمتر از مدل‌های DSSAT (Hoogenboom et al., 2019) و APSIM (Hammer et al., 2010) می‌باشد، ولی با تعداد پارامترهای در مدل CropSyst (Stöckle et al., 2003) قابل قیاس است. اخیراً مدلی به‌نام SIMPLE توسط تیمی از مدل‌سازان DSSAT، APSIM و CropSyst تهیه شده است که فقط به ۱۳ پارامتر نیاز دارد (Zhao et al., 2019). مدل SIMPLE رسد و عملکرد گیاهان زراعی را در شرایط پتانسیل و آب محدود شبیه‌سازی می‌کند، ولی این مدل برای گیاهان زراعی پارامتریابی و ارزیابی شده است و گیاهان چندساله و درختان میوه را پوشش نمی‌دهد.

در پژوهشی مدل‌های DSSAT، APSIM، CropSyst و SSM برای گندم مورد استفاده و مقایسه شد، نتایج نشان داد که بین تعداد پارامتر در مدل برای فرآیندهای مختلف و کارکرد مدل ارتباط معنی‌داری وجود ندارد (Soltani & Sinclair, 2015). باید توجه داشت که کم بودن تعداد پارامتر دارای دو جنبه است: گاهی یک مدل در مقایسه با دیگری پارامتر کمتری دارد و تعداد فرآیند و واکنش کمتری را هم شبیه‌سازی می‌کند، اما گاهی برای شبیه‌سازی فرآیند معینی (مثل تولید ماده خشک)، دو مدل دارای تعداد پارامتر متفاوت هستند، که در اینجا منظور این جنبه اخیر است (Soltani, 2009).

آزمون مدل با استفاده از داده‌های مستقل نشان داد که مدل SSM-iCrop2 در مجموع موفق بوده است؛ و نتایج ارزیابی مدل در ادامه ارائه می‌شود. کارکرد مدل برای پیش‌بینی تاریخ شروع رشد

آنجایی که دسترسی به این برنامه (NETWAT) آسان‌تر بود، از نتایج آن برای مقایسه با نتایج مدل استفاده شد.

برای ارزیابی واقعی، مطلوب و نتیجه‌گیری درست میزان نیاز آبی شبیه‌سازی شده باید از داده‌های اندازه‌گیری شده استفاده شود و از



شکل ۲- تاریخ شروع رشد مجدد مشاهده شده در مقابل تاریخ شروع رشد مجدد شبیه‌سازی شده توسط مدل SSM-iCrop2 در ایران. شروع پس از تجمع ۱۸۰ درجه-روز-رشد از اول ژانویه

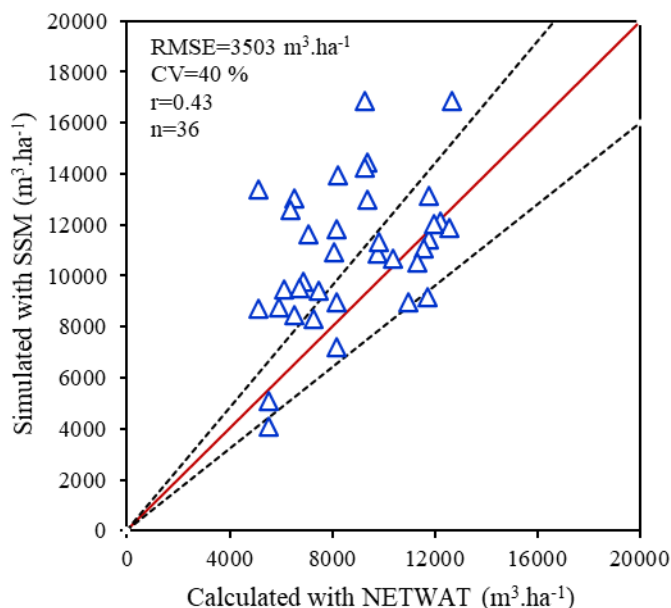
Fig. 2- Observed versus Simulated date of beginning spring regrowth of alfalfa in Iran. Starting after accumulation 180 GDD since 1st of January

نقطه‌چین نشان‌دهنده حدود اطمینان ۲۰ درصد و خط پر نشان‌دهنده خط ۱:۱ است.

The $\pm 20\%$ confidence level is indicated by dashed lines and the Solid line is 1:1 line.

۱۶۵۴ گرم در مترمربع محاسبه شد. در نهایت، ۳۱ نقطه برای عملکرد علوفه تک چین با جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برابر با ۸۸/۳ گرم در مترمربع و ضریب همبستگی (r) ۰/۷۹ (شکل ۴-ا) و تعداد ۲۱ نقطه برای عملکرد علوفه سالانه یونجه با جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برابر با ۳۴۴/۴ گرم در مترمربع و ضریب همبستگی (r) ۰/۹۰ به‌دست آمد (شکل ۴-ب). نتایج نشان داد که نزدیک به نیمی از نقاط در عملکرد علوفه یونجه تک چین و اکثر نقاط در عملکرد علوفه سالانه در محدوده خطوط ± 20 از خط ۱:۱ قرار گرفت که این مقادیر نشان‌دهنده دقت خوب مدل در تخمین عملکرد علوفه یونجه در استان‌های مهم تولیدکننده این محصول می‌باشد که می‌توان از این مدل برای مقاصد مختلف نیز استفاده نمود.

دامنه مقدار تعداد چین‌ها در ارزیابی بین ۱ تا ۱۰ چین بسته به نوع آزمایش صورت گرفته در آن منطقه مورد نظر متغیر بود. همانند قسمت پارامتریابی، ارزیابی عملکرد علوفه یونجه هم برای عملکرد تک چین‌های علوفه یونجه و هم مجموع سالانه محاسبه شد و نتایج ارزیابی برای صفت عملکرد علوفه نشان داد که دامنه مقادیر عملکرد علوفه تک چین مشاهده شده بین ۱۱۲ تا ۶۴۰ گرم در مترمربع با میانگین ۳۳۰ گرم در مترمربع و دامنه مقادیر عملکرد علوفه تک چین شبیه‌سازی شده بین ۱۸۹ تا ۴۵۷ گرم در مترمربع با میانگین ۳۵۱ گرم در مترمربع به‌دست آمد. همچنین دامنه مقادیر مجموع عملکرد علوفه سالانه مشاهده شده بین ۶۴۶ تا ۴۰۴۲ گرم در مترمربع با میانگین ۱۷۱۷ گرم در مترمربع و دامنه مقادیر مجموع عملکرد علوفه سالانه شبیه‌سازی شده بین ۶۹۳ تا ۳۲۹۶ گرم در مترمربع با میانگین

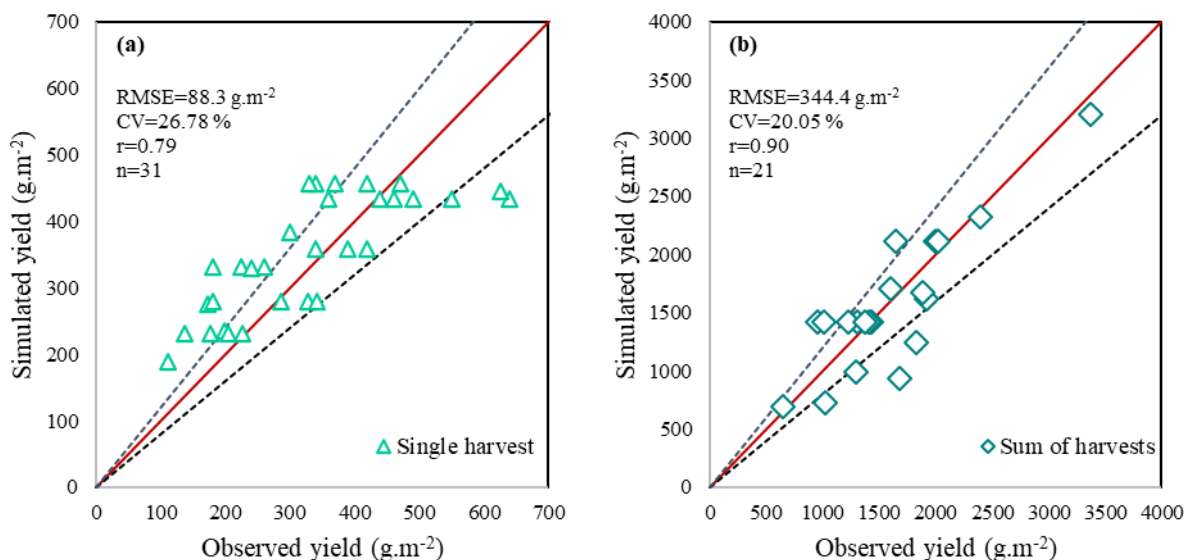


شکل ۳- نیاز آبی محاسبه‌شده با NETWAT در مقابل نیاز آبی شبیه‌سازی شده توسط مدل SSM-iCrop2 در چندین مکان مختلف ایران

Fig. 3- Calculated with NETWAT versus Simulated irrigation water by SSM model in several locations in Iran

حدود اطمینان ۲۰ درصد با خطوط نقطه چین و خط ۱:۱ با خط توپر مشخص شده است.

The $\pm 20\%$ confidence level is indicated by dashed lines. The solid line is 1:1 line.



شکل ۴- نتایج مربوط به عملکرد علوفه تک چین مشاهده شده در مقابل عملکرد علوفه تک چین شبیه‌سازی شده (a)، و مجموع عملکرد علوفه سالانه مشاهده شده در مقابل مجموع عملکرد علوفه سالانه شبیه‌سازی شده (b) (با رطوبت صفر درصد) توسط مدل SSM-iCrop2 بر اساس داده‌های استفاده شده در بخش ارزیابی

Fig. 4- Observed versus Simulated single-cut forage yield (a), Observed versus Simulated total annual forage yield (b) (0% mc) by SSM-iCrop2 model based on data used in model evaluation

نقطه‌چین نشان‌دهنده حدود اطمینان ۲۰ درصد و خط پر نشان‌دهنده خط ۱:۱ است.

The dotted line represents the 20% confidence level, and the solid line represents the 1: 1 line.

داده شد که پارامترهای آماری قابل قبولی بین عملکردهای شبیه‌سازی شده و مشاهده شده ($r=0.67$ ، $RMSE=30.8/4$ کیلوگرم بر هکتار) وجود داشت (Soltani & Sinclair, 2015). در ادامه در همین منطقه، پژوهش دیگری با استفاده از مدل-SSM iLegume به‌منظور پیش‌بینی رشد و عملکرد سویا انجام گرفت و برای برآورد ضرایب و ارزیابی مدل از داده‌های آزمایش‌های مزرعه‌ای مختلف استفاده شد و نتایج حاکی از کارایی قابل قبول آن برای جنبه‌های مهم زراعی در مقابل آزمایش‌های مشاهده شده شامل روز تا گل‌دهی ($RMSE=5/8$ روز و $CV=11\%$)، روز تا رسیدگی ($RMSE=8/7$ روز و $CV=6\%$) و عملکرد دانه ($RMSE=48$ گرم در مترمربع و $CV=15\%$) بود و نشان داده شد که این مدل می‌تواند در مطالعات شبیه‌سازی عملکرد سویا و محدودیت‌های آن در واکنش به شرایط محیطی زیست‌محیطی، ورودی‌های مدیریتی و عوامل ژنتیکی استفاده شود (Nehbandani et al., 2015).

مدل SSM-iCrop2 در مطالعاتی شبیه‌سازی عملکرد و نیاز آبی محصولات متنوع، قابل اجراست. این مدل با موفقیت در یک پروژه امنیت غذایی جهانی (GYGA) استفاده شده و برای تهیه عملکرد پتانسیل چندین محصول زراعی مانند گندم، جو، برنج (*Oryza sativa* L.)، نخود، ذرت، لوبیای معمولی (*Phaseolus vulgaris* L.)، سویا، پنبه (*Gossypium hirsutum* L.)، کلزا (*Brassica napus* L.)، سیب‌زمینی و چغندر (Beta vulgaris L.) در شرایط آبیاری و دیم استفاده شد (Soltani et al., 2020).

نتیجه‌گیری

در بسیاری از موارد، به داده‌های زیادی جهت پارامتریابی و ارزیابی فرآیندهای مختلف شبیه‌سازی شده توسط مدل نیاز است، به‌علاوه تمامی خروجی‌های مدل نمی‌توانند تحت ارزیابی مدل قرار گیرند؛ زیرا اندازه‌گیری دقیق بعضی از پارامترها یا خیلی سخت است و یا اصلاً ممکن نیست؛ بنابراین، در مدل‌هایی مانند مدل-SSM iCrop2 که برای سطح کشور پارامتریابی و ارزیابی شده است، اولین اصل، ساده‌سازی مدل و در عین حال افزایش دقت برآورد عملکرد است که در تحقیق حاضر بدان توجه ویژه‌ای شده است. نتایج به‌دست آمده از پارامتریابی عملکرد علوفه تک چین ($RMSE=102/5$ گرم در مترمربع و $r=0.62$) و مجموع عملکرد علوفه سالانه یونجه (395

چندین مطالعه در خصوص پارامتریابی و ارزیابی مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان با استفاده از مدل SSM-iCrop2 صورت گرفته است. در پژوهشی پارامتریابی و ارزیابی ۳۲ گونه محصول (محصولات زراعی، سبزیجات، درختان میوه و ازجمله محصول یونجه) در کل ایران با استفاده از مدل مذکور انجام گرفت و نتایج ارزیابی برای محصول یونجه در ۲۹ ایستگاه کشور، مقدار $RMSE$ ، CV و r به‌ترتیب برابر با $10/4$ روز، $11/1$ درصد و 0.91 را پیش‌بینی شد و در نتایج ارزیابی مدل برای سایر محصولات نیز دقت قابل قبولی از شبیه‌سازی عملکرد و مراحل فنولوژیک را گزارش شده است (Soltani et al., 2020). همچنین در تحقیق صورت گرفته دیگری بر روی ارزیابی و پارامتریابی محصول سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در کشور با استفاده از مدل مذکور، نتایج قابل قبولی برای مقادیر شاخص‌های آماری در هر دو مرحله پارامتریابی و ارزیابی ($RMSE$ ، CV و r) به‌دست آمد و گزارش شد که می‌توان از این مدل برای تخمین عملکرد بالقوه غده، شکاف عملکرد و اثرات تغییرات آب‌وهوایی استفاده کرد (Dadrasi et al., 2020). در پژوهش انجام شده در خصوص پارامتریابی و ارزیابی مدل SSM-iCrop2 برای گیاه ذرت در استان همدان، نتایج ارزیابی مدل دقت قابل قبولی از شبیه‌سازی عملکرد و مراحل فنولوژیک را نشان داد (Dadrasi & Torabi, 2017).

پژوهشی به‌منظور تخمین پارامترهای مدل SSM-iCrop (پارامترهای مربوط به مراحل فنولوژی، گسترش و پیر شدن سطح برگ، تولید و توزیع ماده خشک و موازنه آب) و ارزیابی کارایی آن در پیش‌بینی رشدونمو گیاه باقلا (*Vicia faba* L.) در شرایط آب‌وهوایی گرگان انجام شد. مدل نتایج قابل قبولی را برای روز تا گل‌دهی ($3/8$ $RMSE=$ روز و $CV=4/1\%$)، روز تا رسیدگی ($11/9$ $RMSE=$ گرم در مترمربع و $CV=8/1\%$)، عملکرد بیولوژیک ($158/5$ $RMSE=$ گرم در مترمربع و $CV=21/6\%$) و عملکرد دانه ($118/6$ $RMSE=$ گرم در مترمربع و $CV=24/7\%$) را پیش‌بینی کرد و بیان شد که می‌توان از این مدل برای بررسی وضعیت مدیریت زراعی و تجزیه و تحلیل رشد و عملکرد باقلا در شرایط گرگان استفاده نمود (Torabi et al., 2020). در همین منطقه در تحقیق صورت گرفته به‌منظور شبیه‌سازی رشد، توسعه و عملکرد گندم در فصل‌های مختلف و با استفاده از مدل SSM (Soltani et al., 2013; Soltani & Sinclair, 2012)؛ نشان

حاصل از مدل SSM-iCrop2 نشان می‌دهد که مدل مذکور پیش‌بینی معقول و برآورد صحیح پارامترهای مدل از عملکرد و نیاز آبی برای محصول یونجه در ایران را ارائه می‌دهد؛ بنابراین، از این مدل می‌توان برای پیش‌بینی عملکرد محصول یونجه در آب‌وهوا و مناطق متفاوت و تحت شرایط مدیریتی مختلف استفاده نمود.

RMSE= گرم در مترمربع و $r=0/90$ ، ارزیابی نیاز آبی یونجه (۳۵۰۳)
 RMSE= مترمکعب در هکتار و $r=0/43$ ، ارزیابی تاریخ شروع رشد
 مجدد بهاره (۹/۲۶) RMSE= روز و $r=0/91$ و عملکرد علوفه تک
 چین (۸۸/۳) RMSE= گرم در مترمربع و $r=0/79$ و مجموع عملکرد
 علوفه سالانه یونجه (۳۴۴/۴) RMSE= گرم در مترمربع و $r=0/90$

References

- Agricultural Statistics. (2020). Tehran: Ministry of Agricultural Jihad, Deputy Minister of Planning and Economics, Information and Communication Technology Center. Available at web site <https://www.maj.ir/>. (verified 10 Oct 2020). (In Persian)
- Aliahmadi, N., Hashmitabar, M., & Hoseini, S.M. (2021). Assessment of the effect of climate change on the production of horticultural products with a randomized production approach, Case study: Date product. *Agricultural Economics Research*, 12, 56-82. (In Persian with English Summary)
- Dadrasi, A., & Torabi, B. (2017). Predict the growth and yield of corn in Hamedan. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 4, 595-610. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2017.132723.653951>
- Dadrasi, A., Torabi, B., Rahimi, A., Soltani, A., & Zeinali, E. (2020). Parameterization and evaluation of a Simple Simulation Model (SSM-iCrop2) for potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and yield in Iran. *Potato Research*, 63, 545-563. <https://doi.org/10.1007/s11540-020-09456-y>
- Ghaderpour, O., Rafiee, S., Sharifi, M., & Mousavi-Avval, S.H. (2018). Quantifying the environmental impacts of alfalfa production in different farming systems. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 27, 109-118. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.04.002>
- Hammer, G. L., Sinclair, T. R., Boote, K. J., Wright, G. C., Meinke, H., & Bell, M.J. (1995). A peanut simulation model: I. Model development and testing. *Agronomy Journal*, 87, 1085-1093. <https://doi.org/10.2134/agronj1995.00021962008700060009x>
- Hammer, G.L., Van Oosterom, E., McLean, G., Chapman, S.C., Broad, I., Harland, P., & Muchow, R.C. (2010). Adapting APSIM to model the physiology and genetics of complex adaptive traits in field crops. *Journal of Experimental Botany*, 61, 2185-2202. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq095>
- 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., & Jones, J.W. (2019). Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.7.5 Available at Web site <https://DSSAT.net>. DSSAT Foundation, Gainesville, Florida, USA.
- 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., & Ritchie, J.T. (2003). The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, 18, 235-265. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00107-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00107-7)
- Koo, J., & Dimes, J. (2013). HC27 Generic Soil Profile Database. In: Harvard Dataverse, V5. International Food Policy Research Institute, Washington, DC. <https://doi.org/10.7910/DVN/90WJ9W>
- McCown, R.L., Hammer, G.L., Hargreaves, J.N.G., Holzworth, D.P., & Freebairn, D.M. (1996). APSIM: A novel software system for model development, model testing, and simulation in agricultural systems research. *Agricultural Systems*, 50, 255-271. [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(94\)00055-V](https://doi.org/10.1016/0308-521X(94)00055-V)
- Moniri Far, H., Moradian, P., Ahmadi, R., & Moghaddam, A. (2020). Identification of suitable alfalfa cultivars for deficit irrigation conditions in Tabriz Plain. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 30, 249-264. (In Persian with English Summary)
- Monirifar, H., Roudsari, A.M., Ghassemi, S., & Tavasolee, A. (2020). Harvest time and cultivar effects on growth, physiological traits, yield and quality of alfalfa in saline condition. *International Journal of Plant Production*, 14, 453-462. <https://doi.org/10.1007/s42106-020-00096-3>

- Nehbandani, A.R., Soltani, A., Zeinali, E., Raeisi, S., & Rajabi, R. (2015). Parameterization and evaluation of SSM-soybean model for prediction of growth and yield of soybean in Gorgan. *Journal of Plant Production Research*, 22, 1-26. (In Persian with English Summary)
- Priestley, C.H.B., & TAYLOR, R.J. (1972). On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, 100, 81-92. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1972\)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1972)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2)
- Ritchie, J. T., Singh, U., Godwin, D. C. & Bowen, W. T. (1998). In: G.Y. Tsuji, G. Hoogenboom and P.K. Thornton (Eds.) Cereal growth, development and yield. Understanding options for agricultural production. Springer, Dordrecht. p. 79-98. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3624-4_5
- Sinclair, T.R. (1986). Water and nitrogen limitations in soybean grain production I. Model development. *Field Crops Research*, 15, 125-141. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(86\)90082-1](https://doi.org/10.1016/0378-4290(86)90082-1)
- Sinclair, T.R., & Amir, J. (1992). A model to assess nitrogen limitations on the growth and yield of spring wheat. *Field Crops Research*, 30, 63-78. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(92\)90057-G](https://doi.org/10.1016/0378-4290(92)90057-G)
- Sinclair, T.R., & Muchow, R.C. (1995). Effect of nitrogen supply on maize yield: I. Modeling physiological responses. *Agronomy Journal*, 87, 632-641. <https://doi.org/10.2134/agronj1995.00021962008700040005x>
- Sinclair, T. R., Muchow, R. C., & Monteith, J. L. (1997). Model analysis of sorghum response to nitrogen in subtropical and tropical environments. *Agronomy Journal*, 89, 201-207. <https://doi.org/10.2134/agronj1997.00021962008900020009x>
- Soltani, A., Ghassemi-Golezani, K., Khoosheh, F.R., & Moghaddam, M. (1999). A simple model for chickpea growth and yield. *Field Crops Research*, 62, 213-224. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(99\)00017-9](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(99)00017-9)
- Soltani, A., Robertson, M. J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M., & Sarparast, R. (2006). Modelling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agricultural and Forest Meteorology*, 138, 156-167. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.06.021>
- Soltani, A., & Hoogenboom, G. (2007). Assessing crop management options with crop simulation models based on generated weather data. *Field Crops Research*, 10, 198-207. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.06.003>
- Soltani, A. (2009). Mathematical modeling in field crops. JDM Press, Mashhad, Iran. (In Persian)
- Soltani, A., & Sinclair, T.R. (2012). Modeling physiology of crop development, growth and yield. CABI Publisher, 312 p. <https://doi.org/10.1079/9781845939700.0000>
- Soltani, A., Maddah, V., & Sinclair, T.R. (2013). SSM-wheat: A simulation model for wheat development, growth and yield. *International Journal of Plant Production*, 7, 711-740. <https://doi.org/10.22069/IJPP.2013.1266>
- Soltani, A., and Sinclair, T.R. (2015). A comparison of four wheat models with respect to robustness and transparency: Simulation in a temperate, sub-humid environment. *Field Crops Research*, 175, 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.10.019>
- Soltani, A., Alimagham, S.M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Dadras, A., Zand, E., Ghassemi, S., Pourshirazi, S., Alasti, O., Hosseini, R.S., Zahed, M., Arabameri, R., Mohammadzadeh, Z., Rahban, S., Kamari, H., Fayazi, H., Mohammadi, S., Keramat, S., Vadez, V., Van Ittersum, M.K., & Sinclair, T.R. (2020). SSM-iCrop2: A simple model for diverse crop species over large areas. *Agricultural Systems*, 182, 102855. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102855>
- Stöckle, C.O., Donatelli, M., & Nelson, R. (2003). CropSyst, a cropping systems simulation model. *European Journal of Agronomy*, 18, 289-307. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00109-0](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00109-0)
- Tanner, C.B., & Sinclair, T.R. (1983). Efficient water use in crop production: Research or re-search? In: H.M. Taylor, W.R. Jordan and T.R. Sinclair (Eds). Limitations to Efficient Water Use in Crop Production. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. p. 1-27. <https://doi.org/10.2134/1983.limitationsto efficientwateruse.c1>
- Torabi, B., Ebrahimi, N., Soltani, A., & Zeinali, E. (2020). Parameterization and evaluation of SSM iCrop Model for prediction of growth and development of faba bean in climatic conditions of Gorgan. *Journal of Crops Improvement*, 22, 531-542. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22059/jci.2020.273742.2148>

- Vatankhah, T., Moosavi, S. N., & Tabatabaei, S.M. (2020). The economic impacts of climate change on agriculture in Iran: A CGE model analysis. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 42, 1935-1949. <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1604903>
- Wahbi, A., & Sinclair, T. R. (2005). Simulation analysis of relative yield advantage of barley and wheat in an eastern Mediterranean climate. *Field Crops Research*, 91, 287-296. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.07.020>
- Zhao, C., Liu, B., Xiao, L., Hoogenboom, G., Boote, K.J., Kassie, B.T., Pavan, W., Shelia, V., Kim, K.S., Hernandez-Ochoa, I.M., & Wallach, D. (2019). A SIMPLE crop model. *European Journal of Agronomy*, 104, 97-106. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.01.009>



Determination of Cardinal Temperatures and Photoperiodic Response of Quinoa (*Chenopodium quinoa* L.) Lines using Linear and Nonlinear Models

Shahab Eghbali Shahabad^{1*}, Mohsen Jahan^{2*}, Masoume Salehi³ and Mehdi Nassiri Mahallati⁴

Received: 26-05-2021

Revised: 10-10-2021

Accepted: 11-10-2021

Available Online: 11-10-2021

How to cite this article:

Eghbali Shahabad, Sh., Jahan, M., Salehi, M., & Nassiri Mahallati, M. (2023). Determination of cardinal temperatures and photoperiodic response of Quinoa (*Chenopodium quinoa* L.) lines using linear and nonlinear models. *Journal of Agroecology*. 15(1), 191-208.

DOI: [10.22067/agry.2021.69386.1036](https://doi.org/10.22067/agry.2021.69386.1036)

Introduction

The length of the growth period is the key to crop adaptation to new environments. It is strongly affected by the environment in such a way that it is possible to predict the length of the growing period based on some correlations with environmental factors. Simple models that quantify intraspecific variability in flowering responses to temperature and photoperiod can be useful for characterizing lines. Quinoa (*Chenopodium quinoa*) shows considerable resistance to a wide range of abiotic stresses. Cardinal temperatures and day length at each developmental stage are necessary to find an appropriate model for predicting plant growth and development.

Materials and Methods

Ten separate experiments (10 planting dates included: 29 March, 29 April, 28 May, 28 June, 26 July, 23 August, 6 September, 20 September, 29 January, and 29 February) were conducted as randomized complete block design with three replications. The experimental factor consisted of five quinoa lines plus one cultivar (Titikaka). Five promising lines were modified at Yazd Salinity Research Center. Four lines belong to the middle maturing group, one to the late maturing group, and the Titikaka cultivar belongs to early maturing group. The time of beginning and end of each developmental stage, including germination, pollination, and seed maturity, was recorded. The response of developmental stages to temperature and photoperiod was used to determine the cardinal temperature and day length of the main developmental stages (emergence, flowering, and seed maturity).

Results and Discussion

Based on the coefficient of determination (R^2) it seems that the quadratic model is suitable for estimating the cardinal temperatures of germination, flowering, and ripening of quinoa seeds. Using both quadratic and segmented models to estimate the length of special days resulted to satisfactory robustness. The results showed that on days with a length of lesser than 12 hours and temperatures lesser than 30°C, the flowering rate increased with a simultaneous increase of temperature and day length. As the day length increased to 14 hours, the rate of flowering development changed more significantly when temperatures were between 19 and 25°C than at temperatures below 19°C. For all lines, increasing the day length or temperature resulting in an increased plant maturation rate (from flowering to seed maturity) at a constant temperature or day length. The optimal temperature range for all developmental stages of quinoa lines was between 20 and 25°C. There was a significant difference in the base

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

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

3- Assistant Professor of Iranian National Salinity Research Center, Yazd, Iran.

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

(*- Corresponding author's Email: sh_weed@yahoo.com)

temperatures of the developmental stages. The base temperature for germination of quinoa lines was above 0°C, the base temperature for flowering was between -2 and +2°C, and the base temperature for seed maturity was below 0°C. The maximum temperature of all quinoa developmental stages was above 40°C (42-51°C). At low temperatures, the flowering stage was more sensitive than the seed ripening stage. The critical day length for flowering and seed ripening of quinoa lines was between 11.5 to 12 hours.

Conclusions

The optimum temperature range for germination was obtained by 25-34°C, for flowering by 28-21°C, and for seed ripening by 15-32°C. The optimum temperature of all developmental stages of quinoa lines was between 20 and 25°C. The optimum day length range for flowering is estimated at 11.37-34.12 hours and for seed ripening by 10.58-12.3 hours. Using the segmented and quadratic models to estimate quinoa cardinal temperature and photoperiod response resulted in the same estimations, although in most values, the quadratic model showed a higher coefficient of determination. In general, the results indicated that the temperature and day length have a compensatory effect on the flowering rate and seed ripening stages of the studied lines.

Keywords: Cardinal temperatures, Day length, Environmental factors, Modeling, Thermal time



مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، ص ۱۹۱-۲۰۸

تعیین دماهای کاردینال و واکنش فتوپریودی مراحل مختلف نمو لاین های کینوا
(*Chenopodium quinoa* L.) با استفاده از مدل های خطی و غیر خطی

شهاب اقبالی شاه آباد^۱، محسن جهان^{۲*}، معصومه صالحی^۳ و مهدی نصیری محلاتی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۷/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۹

چکیده

کینوا با نام علمی (*Chenopodium quinoa* L.) گیاهی یک ساله، از خانواده کنوپودیاسه و روز کوتاه است که به دلیل برخی ویژگی های خاص خود از جمله مقاومت قابل ملاحظه در برابر طیف وسیعی از تنش های غیرزنده، مورد توجه قرار گرفته است. دماهای ویژه و طول روزهای ویژه هر مرحله نمو برای ارائه مدل مناسب پیش بینی رشد و نمو گیاهی لازم است. در سال های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ آزمایش های مستقلی شامل ۱۰ تاریخ کاشت در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در شهر یزد انجام شد. تیمار آزمایشی شامل پنج لاین امیدبخش اصلاح شده در مرکز تحقیقات شوری یزد به همراه رقم تی تی کاکا بود. از واکنش سرعت مراحل نمو به دما و طول روز برای تعیین درجه حرارت ویژه و طول روزهای ویژه مراحل نمو اصلی (سبز شدن، گل دهی و رسیدگی دانه) استفاده شد. برای همه لاین ها، دمای پایه (T_b) جوانه زنی بذر کینوا ۰/۲ تا ۳/۵۷ درجه سانتی گراد، دامنه دمایی بهینه برای جوانه زنی ۲۵-۳۴ درجه سانتی گراد، گل دهی ۲۸-۲۱ درجه سانتی گراد و رسیدگی دانه ۳۲-۱۵ درجه سانتی گراد بود. دامنه طول روز برای گل دهی ۱۱/۴-۱۲/۴ ساعت و رسیدگی دانه ۱۲/۳-۱۰/۶ ساعت بود. دامنه دمای بهینه برای سه مرحله جوانه زنی، گل دهی و رسیدگی دانه تمام لاین های مورد مطالعه، بین ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی گراد برآورد شد. نتایج نشان داد که در طول روزهای کمتر از ۱۲ ساعت و دماهای کمتر از ۳۰ درجه سانتی گراد، با افزایش هم زمان دما و طول روز سرعت گل دهی بیشتر شد. به طور کلی، نتایج نشان داد که دما و طول روز اثر جبران کنندگی بر سرعت گل دهی و رسیدگی دانه دارند.

واژه های کلیدی: دماهای ویژه، زمان حرارتی، طول روز ویژه، عوامل محیطی، مدل سازی

۱- دانشجوی سابق دکتری اگرواکولوژی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۲- دانشیار گروه اگرواکولوژی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۳- استادیار مرکز ملی تحقیقات شوری یزد، ایران.

۴- استاد گروه اگرواکولوژی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

(*) نویسنده مسئول: (Email: sh_weed@yahoo.com)

مقدمه

نمو عبارت است از تغییرات کیفی که گیاه را به‌سوی رسیدگی هدایت می‌کند. تحت شرایط فاریاب، تنها عناصر اقلیمی قادر به تغییر رشد و نمو گیاه هستند. مراحل نمو فنولوژیک در گیاهان زراعی تحت تأثیر دما، فتوپریود و بهاره‌سازی قرار می‌گیرند. در گیاهان زراعی سرمادوست مانند گندم (*Triticum aestivum*) و کلزا (*Brassica napus*) مراحل نمو گیاه تحت تأثیر هر سه عامل قرار می‌گیرند و در گیاهان گرمادوست مراحل نمو به‌طور عمده تحت تأثیر دما و فتوپریود می‌باشند (Soltani et al., 2006).

دما یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر سرعت نمو، رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد. وقوع دماهای بالا و پایین می‌تواند اثرهای مضری بر نمو گیاهان داشته باشد. دماهای بالا نمو گیاه را سرعت می‌بخشد، طول دوره رشد را کاهش می‌دهد و پتانسیل عملکرد را کم می‌کند. وقوع دمای بالا طی گل‌دهی طول دوره آزادسازی و بقای دانه گرده و زمان دریافت دانه گرده توسط گل را کوتاه می‌کند. بنابراین، توانایی گیاه برای تطبیق مراحل حساس نمو با شرایط عدم تنش در طی فصل رشد می‌تواند سبب فرار گیاه از تنش‌های محیطی طی فصل رشد شود (Bunce, 2018; Hinojosa et al., 2019). تاریخ کاشت یک ابزار مدیریتی مهم در به حداقل رساندن جنبه‌های منفی دمای بالا و تنش رطوبت در طی گل‌دهی و پر شدن دانه گیاهان است و تأخیر در کاشت می‌تواند سبب کاهش عملکرد دانه شود (Hirich et al., 2014). واکنش نمو گیاهان حساس به فتوپریود در طول روز معینی آغاز می‌شود و در طول روز معینی به حداکثر می‌رسد، در دامنه بین این دو طول‌روز، تغییر طول‌روز بر نمو گیاه مؤثر است و سبب تسریع نمو (گیاهان روزبلند نظیر گندم و کلزا) یا تأخیر آن (گیاهان روزکوتاه مانند سویا (*Glycine max*) و آفتابگردان (*Helianthus annuus*)) می‌شود. در بیشتر گونه‌های گیاهی مانند گندم و جو (*Hordeum vulgare*) دوره بین سبز شدن تا شروع گل‌دهی علاوه بر دما تحت تأثیر فتوپریود نیز قرار می‌گیرد. فتوپریودهای پایه و سقف در عرض‌های جغرافیایی مختلف باهم تفاوت دارند که علت آن اختلاف محدوده فتوپریودها و تفاوت‌های ژنوتیپی بیان شده است (Gonzalez et al., 2009).

درجه حرارت کمینه یا پایه (T_b) کمترین درجه حرارتی است که برای ظهور هر مرحله نمو نیاز است. درجه حرارت بهینه (T_o) درجه

حرارتی است که هر مرحله نمو در آن بیشترین سرعت را داشته و درجه حرارت بیشینه (T_m) بالاترین درجه حرارتی است که هر مرحله نمو در آن قادر به عبور است. این سه درجه حرارت پایه، بهینه و بیشینه به‌عنوان درجه حرارت‌های ویژه (کاردینال) نمو شناخته می‌شود. دماهای ویژه عموماً بستگی به دامنه سازگاری محیطی یک گونه دارد و تطابق زمان نمو هر مرحله با شرایط مطلوب برای انتقال به مراحل بعدی نمو لازم است. مراحل نمو عمدتاً در گیاهان شامل جوانه‌زنی، گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیک می‌باشد (Bertero et al., 1999a). دماهای ویژه هر مرحله نمو برای ارائه مدل مناسب پیش‌بینی رشد و نمو گیاهی لازم است. همچنین برخی منابع از طول‌روزهای پایه، بهینه و سقف به‌عنوان طول روزهای ویژه در مدل‌سازی نمو گیاهان نام برده‌اند (Bertero et al., 1999b).

کینوا با نام علمی (*Chenopodium quinoa*)، مقاومت قابل ملاحظه‌ای در برابر طیف وسیعی از تنش‌های غیرزنده از قبیل سرما، شوری و خشکی از خود نشان می‌دهد و همچنین به‌خوبی قابلیت رشد در خاک‌های فقیر و حاشیه‌ای را دارد (Nanduri et al., 2019; Karina et al., 2014; García et al., 2020; Adolf et al., 2013). به‌دلیل کیفیت بالای دانه‌های کینوا و پتانسیل تولیدی بالای آن در شرایط سخت، در بیشتر مناطق جهان مورد کشت و کار قرار می‌گیرد (FAO, 2011).

آگاهی از واکنش نمو ارقام و لاین‌های کینوا به شرایط محیطی مختلف با تعیین دماها و طول روزهای ویژه، به‌منظور مدل‌سازی نمو فنولوژیک آن‌ها ضروری است. با توجه به اینکه ارقام و لاین‌های سازگار به شرایط خاص، دارای واکنش مشابهی به عوامل محیطی متفاوت هستند و می‌توان از مدل‌های ارائه شده در زمینه واکنش نمو کینوا به شرایط محیطی برای ارقام و لاین‌های مشابه نیز استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه‌ای با طول و عرض جغرافیایی $31^{\circ}55'$ و $54^{\circ}21'$ و در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در شهر یزد اجرا شد. قالب آزمایش طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود زیرا آزمایش‌ها در زمان‌های متفاوت اجرا و برای هر تاریخ کاشت زمین انتخابی جداگانه در نظر گرفته شد. تیمار آزمایشی شامل پنج لاین امید بخش اصلاح شده در مرکز تحقیقات شوری یزد به‌همراه رقم تی‌تی‌کاکا بود.

$$Y = a + bx \quad \text{معادله (۴)}$$

$$Y = a - bx$$

$$Y = \begin{cases} \text{if } (T - T_o, \text{ region1 } (T), \text{ region2 } (T)) \\ \text{Region1 } (T) = b (T - T_b) \\ \text{Region2 } (T) = c (T_m - T) \end{cases}$$

$$\text{معادله (۵)}$$

$$Y = a + bT + cT^2 \quad T_o = b + 2cT \quad Y = Y = a + bx + cx^2$$

$$Y = a + bx + cx^2 + dy + ey^2 \quad \text{معادله (۶)}$$

که در این معادلات، R : سرعت رسیدن به هر مرحله نمو، N : تعداد روز لازم تا هر مرحله نمو، $R_{\max}$: حداکثر سرعت رسیدن به هر مرحله نمو، $D_{\min}$: حداقل تعداد روز تا هر مرحله نمو، $F(T)$: تابع دمایی، Y : سرعت نمو، T : درجه حرارت (درجه سانتی گراد)، T_b : درجه حرارت کمینه، T_o : درجه حرارت بهینه، T_m : درجه حرارت بیشینه، همچنین a, b, c, d و e به عنوان ضرایب رگرسیون در نظر گرفته می شود.

برای محاسبه طول روز از روش کسلینگ استفاده شد (Keisling, 1982). داده های هواشناسی از نزدیک ترین ایستگاه هواشناسی به محل کشت تهیه شد. برازش داده ها و رسم نمودارها با نرم افزار MS-Excel و SlideWrite 2.0 انجام شد.

نتایج و بحث

تعیین دماهای کاردینال مراحل نمو

سرعت جوانه زنی نسبت به سایر شاخص ها، حساسیت بیشتری به دما دارد (Javadzadeh et al., 2017)؛ بنابراین از واکنش سرعت جوانه زنی به دما برای تعیین درجه حرارت ویژه یا دمای کاردینال جوانه زنی استفاده می شود. برای این منظور دو مدل تکه ای Segmented و چند جمله ای درجه دو Quadratic به داده ها برازش داده شدند (شکل ۱). بر اساس مدل تکه ای و درجه دو، دمای پایه جوانه زنی بذر کینوا (T_b) برای همه لاین ها ۰/۲ تا ۳/۶ درجه سانتی گراد، دمای بهینه جوانه زنی بذر (T_o) ۲۵/۱ تا ۳۰/۳ درجه سانتی گراد و دمای بیشینه جوانه زنی بذر (T_m) ۴۶/۷ تا ۴۶/۸ درجه سانتی گراد محاسبه شد (جدول ۲). دماهای ویژه جوانه زنی بذر برای کینوا در آزمایشگاه اندازه گیری شد (Mamedi et al., 2017) که دمای پایه جوانه زنی بذر کینوا (T_b) ۱ تا ۳/۳ درجه سانتی گراد، دمای بهینه جوانه زنی بذر (T_o) ۲۶ تا ۳۴ درجه سانتی گراد و دمای بیشینه جوانه زنی بذر (T_m) ۴۴ تا ۵۴ درجه سانتی گراد گزارش کردند.

لاین ها شامل چهار لاین متوسط ترس که در این آزمایش با شماره های ۱ (NSRCQE)، ۲ (NSRCQC)، ۳ (NSRCQD) و ۶ (NSRCQA)، یک لاین دیررس که با شماره ۴ (NSRCQB) و رقم زودرس تی تی کاکا^۱ که با شماره ۵ مشخص شد، بود. تاریخ های کاشت الزاماً نشان دهنده تاریخ های کاشت متداول نیستند، بلکه به منظور ایجاد رژیم های مختلف دمایی و فتوپریودی انتخاب شدند (Soltani et al., 2006). با توجه به اینکه آزمایش ها در زمان های متفاوت اجرا شد و برای هر تاریخ کاشت زمین انتخابی در نظر گرفته و نه تصادفی، بنابراین طرح آزمایشی در قالب بلوک های کامل تصافی آنالیز شد. بعد از آماده سازی زمین، کاشت به صورت دستی در کرت هایی به ابعاد ۳×۳ متر و بر اساس تاریخ کاشت های جدول ۱ انجام شد. کرت ها با پشته هایی به عرض یک متر از هم جدا شدند. داخل هر کرت شش ردیف کاشت به فاصله نیم متر از هم در نظر گرفته شد. بعد از سبز شدن، تراکم بوته به ۶۴ بوته در مترمربع رسید. آبیاری کرت ها به صورت غرقابی بود که در ماه های اردیبهشت تا مرداد هر هفت روز یک بار و در سایر ماه ها هر ۱۲ روز یک بار کرت ها آبیاری شد. کودهی تیمارها شامل مصرف کود اوره به صورت سرک و به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، در زمان تشکیل گل آذین برای تمام تیمارها اعمال شد. مدیریت آفات برحسب نیاز، عمدتاً در ماه های اردیبهشت و خرداد سم پاشی بر علیه آفت کرم برگ خوار و سنک با سم کلروپیریفوس انجام شد. نمونه گیری و یادداشت برداری ها به طور مرتب، هر سه روز یک بار و متناسب با پیشرفت مراحل فنولوژیک هر لاین انجام شد. عمل نمونه گیری مراحل فنولوژیک، مشاهده بوته های دو ردیف از وسط هر کرت در طول دو متر بود. ملاک عمل یادداشت برداری هر مرحله از نمو (سبز شدن، گل دهی و تغییر رنگ بوته ها)، ۵۰ درصد بوته های مورد بررسی بود. فاصله زمانی از کاشت تا هر مرحله نمو شامل سبز شدن (مشاهده دو برگ حقیقی در سطح خاک)، گرده افشانی (ظهور گرده های زرد رنگ روی سطح گل آذین) و رسیدگی دانه (تغییر رنگ گل آذین ها و برگ ها) ثبت شد. پس از محاسبه روز تا هر یک از مراحل فنولوژی، از معادله های ۱ تا ۶ برای محاسبه سرعت نمو، دماها و طول روزهای ویژه هر مرحله نمو هر لاین استفاده شد.

$$R = 1/N \quad \text{معادله (۱)}$$

$$R_{\max} = 1/D_{\min} \quad \text{معادله (۲)}$$

$$F(T) = R/R_{\max} \quad \text{معادله (۳)}$$

جدول ۱- تاریخ‌های کاشت و شرایط اقلیمی محل آزمایش

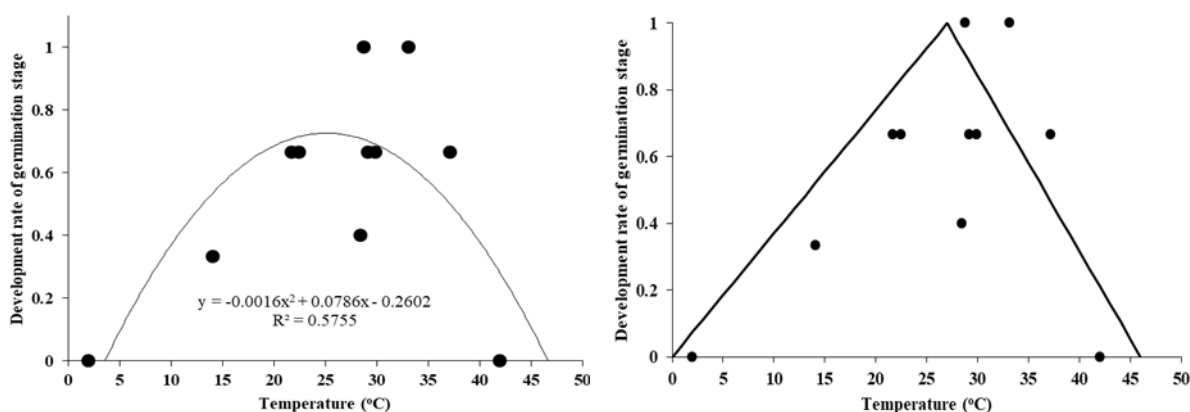
Table1- Planting dates and climatic conditions of the study site

منابع Resources	فروردین March	اردیبهشت April	خرداد May	تیر June	مرداد July	اول شهریور August	نیمه شهریور September	مهر September	بهمن January	اسفند February
تاریخ کاشت Date of planting	29	29	28	28	26	23	6	20	29	29
میانگین دماهای حداقل Average minimum temperatures	12.9	17.2	22.47	28.7	27.7	21.5	21.5	18	2.8	7.9
میانگین دماهای حداکثر Average maximum temperatures	25.1	29.69	36.19	41.9	39.9	36.7	36.7	32	15.8	21.9
میانگین دما Average temperatures	19	23.36	29.33	35.3	33.8	29.1	29.1	25	9.3	14.9
میانگین طول روز Average day length	12.47	13.37	13.95	13.9	13.3	12.4	12.4	11.44	10.65	11.5

جدول ۲- برآورد دماهای ویژه جوانه‌زنی لاین‌های کینوا

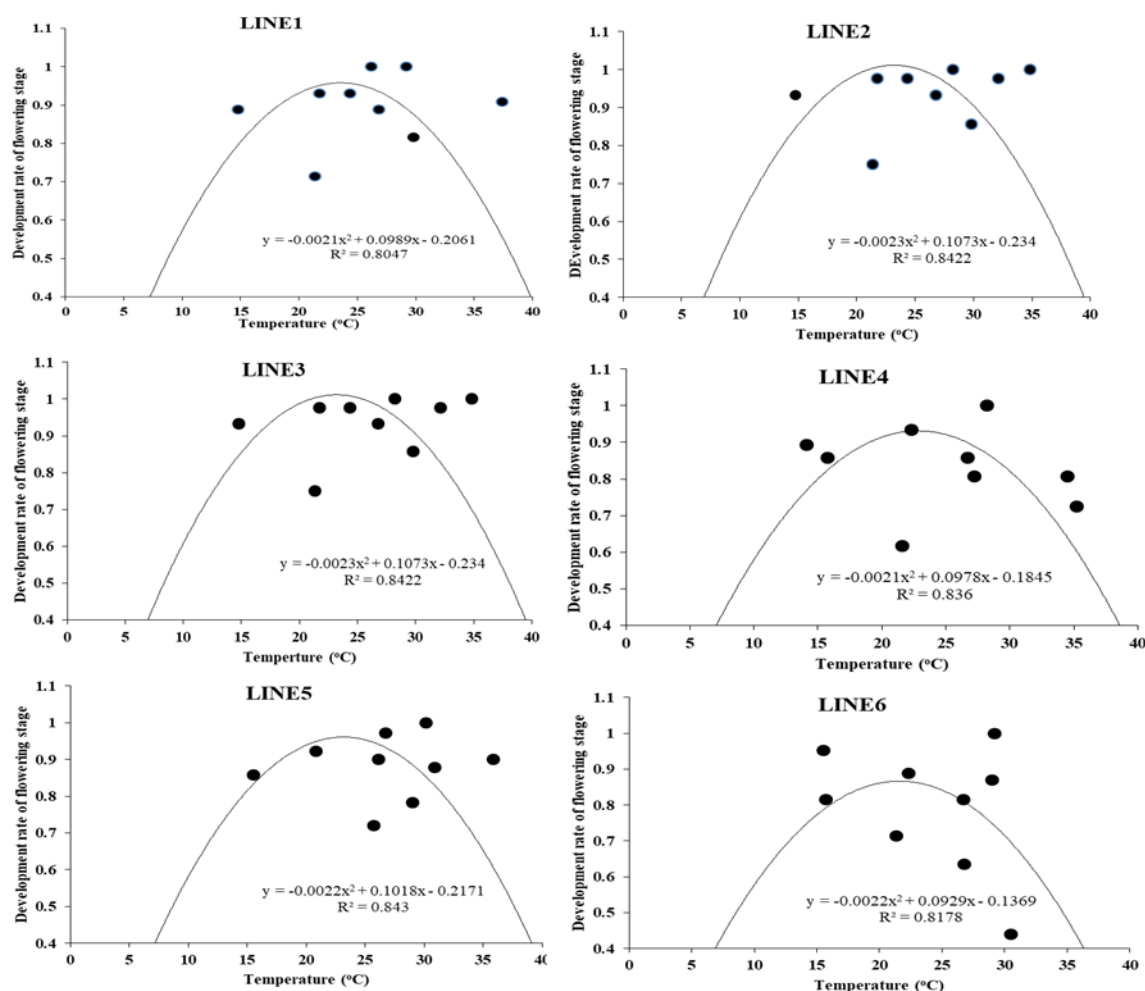
Table2- Estimation of cardinal temperatures of germination of quinoa lines

مرحله جوانه‌زنی Germination stage	دمای پایه T _b (°C)	دمای بهینه T _o (°C)	دمای بیشینه T _m (°C)	ضریب تبیین R ²
مدل درجه‌دو Quadratic model	3.6	25.1	46.7	0.57
مدل تکه‌ای Segmented model	0	30.3	46.8	0.65



شکل ۱- رابطه دما و سرعت جوانه‌زنی لاین‌های کینوا، برازش داده شده با مدل درجه‌دو و تکه‌ای

Fig. 1- Relationship between temperature and germination rate of quinoa lines using segmented and quadratic models

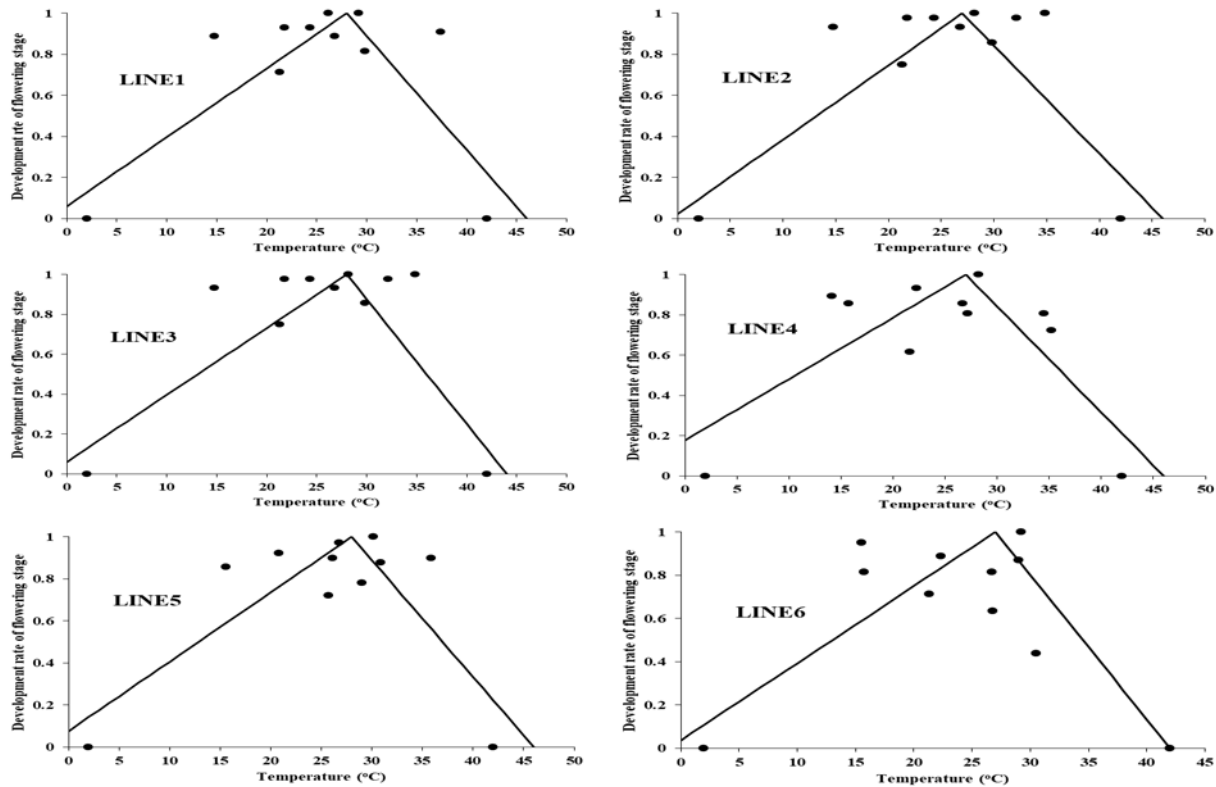


شکل ۲- رابطه دما و سرعت گل‌دهی لاین‌های کینوا برازش داده شده با مدل درجه‌دو

Fig. 2- Relationship between temperature and flowering rate of quinoa lines using the quadratic model

جدول ۳- برآورد دماهای ویژه گل‌دهی لاین‌های کینوا با استفاده از مدل‌های درجه‌دو و تکه‌ای

	لاین	دمای پایه	دمای بهینه	دمای بیشینه	ضریب تبیین
	Line	T _b (°C)	T _o (°C)	T _m (°C)	R ²
مدل درجه‌دو Quadratic model	1	2.2	23.5	44.9	0.8
	2	2.3	23.2	44.1	0.84
	3	2.3	23.2	44.1	0.84
	4	2	22.8	43.7	0.84
	5	2.2	23.1	44	0.84
	6	1.5	21.6	41.7	0.82
مدل تکه‌ای Segmented model	1	-1.8	28	46.1	0.8
	2	-0.6	26.5	45.9	0.81
	3	-1.8	28.2	44.6	0.78
	4	-5.9	26.9	46.2	0.6
	5	-2.3	27.9	45.7	0.73
	6	-0.9	23.5	42.4	0.74



شکل ۳- رابطه دما و سرعت گل‌دهی لاین‌های کینوا برازش داده شده با تابع دو تکه‌ای

Fig. 3- Relationship between temperature and flowering rate of quinoa lines using the segmented model

لاین‌ها نیاز داشتند (جدول ۳). سایر محققین دمای پایه گل‌دهی کینوا را بین یک تا سه درجه سانتی‌گراد گزارش کردند (Bertero et al., 1999a).

درجه حرارت رسیدگی‌دانه لاین‌های کینوا با استفاده از دو مدل تکه‌ای و درجه‌دو تعیین شد (شکل‌های ۴ و ۵).

بر اساس مدل درجه‌دو، درجه حرارت‌های ویژه رسیدگی‌دانه لاین‌های کینوا شامل دمای پایه رسیدگی‌دانه (T_b) بین $-2/8$ تا $0/5$ درجه سانتی‌گراد، دمای بهینه رسیدگی‌دانه (T_o) بین $15/2$ تا $23/1$ درجه سانتی‌گراد و دمای بیشینه رسیدگی‌دانه (T_m) بین $33/2$ تا $45/7$ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد (جدول ۴). بر اساس مدل تکه‌ای، درجه حرارت‌های ویژه رسیدگی‌دانه لاین‌های کینوا شامل دمای پایه رسیدگی‌دانه (T_b) بین $-2/9$ تا -8 درجه سانتی‌گراد، دمای بهینه رسیدگی‌دانه (T_o) بین $17/7$ تا $32/7$ درجه سانتی‌گراد و دمای بیشینه رسیدگی‌دانه (T_m) بین 43 تا $51/4$ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد (جدول ۴). بر اساس محاسبه انجام شده توسط هر دو مدل، لاین ۶ دمای ویژه رسیدگی‌دانه کمتر و رقم زودرس ۵ دمای ویژه

درجه حرارت ویژه گل‌دهی لاین‌های کینوا با استفاده از دو مدل تکه‌ای (خطوط متقاطع) و درجه‌دو برازش داده شدند (شکل‌های ۲ و ۳).

بر اساس مدل چندجمله‌ای درجه‌دو، درجه حرارت‌های ویژه گل‌دهی لاین‌های کینوا شامل دمای پایه گل‌دهی (T_b) بین $1/5$ تا $2/3$ درجه سانتی‌گراد، دمای بهینه گل‌دهی (T_o) بین $21/6$ تا $23/5$ درجه سانتی‌گراد و دمای بیشینه گل‌دهی (T_m) بین $41/7$ تا $44/9$ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد (جدول ۳). بر اساس مدل خطوط متقاطع، درجه حرارت‌های ویژه گل‌دهی لاین‌های کینوا شامل دمای پایه گل‌دهی (T_b) بین $-0/9$ تا $-5/9$ درجه سانتی‌گراد، دمای بهینه گل‌دهی (T_o) بین $23/5$ تا $28/2$ درجه سانتی‌گراد و دمای بیشینه گل‌دهی (T_m) بین $42/4$ تا $46/2$ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد (جدول ۳). بر اساس هر دو مدل، لاین ۶ دمای بهینه گل‌دهی کمتر و لاین‌های متوسط‌رس ۱، ۲ و ۳ دمای بهینه گل‌دهی بیشتر از سایر لاین‌ها نیاز داشتند؛ همچنین لاین دیررس ۴ دمای پایه گل‌دهی کمتر و لاین‌های متوسط‌رس ۲ و ۶ دمای پایه گل‌دهی بیشتر از سایر

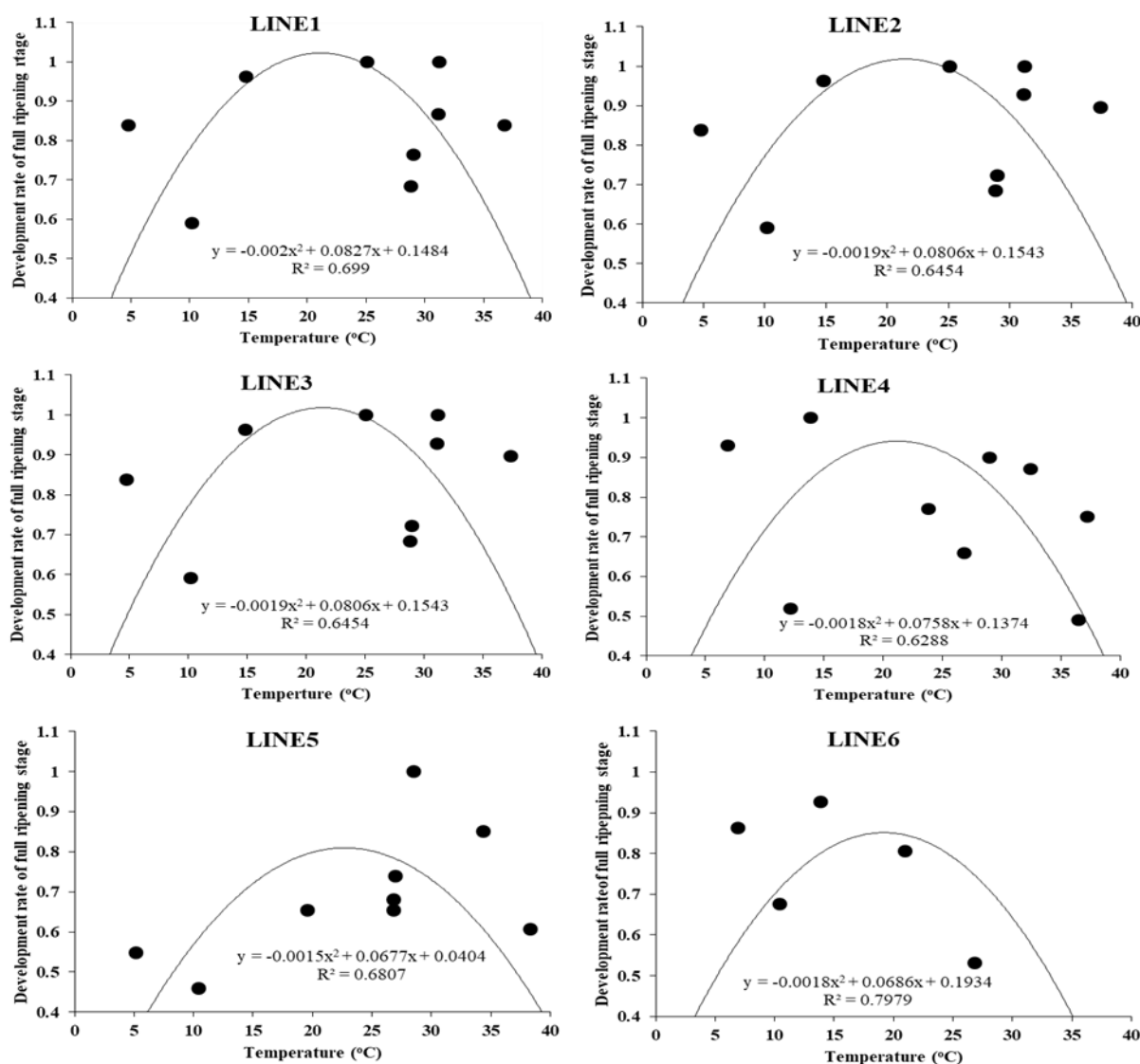
و ۴). به نظر می‌رسد که تفاوت حاصله ناشی از ساختار ریاضی مدل‌ها در تخمین پارامترهای مدل باشد.

واکنش به طول‌روز

طول روز گل‌دهی لاین‌های کینوا با استفاده از دو مدل تکه‌ای و درجه‌دو تعیین شدند (شکل‌های ۶ و ۷).

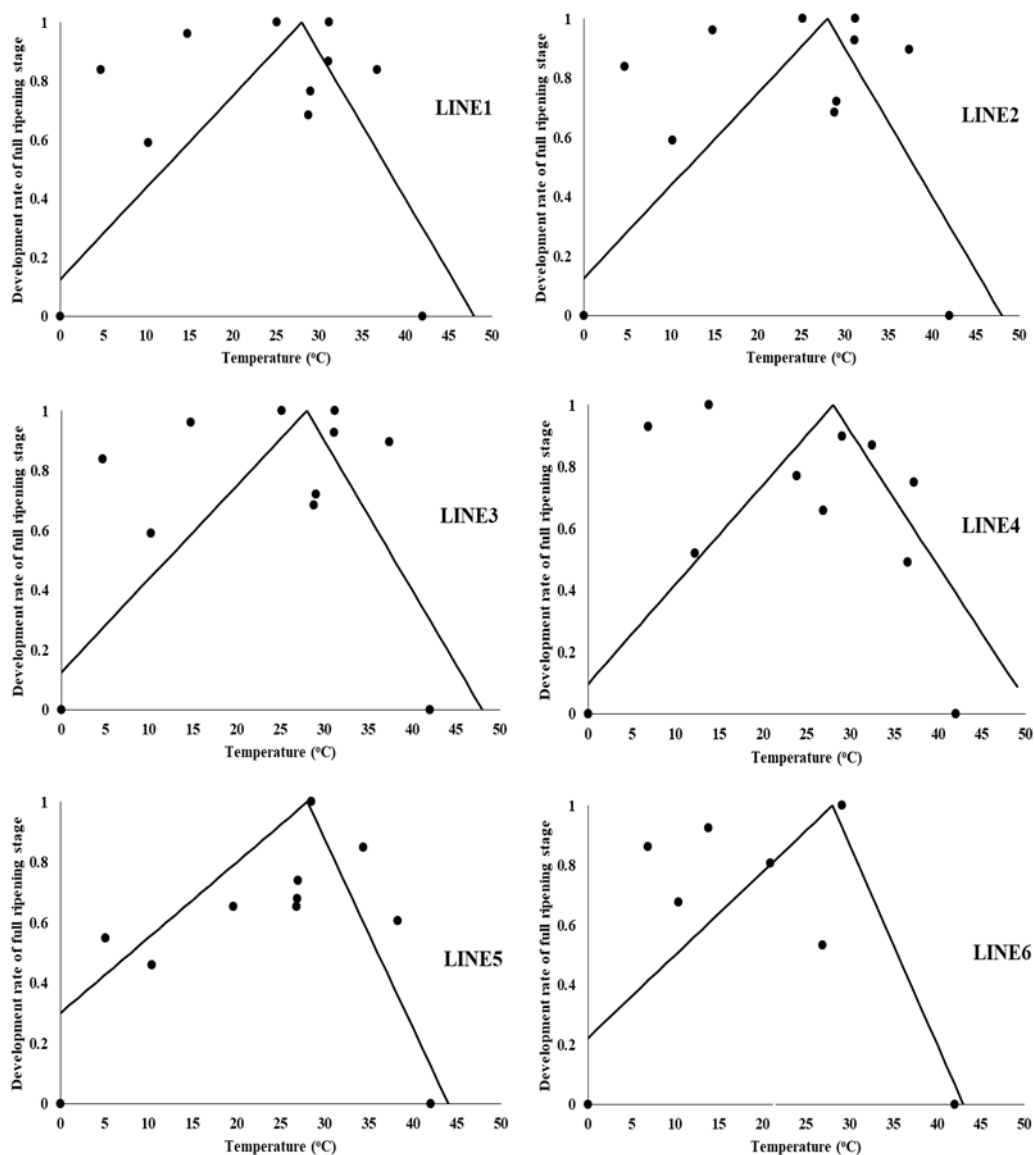
رسیدگی دانه بیشتر از سایر لاین‌ها نیاز داشتند (جدول ۴). سایر محققین دمای پایه رسیدگی دانه کینوا را دو درجه سانتی‌گراد گزارش کردند و اظهار داشتند که بوته کینوا تا ۳- درجه سانتی‌گراد زنده می‌ماند (Bertero, 2003; Bois et al., 2006).

نتایج نشان داد که درجه حرارت‌های ویژه به‌دست آمده توسط مدل‌های تکه‌ای و درجه‌دو با یکدیگر متفاوت بودند (جدول‌های ۲، ۳



شکل ۴- رابطه دما و سرعت رسیدگی دانه لاین‌های کینوا برازش شده توسط مدل درجه‌دو

Fig. 4- Relationship between temperature and grain ripening rate of quinoa lines using the quadratic model



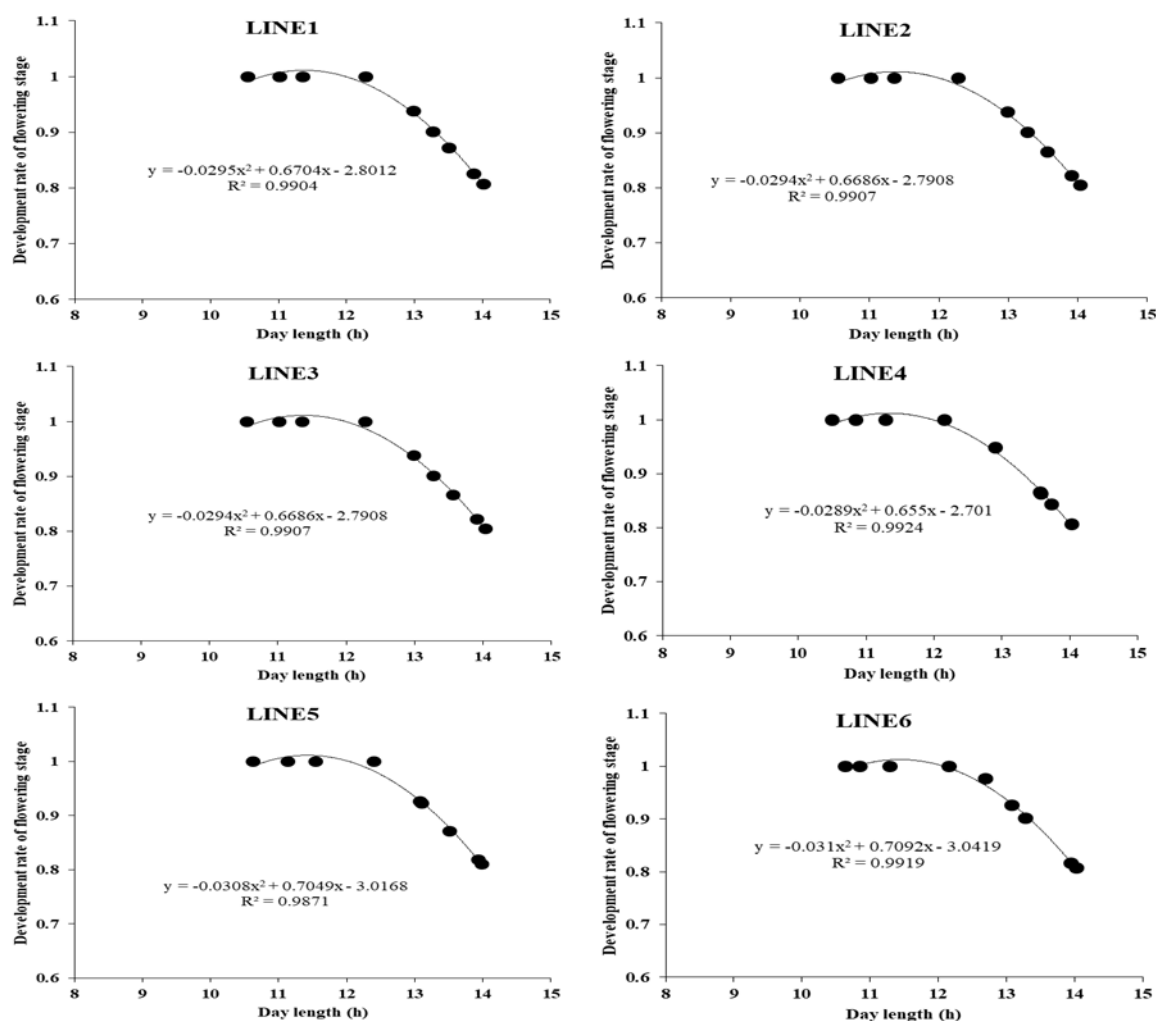
شکل ۵- رابطه دما و سرعت رسیدگی دانه لاین‌های کینوا برآزش داده شده توسط مدل تکه‌ای

Fig. 5- Relationship between temperature and grain ripening rate of quinoa lines using the segmented model

جدول ۴- برآورد دماهای ویژه رسیدگی دانه لاین‌های کینوا با استفاده از مدل‌های درجه‌دو و تابع تکه‌ای

Table 4- Estimation of cardinal grain ripening temperatures of quinoa lines using the quadratic model and segmented model

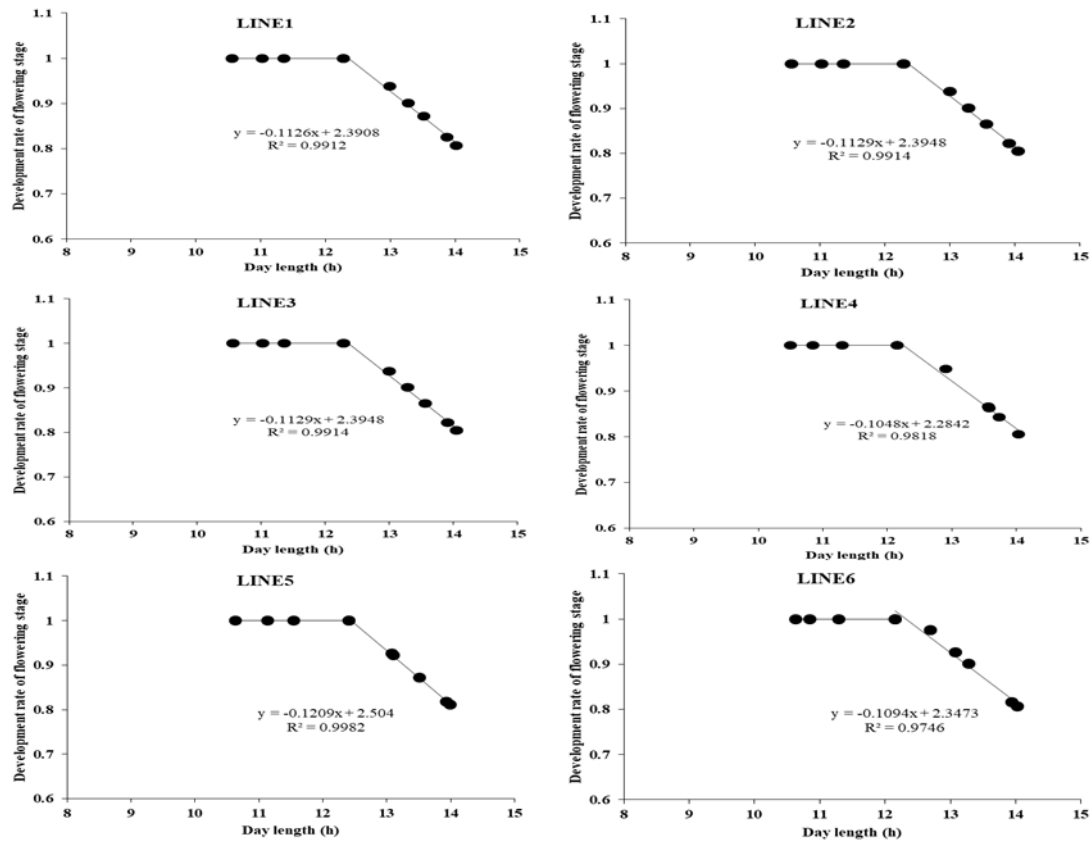
	لاین	دمای پایه	دمای بهینه	دمای بیشینه	ضریب تبیین
	Line	T_b (°C)	T_o (°C)	T_m (°C)	R^2
مدل درجه‌دو Quadratic model	1	-0.7	21.5	43.9	0.65
	2	-0.9	21.8	44.5	0.60
	3	-0.9	21.8	44.5	0.60
	4	-0.6	21.7	44	0.59
	5	0.5	23.1	45.7	0.66
	6	-2.8	15.2	33.2	0.18
مدل تکه‌ای Segmented model	1	-4	20.5	47.7	0.59
	2	-4	20.2	49.4	0.59
	3	-4	20.2	49.4	0.58
	4	-2.9	17.7	51.4	0.48
	5	-12.1	32.6	44.6	0.70
	6	-8	21.7	42.9	0.53



شکل ۶- رابطه طول روز و سرعت گل‌دهی لاین‌های کینوا برازش شده توسط مدل درجه‌دو
Fig. 6- Relationship between day length and flowering rate of quinoa lines using the quadratic model

جدول ۵- برآورد طول‌روز ویژه گل‌دهی لاین‌های کینوا با استفاده از مدل‌های درجه‌دو و تابع تکه‌ای
Table 5- Estimation of day length for flowering of quinoa lines using the quadratic model and segmented model

	لاین	طول روز پایه P_b (h)	طول روز بهینه P_o (h)	طول روز بیشینه P_m (h)	ضریب تبیین R^2
مدل درجه‌دو Quadratic model	1	5.52	11.37	17.23	0.99
	2	5.51	11.37	17.24	0.99
	3	5.51	11.37	17.24	0.99
	4	5.42	11.34	17.26	0.99
	5	5.7	11.43	17.16	0.98
	6	5.72	11.44	17.15	0.99
مدل تکه‌ای Segmented model	1	0	12.35	21.21	0.99
	2	0	12.35	21.21	0.99
	3	0	12.35	21.21	0.99
	4	0	12.25	21.8	0.98
	5	0	12.44	20.7	0.99
	6	0	12.31	21.45	0.98



شکل ۷- رابطه طول روز و گل‌دهی لاین‌های کینوا برازش شده توسط تابع تکه‌ای

Fig. 7- Relationship between day length and ripening rate of quinoa lines using the segmented model

بیشینه کینوا بین ۱۳/۳ تا ۱۴/۵ ساعت و فتوپریود بهینه بین ۱۲/۷ تا ۱۳/۴ ساعت بیان شده است (Bertero et al., 1999b). برخی محققین بیان کردند که کینوا در محدوده وسیعی از طول‌روز به مرحله بلوغ می‌رسد، اما طول‌روزهای بلند باعث کلروزه شدن برگ‌های پایین گیاه کینوا می‌شود (Bendevis, 2013).

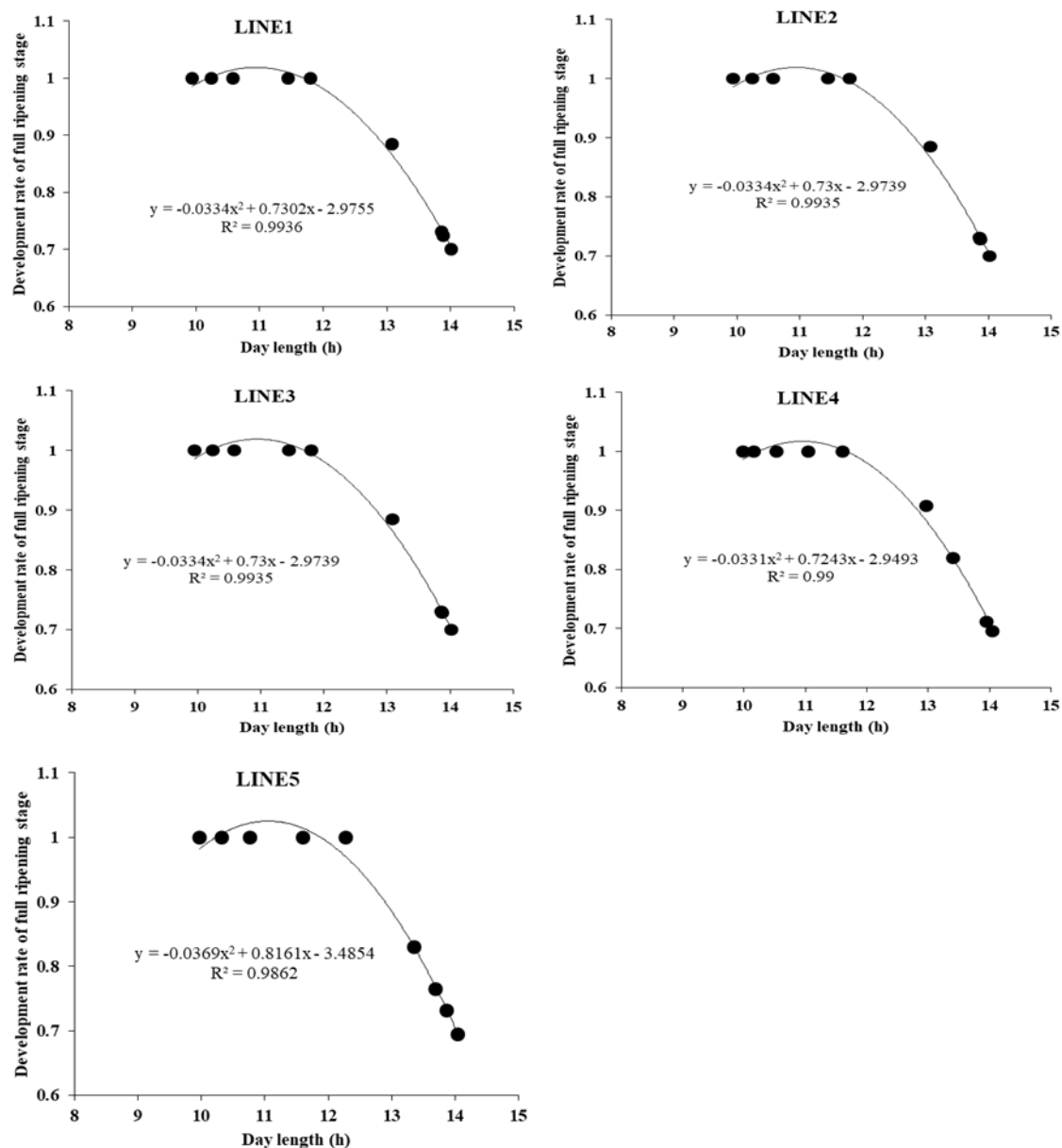
نتایج نشان داد که در طول‌روزهای کمتر از ۱۲ ساعت و دماهای کمتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد، با افزایش هم‌زمان دما و طول‌روز سرعت گل‌دهی بیشتر شد. با افزایش طول‌روز تا ۱۴ ساعت، تغییر در سرعت نمو گل‌دهی در دماهای بین ۱۹ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دماهای کمتر از ۱۹ درجه سانتی‌گراد بیشتر بود (شکل ۷).

بر اساس مقادیر ضریب تبیین (R^2) برای تخمین درجه حرارت‌های ویژه جوانه‌زنی، گل‌دهی و رسیدگی دانه کینوا به نظر می‌رسد که مدل درجه‌دو مناسب‌تر از مدل تکه‌ای است (جدول‌های ۲، ۳ و ۴)، با این حال، به کارگیری هر دو مدل برای برآورد طول‌روزهای ویژه نتایج یکسانی به همراه داشت (جدول ۶).

بر اساس نتایج این دو مدل، طول‌روزهای ویژه گل‌دهی لاین‌های کینوا شامل طول‌روز پایه گل‌دهی (P_b) بین صفر تا ۵/۷ ساعت، طول‌روز بهینه گل‌دهی (P_o) بین ۱۱/۴ تا ۱۲/۴ ساعت و طول‌روز بیشینه گل‌دهی (P_m) بین ۱۷/۱ تا ۲۱/۸ ساعت برآورد شد (جدول ۵). طول‌روز رسیدگی دانه لاین‌های کینوا با استفاده از دو مدل تکه‌ای و درجه‌دو تعیین شدند (شکل‌های ۸ و ۹).

بر اساس نتایج این دو مدل، طول‌روزهای ویژه رسیدگی دانه لاین‌های کینوا شامل طول‌روز پایه رسیدگی دانه (P_b) بین صفر تا ۵/۸ ساعت، طول‌روز بهینه رسیدگی دانه (P_o) بین ۱۰/۹ تا ۱۲/۳ ساعت و طول‌روز بیشینه رسیدگی دانه (P_m) بین ۱۶/۳ تا ۱۹/۲ ساعت برآورد شد (جدول ۵). سایر محققین بیان کردند طول‌روز بحرانی برای کینوا، ۱۸ ساعت است و حساسیت به طول‌روز در مرحله رسیدگی دانه بیشتر از گل‌دهی است (Christiansen et al., 2010).

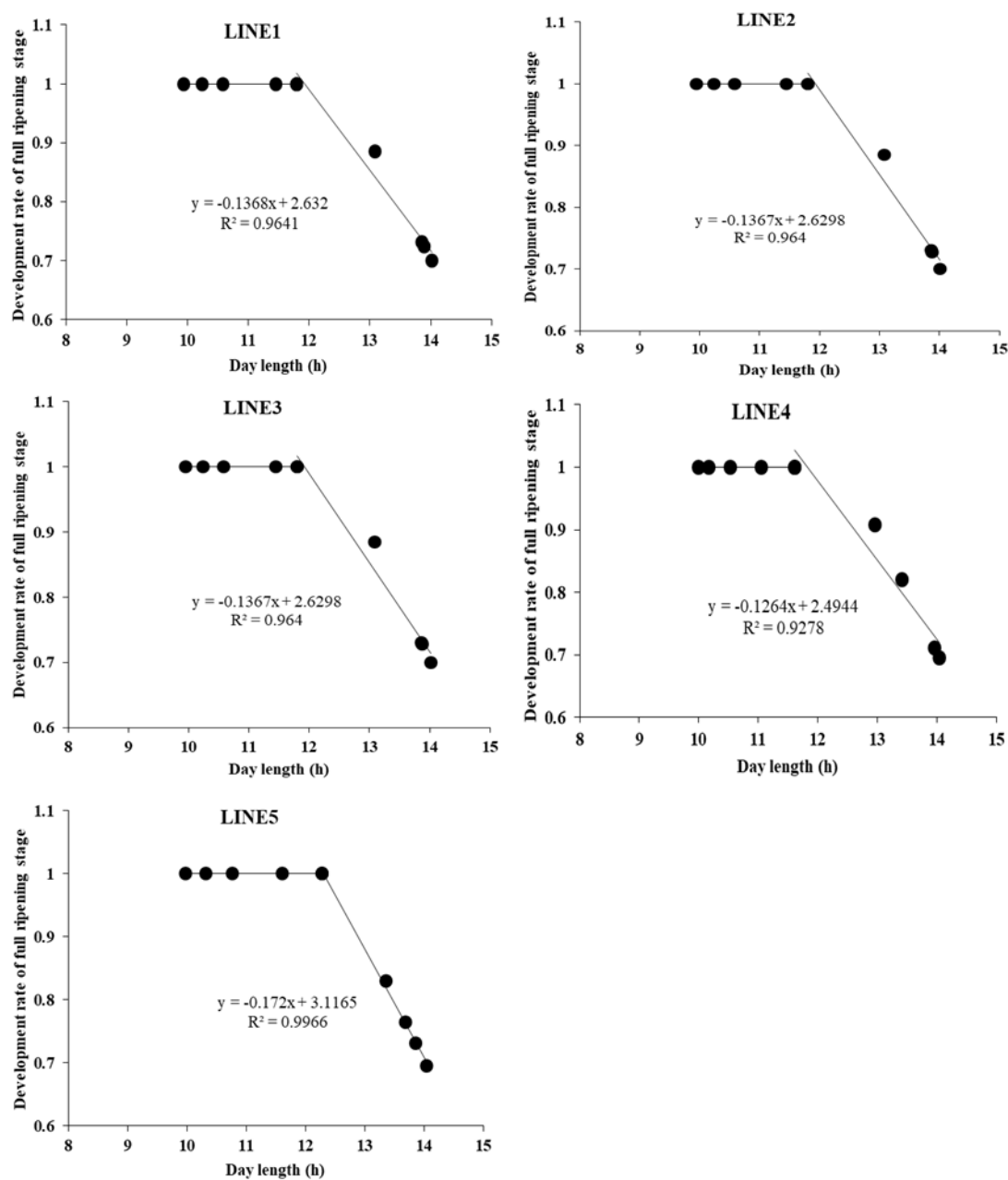
به دلیل واکنش کیفی لاین ۶ به طول‌روز، برازش مدل تکه‌ای و درجه‌دو برای لاین ۶ انجام نشد. در تحقیقات آزمایشگاهی طول‌روز



شکل ۸- رابطه طول روز و سرعت رسیدگی دانه لاین‌های کینوا برازش داده شده با استفاده از مدل درجه دو
Fig. 8- Relationship between day length and grain ripening rate of quinoa lines using the quadratic model

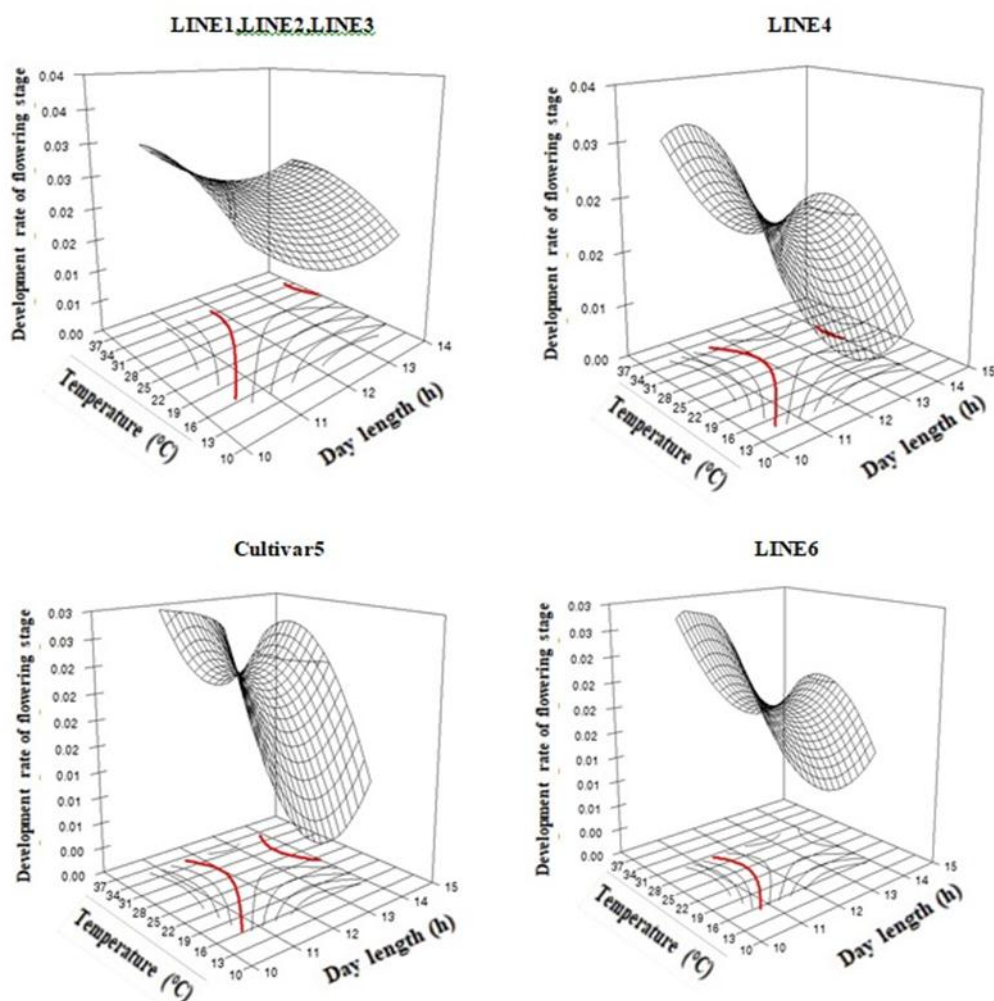
گل‌دهی تا رسیدگی دانه) افزایش یافت (شکل ۱۱).
نتایج نشان داد آستانه طول روز در تغییر اثرات متقابل دما و طول روز بر سرعت گل‌دهی در لاین‌های ۱ تا ۴ و رقم ۵، طول روز ۱۲ ساعت و در لاین ۶ طول روز ۱۱/۵ ساعت بود (شکل ۱۰).

نتایج نشان داد که در لاین‌های متوسط‌ترس ۱، ۲، ۳، ۶ و لاین دیررس ۴ با افزایش هم‌زمان دما و طول روز سرعت رسیدگی دانه ثابت ماند. این مطلب برای رقم زودرس (۵) در دماهای بالاتر از ۱۶ درجه سانتی‌گراد صادق بود. در تمام لاین‌ها در یک دمای ثابت، با تغییر طول روز و یا در یک طول روز ثابت با تغییر دما سرعت بلوغ گیاه (از



شکل ۹- رابطه طول‌روز و سرعت رسیدگی دانه لاین‌های کینوا برازش داده شده توسط تابع تکه‌ای

Fig. 9- Relationship between day length and grain ripening rate of quinoa lines using the segmented model



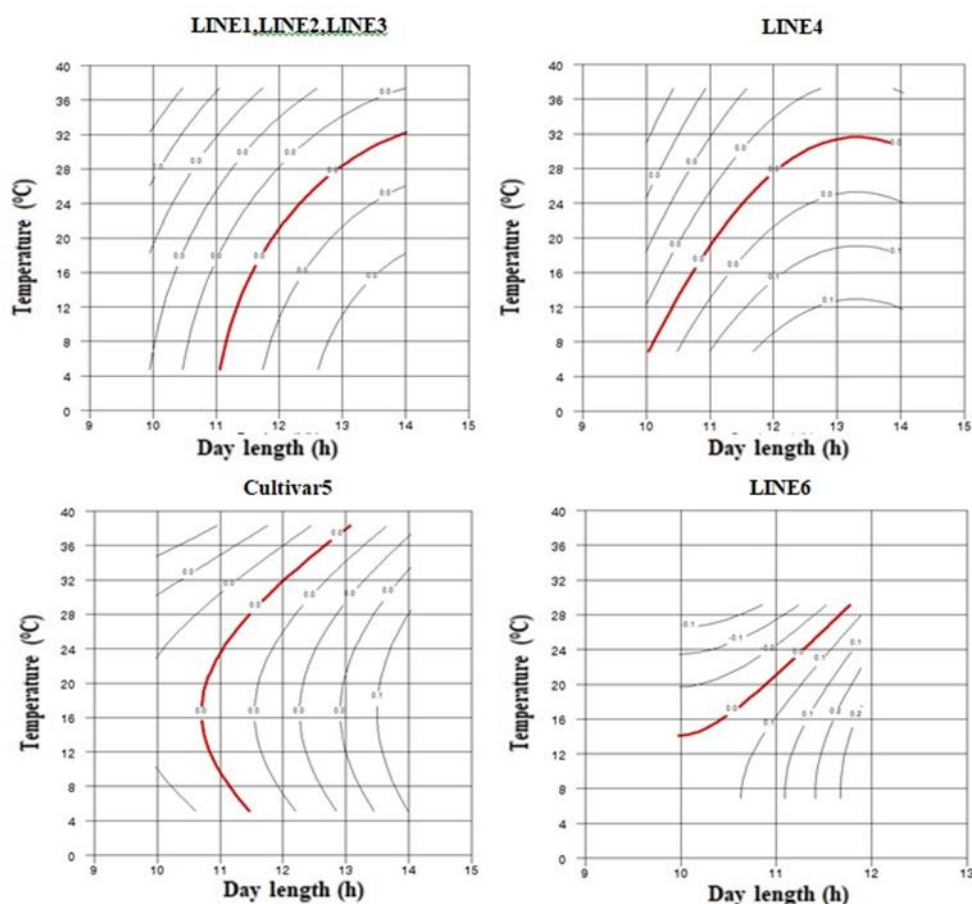
شکل ۱۰- اثر دما و طول روز بر سرعت گل‌دهی لاین‌های کینوا

Fig. 10- The effect of temperature and day length on the flowering rate of quinoa lines

جدول ۶- تخمین طول روز ویژه رسیدگی دانه لاین‌های کینوا با استفاده از مدل‌های درجه‌دو و تابع تکه‌ای

Table 6- Estimation of day length for grain ripening of quinoa lines using the quadratic model and segmented model

	لاین	طول روز پایه	طول روز بهینه	طول روز بیشینه	ضریب تبیین
	Line	P_b (h)	P_o (h)	P_m (h)	R^2
مدل درجه‌دو Quadratic model	1	5.41	10.94	16.47	0.99
	2	5.41	10.94	16.47	0.99
	3	5.41	10.94	16.47	0.99
	4	5.41	10.95	16.5	0.99
	5	5.78	11.05	16.32	0.98
مدل تکه‌ای Segmented model	1	0	11.92	19.23	0.96
	2	0	11.92	19.23	0.96
	3	0	11.92	19.23	0.96
	4	0	11.82	19.73	0.99
	5	0	12.3	18.12	0.99



شکل ۱۱- اثر دما و طول‌روز بر سرعت رسیدگی دانه لاین‌های کینوا

Fig. 11- The effect of temperature and day length on grain ripening rate of quinoa lines

و دقیق‌تر در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار گیرد. دمای بیشینه تمام مراحل نمو کینوا بالای ۴۰ درجه سانتی‌گراد (۴۲-۵۱ درجه سانتی‌گراد) محاسبه شد. مرحله گل‌دهی نسبت به رسیدگی دانه به درجه حرارت‌های پایین حساس‌تر بود. طول‌روز مناسب گل‌دهی و رسیدگی دانه لاین‌های کینوا بین ۱۱/۵ تا ۱۲ ساعت محاسبه شد. تفاوت‌ها بین نتایج برآورد دما و طول‌روز بین دو مدل تکه‌ای و درجه‌دو قابل توجه نبود، اگر چه در اغلب برآوردها مدل درجه‌دو ضریب تبیین بالاتری داشت. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که دما و طول‌روز اثر جبران‌کنندگی بر سرعت گل‌دهی و رسیدگی دانه لاین‌های مورد مطالعه دارد.

سپاسگزاری

هزینه انجام این پژوهش در قالب طرح شماره ۳ به‌شماره

محدوده متوسط سرعت گل‌دهی و سرعت دانه‌بندی در نمودارهای اثرات متقابل دما و طول‌روز با خطوط ضخیم‌تر در اشکال ۱۰ و ۱۱ مشخص شد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که بر اساس معادلات خطی و غیرخطی دمای بهینه تمام مراحل نمو لاین‌های کینوا بین ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد. بین دماهای پایه مراحل نمو اختلاف قابل توجهی وجود داشت. دمای پایه جوانه‌زنی لاین‌های کینوا بالای صفر درجه سانتی‌گراد، دمای پایه گل‌دهی بر اساس معادلات رگرسیون، بین ۲- تا ۲+ درجه سانتی‌گراد و دمای پایه رسیدگی دانه، زیر صفر درجه سانتی‌گراد محاسبه شد. این نتایج حاصل از مدل معادلات خطی و غیر خطی بر روی داده‌های مزرعه است و لازم است بررسی بیشتر

۱۳۹۹/۰۶/۱۹ مصوب توسط معاونت محترم پژوهش و
فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که به این وسیله
قدردانی می‌شود.

References

- Adolf, V. I., Jacobsen, S.E., & Shabala, S. (2013). Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany*, 92, 43-54. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.004>
- Bendevis, M.A., (2013). Differentiation of photoperiod-induced ABA and soluble sugar responses of two quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. *Journal of Plant Growth Regulation*, DOI 10.1007/s00344-013-9406-9.
- Bertero, H. D., (2003). Response of developmental processes to temperature and photoperiod in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*, 19, 87-97. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018870>
- Bertero, H. D., King, R. W., & Hall, A. J., (1999a). Modelling photoperiod and temperature responses of flowering in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Research*, 63, 19-34. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(99\)00024-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(99)00024-6)
- Bertero, H. D., King, R. W., & Hall, A. J., (1999b). Photoperiod-sensitive development phases in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Research*, 60, 231-243. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00128-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00128-2)
- Bois, J. F., Winkel, T., Lhomme, J. P., Raffaillac, J. P., & Rocheteau, A. (2006). Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal of Agronomy*, 25, 299-308. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.06.007>
- Bunce, J. A. (2018). Thermal acclimation of the temperature dependence of the VCmax of Rubisco in quinoa. *Photosynthetica*, 56, 1-6.
- Christiansen, J. L., Jacobsen, S. E., & Jørgensen, S. T. (2010). Photoperiodic effect on flowering and seed development in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Acta Agriculturae Scandinavica*, 60, 539-544. <https://doi.org/10.1080/09064710903295184>
- FAO.(2011). Quinoa; an ancient crop to contribute to world food security. 63 p.
- García-Parra, M. A., Roa-Acosta, D. F., Stechauner-Rohringer, R., García-Molano, F., Bazile, D., & Plazas-Leguizamón, N.(2020). Effect of temperature on the growth and development of quinoa plants (*Chenopodium quinoa* Willd.): A review on a global scale. *SYLWAN*, 164, 411-433.
- Gonzalez, J. A, Rosa, M., Parrado, M. F., Hilal, M., & Prado, F. E.(2009). Morphological and physiological responses of two varieties of a highland species (*Chenopodium quinoa* Willd.) growing under near-ambient and strongly reduced solar UV-B in a lowland location. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 96, 144-151. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2009.05.003>
- Hinojosa, L., Matanguihan, J. B., & Murphy, K. M.(2019). Effect of high temperature on pollen morphology, plant growth and seed yield in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 205, 33-45. <https://doi.org/10.1111/jac.12302>
- Hirich, A., Choukr-Allah, R., and Jacobsen, S.E. (2014). Quinoa in Morocco-Effect of sowing dates on development and yield. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 200, 371-377. <http://dx.doi.org/10.1111/jac.12071>
- Javadzadeh, S. M., Rezvani Moghaddam, P., Banayan-Aval, M., & Asili, A. (2017). Cardinal temperatures for germination of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Iranian Journal of Seed Research*, 3,129-141. <http://dx.doi.org/10.29252/yujs.3.2.129>
- Karina, B. R., Stefania, B., Rómulo, O., Ian, S. A. R., Fabiana, A., Enrique, A. M. M., Amadou, C., Alipio, C.M., Milton, P., Andrés, Z.S., Didier, B., Sven, E.J., & Marco, A. M. M. (2014). Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. *Agronomy for . Sustainable Development*, 34, 349-359.
- Keisling, T. C. (1982). Calculation of the length of day. *Agronomy Journal*, 74, 758-759.
- Mamedi, A., Tavakkol Afshari, R., & Oveisi, M. (2017). Cardinal temperatures for seed germination of three quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. *Iranian Journal of Field Crop Science, Special Issue* 89-100. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.206204.654106>
- Nanduri, K.R., Hirich, A., Salehi, M., Saadat, S., & Jacobsen, S. E. (2019). Quinoa: A New Crop for Harsh

Environments. *Food and Bioprocess Technology*, 301-333. [Doi.org/10.1007/978-3-030-04417-6_19](https://doi.org/10.1007/978-3-030-04417-6_19).

Soltani, A., Robertson, M., Mohammad-Nejad, Y., & Rahemi-Karizaki, A.(2006). Modeling chickpea growth and development: Leaf production and senescence. *Field Crops Research*, 99, 14. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.02.005>

Contents

Growth and Yield Response of Wheat (Mihaan variety) to Future Climate Change in Kerman and Ardebil	1
Rooholla Moradi and Mehdi Naghizadeh	
Evaluation of Physiological, Biochemical and Grain Yield of Five <i>Lallemantia iberica</i> Accessions under Tillage Method in Rainfed Conditions of Khorramabad Region	17
Zeinab Sarafraz, Majid Amini Dehaghi and Masood Rafieei	
Effect of the Application of Chemical, Organic and Biological Fertilizers on Yield and Biochemical Traits of Iranian Shallot (<i>Allium hirtifolium</i>)	31
Razieh Amirkhani, Hossein Aroiee, and Abdollah Ghasemi Pirbalouti	
Evaluation of DSSAT-CROPGRO-Canola Model to Simulate Growth and Yield of Two Canola (<i>Brassica napus</i> L.) Cultivars in Karaj	51
Gelareh Goodarzi, Ahmad Ghanbari, Saeid Soufizadeh, Hamid Jabbari and Ali Eskandari	
Spatial Distribution Maps of Horticultural and Agricultural Crops Lands Generating at the Country Scale for Iran	75
Seyyed Majid Alimagham, Afshin Soltani, Amir Dadrasi and Alireza Nehbandani	
Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungus (<i>Rhizophagus intraradices</i>) and Nitrogen Fertilizer under Different Irrigation Regimes on Quantity and Quality Characteristics of Peppermint (<i>Mentha piperita</i> L.)	89
Abdollah Javanmard, Ali Ostadi and Mostafa Amani Machiani	
Evaluation of the Efficiency of Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) Straw Checkerboard Barriers Technique on Moisture Retention, CO₂ Production and Soil Microbial Population	119
Elahe Ahmadpoor Dehkordi, Ali Abbasi Surki, Mehdi Pajouhesh and Pejman Tahmasebi	
Combined Effect of Biological and Nitrogen Fertilizers on Leaf Area Index and Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) Yield under Different Irrigation Conditions	139
Ardalan Balabandian, Majid Ashouri, Hamid Reza Doroudian, Seyyed Mostafa Sadeghi and Mojtaba Rezaei	
Effect of Relay Triple Intercropping arrangements of Sugar Beet (<i>Beta vulgaris</i>), Chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) and Mung Bean (<i>Vigna radiata</i> L.) on Yield and Yield Components	153
Alireza Koocheki, Mehdi Nassiri Mahallati, Mohammad Hassan Hatefi Farajian and Mina Hooshmand	
Parameterization and Evaluation of a Simple Simulation Model (SSM-iCrop2) for Alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) Growth and Yield in Iran	169
Shabnam Pourshirazi, Afshin Soltani, Ebrahim Zeinali and Benjamin Torabi	
Determination of Cardinal Temperatures and Photoperiodic Response of Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> L.) Lines using Linear and Nonlinear Models	191
Shahab Eghbali Shahabad, Mohsen Jahan, Masoume Salehi and Mehdi Nassiri Mahallati	

Journal of Agroecology (Quarterly)

Vol. 15 No. 1 Spring 2023

Published by: Ferdowsi University of Mashhad

Editor in charge: Prof. Alireza Koocheki

Editor in chief: Prof. Parviz Rezvani Moghaddam

Internal manager: Dr. Surur Khorramdel

Editorial Board:

Dr. Goodarz Ahmadvand, Faculty of Agriculture, BU-Ali Sina University, Hamadan

Prof. Morteza Barmaki, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili

Prof. 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

Prof. 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. Mansour Ghorbanpour, Faculty of Agriculture, University of Arak

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

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>

Contents

Growth and Yield Response of Wheat (Mihan variety) to Future Climate Change in Kerman and Ardebil 1	Rooholla Moradi and Mehdi Naghizadeh
Evaluation of Physiological, Biochemical and Grain Yield of Five <i>Lallemantia iberica</i> Accessions under Tillage Method in Rainfed Conditions of Khorramabad Region..... 17	Zeinab Sarafraz, Majid Amini Dehaghi and Masood Rafieci
Effect of the Application of Chemical, Organic and Biological Fertilizers on Yield and Biochemical Traits of Iranian Shallot (<i>Allium hirtifolium</i>)..... 31	Razieh Amirkhani, Hossein Aroize, and Abdollah Ghosemi Purbulouti
Evaluation of DSSAT-CROPGRO-Canola Model to Simulate Growth and Yield of Two Canola (<i>Brassica napus</i> L.) Cultivars in Karaj 51	Gelareh Goodarzi, Ahmad Ghanbari, Saeid Soufizadeh, Hamid Jabbari and Ali Eskandari
Spatial Distribution Maps of Horticultural and Agricultural Crops Lands Generating at the Country Scale for Iran 75	Seyyed Majid Alimagham, Afshin Soltani, Amir Dadras and Alireza Nehtbandari
Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungus (<i>Rhizophagus intraradices</i>) and Nitrogen Fertilizer under Different Irrigation Regimes on Quantity and Quality Characteristics of Peppermint (<i>Mentha piperita</i> L.)..... 89	Abdollah Javanmard, Ali Ostadi and Mostafa Amani Machiani
Evaluation of the Efficiency of Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) Straw Checkerboard Barriers Technique on Moisture Retention, CO ₂ Production and Soil Microbial Population..... 119	Elabe Ahmadpoor Dehkordi, Ali Abbasi Sarki, Mehdi Pajouhesh and Pejman Tahmasebi
Combined Effect of Biological and Nitrogen Fertilizers on Leaf Area Index and Rice (<i>Oryza sativa</i> L.)Yield under Different Irrigation Conditions..... 139	Ardaian Balabandian, Majid Ashouri, Hamid Reza Doroudian, Seyyed Mostafa Sadeghi and Mojtaba Rezaei
Effect of Relay Triple Intercropping arrangements of Sugar Beet (<i>Beta vulgaris</i>), Chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.) and Mung Bean (<i>Vigna radiate</i> L.) on Yield and Yield Components 153	Alireza Koocheki, Mehdi Nassiri Mahallati, Mohammad Hassan Hafei Farajian and Mina Hooshmand
Parameterization and Evaluation of a Simple Simulation Model (SSM-iCrop2) for Alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.) Growth and Yield in Iran 169	Shahnam Pourshirazi, Afshin Soltani, Ebrahim Zeinali and Benjamin Torabi
Determination of Cardinal Temperatures and Photoperiodic Response of Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> L.) Lines using Linear and Nonlinear Models..... 191	Shahab Eghbali Shahabad, Mohsen Jahani, Masoume Salehi and Mehdi Nassiri Mahallati