نشریه علمی

بوم شناسی کشاورزی (فصلنامه)

جلد ۱۴ شماره ۴

زمستان ۱۴۰۱

شاپا: ۷۷۱۳-۲۰۰۸

(شماره پیاپی ٥٤)

عنوان مقالات

واسنجی و تعیین اعتبار مدل WOFOST برای پیش‌بینی فنولوژی و عملکرد سیب‌زمینی(*Solanum tuberosum* L.) در ایران ۶۰۳
مجتبی ترکمان، مهدی نصیری محلاتی و علیرضا کوچکی

پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت گیاهان دارویی در استان قم با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ۶۱۹
محمد مهدی فتاحی، رسول مهدوی، مرضیه رضایی و یحیی اسماعیل‌پور

تأثیر نظام‌های خاک‌ورزی، مدیریت بقایای گیاهی و کاربرد کود پتاسیم بر عملکرد و برخی ویژگی‌های
فیزیولوژیک چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.)........................ ۶۳۵
زهرا میر، احمد قنبری، مهدی دهمرده، محمود رمرودی و محمد رضا اصغری پور

اثر بایوچار، کود نیتروژن و باکتری *آزوسپیریلوم لیپوفروم* بر شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن گیاه برنج در
شرایط آبیاری غرقاب و متناوب ۶۵۱
محمد کاوه، محمدعلی اسماعیلی، همت‌الله پیردشتی و محمدرضا اردکانی

بررسی اثر مقادیر مختلف کود نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن دو رقم کینوا
(*Chenopodium quinoa Willd.*) در استان خوزستان........................ ۶۷۳
پیوند پاین، علی مختاران و سجاد انصاری اردلی

تحلیل میزان مصرف آب و انرژی و اثرات محیط زیستی تولید محصولات کشاورزی در دشت میاندربند استان کرمانشاه ۶۹۵
فرانک کرمیان، علی اصغر میرکتولی و آرش آذری

شبیه‌سازی مراحل فنولوژیک و طول دوره رشد سورگوم (Sorghum bicolor L.) دانه‌ای با استفاده از
مدل SSM-iSorghum (مطالعه موردی: شهرستان گرگان)........................ ۷۱۵
علی راحمی کاریزکی، حمید کوهکن، محمد تقی فیض‌بخش و نبی خلیلی‌اقدم

واکنش بالنگو شهری (Lallemantia iberica) و شیرازی (Lallemantia royleana) تلقیح شده به قارچ مایکوریزا
در رژیم‌های متفاوت آبیاری........................ ۷۳۳
آرزو پراور، سعیده ملکی فراهانی و علیرضا رضازاده

برآورد نیاز آبی و عملکرد گندم (Triticum aestivum L.) تحت تأثیر تغییر اقلیم (مطالعه موردی: دشت قزوین) ۷۵۳
مژگان احمدی و هادی رمضانی اعتدالی

تأثیر مدیریت بقایای برنج بر خصوصیات رشدی، عملکرد کمّی و کیفی ارقام کلزا(Brassica napus) ۷۷۱
حمید امانی‌پور و سید کیوان مرعشی

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.

جلد۱۴ شماره ٤ زمستان ۱۴۰۱

صاحب امتیاز و ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول: دکتر علیرضا کوچکی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
سردبیر: دکتر پرویز رضوانی مقدم، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
مدیر داخلی: دکتر سرور خرم‌دل، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

اعضای هیئت تحریریه (به‌ترتیب حروف الفبا)
دکتر گودرز احمدوند، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان
دکتر محمد پسرکلی، استاد پژوهشی، دانشکده علوم گیاهی، دانشگاه آریزونا
دکتر 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 تگزاسA & M
دکتر رضا قربانی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر علیرضا کوچکی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر محمد گلوی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
دکتر مهدی نصیری محلاتی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

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

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

پست الکترونیکی: agroecology@um.ac.ir **آدرس سایت:** https;//agry.um.ac.ir

این نشریه در پایگاه‌های زیر نمایه می‌شود:
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.

بسم الله الرحمن الرحیم

مندرجات

واسنجی و تعیین اعتبار مدل WOFOST برای پیش‌بینی فنولوژی و عملکرد سیب‌زمینی(*Solanum tuberosum* L.) در ایران ۶۰۳
مجتبی ترکمان، مهدی نصیری محلاتی و علیرضا کوچکی

پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت گیاهان دارویی در استان قم با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ۶۱۹
محمد مهدی فتاحی، رسول مهدوی، مرضیه رضایی و یحیی اسماعیل‌پور

تأثیر نظام‌های خاک‌ورزی، مدیریت بقایای گیاهی و کاربرد کود پتاسیم بر عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) ۶۳۵
زهرا میر، احمد قنبری، مهدی دهمرده، محمود رمرودی و محمد رضا اصغری پور

اثر بایوچار، کود نیتروژن و باکتری *آزوسپیریلوم لیپوفروم* بر شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن گیاه برنج در شرایط آبیاری غرقاب و متناوب ۶۵۱
محمد کاوه، محمدعلی اسماعیلی، همت‌الله پیردشتی و محمدرضا اردکانی

بررسی اثر مقادیر مختلف کود نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن دو رقم کینوا (*Chenopodium quinoa Willd.*)در استان خوزستان ۶۷۳
پیوند پاپن، علی مختاران و سجاد انصاری اردلی

تحلیل میزان مصرف آب و انرژی و اثرات محیط زیستی تولید محصولات کشاورزی در دشت میاندربند استان کرمانشاه ۶۹۵
فرانک کرمیان، علی اصغر میرک‌زاده و آرش آذری

شبیه‌سازی مراحل فنولوژیک و طول دوره رشد سورگوم (Sorghum bicolor L.) دانه‌ای با استفاده از مدل SSM-iSorghum (مطالعه موردی: شهرستان گرگان) ۷۱۵
علی راحمی کاریزکی، حمید کوهکن، محمد تقی فیض‌بخش و نبی‌خلیلی‌اقدم

واکنش بالنگو شهری (Lallemantia iberica) و شیرازی (Lallemantia royleana) تلقیح شده به قارچ مایکوریزا در رژیم‌های متفاوت آبیاری ۷۳۳
آرزو پراور، سعیده ملکی فراهانی و علیرضا رضازاده

برآورد نیاز آبی و عملکرد گندم (Triticum aestivum L.) تحت تأثیر تغییر اقلیم (مطالعه موردی: دشت قزوین) ۷۵۳
مژگان احمدی و هادی رمضانی اعتدالی

تأثیر مدیریت بقایای برنج بر خصوصیات رشدی، عملکرد کمّی و کیفی ارقام کلزا(Brassica napus) ۷۷۱
حمید امانی‌پور و سید کیوان مرعشی

اسامی ارزیابان جلد ۱٤ شماره ٤ (زمستان ۱٤۰۱) نشریه بوم شناسی کشاورزی (به ترتیب الفبا)

دکتر پرویز احسان زاده	دانشگاه صنعتی اصفهان
دکتر محمدرضا اصغری پور	دانشگاه زابل
دکتر مسعود اصفهانی	دانشگاه گیلان
دکتر سیدرضا امیری	مجتمع آموزش عالی سراوان
دکتر محمدبهزاد امیری	دانشگاه پیام نور- نیشابور
دکتر بهاره پارسا مطلق	دانشگاه جیرفت
دکتر علیرضا پیرزاد	دانشگاه ارومیه
دکتر مجتبی ترکمان	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر مژگان ثابت تیموری	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر سید مهدی جوادزاده	دانشگاه آزاد اسلامی- ایرانشهر
دکتر حامد جوادی	دانشگاه پیام نور خراسان جنوبی
دکتر محسن جهان	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر عباس حسنی	دانشگاه ارومیه
دکتر فرزاد حسین پناهی	دانشگاه کردستان
دکتر عباس خاشعی	دانشگاه بیرجند
دکتر سرور خرم دل	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر حمیدرضا خزاعی	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر رضا دیهیم فرد	دانشگاه شهید بهشتی تهران
دکتر اسماعیل رضایی چیانه	دانشگاه تبریز
دکتر محمود رمرودی	دانشگاه زابل
دکتر هادی رمضانی اعتدالی	دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)، قزوین
دکتر عباس روحانی	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر امیر سالاری	دانشگاه شهید چمران اهواز
دکتر هادی سالک معراجی	دانشگاه فنی حرفه ای- عضو کمیسیون تالیف و برنامه ریزی درسی
دکتر سارا سنجانی	موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج
دکتر محمدعلی غلامی سفیدکوهی	دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
دکتر الهیار فلاح	موسسه تحقیقات برنج کشور
دکتر علی مومنی	موسسه تحقیقات برنج مازندران
دکتر عبدالمجید مهدوی دامغانی	دانشگاه شهید بهشتی تهران

Introduction to the Persian Journal of Agroecology

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

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

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

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

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

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

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

سخن سردبیر

در حال حاضر بوم‌نظام‌های تولید غذا در جهان با اتکاء به دستاوردهای حاصل از تکنولوژی‌های جدید، توانسته است از دیدگاه کمی غذای مورد نیاز جمعیت کره زمین را تولید نماید، ولی از نظر کیفی هنوز بیش از یک میلیارد و دویست میلیون نفر در گرسنگی یا سوء تغذیه بسر می‌برند و این در حالی‌ست که بوم‌نظام‌های فعلی تولید غذا با مشکلات بسیاری از جمله فرسایش خاک، بحران آب، تخریب زمین‌های حاصلخیز، مقاومت علف‌های هرز و آفات به علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها، طغیان آفات و بیماری‌های ناشی از 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 تردیده بهره‌گیری از مبانی بوم‌شناختی در تولید مواد غذایی نه تنها شناخت بیشتری را می‌طلبد، بلکه فرآیندی درازمدت و با ثبات بوده و برای ارزیابی آن باید مقیاس زمانی طولانی‌تری را مدنظر قرار داد. طراحی بوم‌نظام‌های کشاورزی بر چنین مبانی، مراحل مختلفی از جمله مرحله بالابردن کارآیی و بهروه‌وری نهاده‌ها، جایگزینی عملیات و نهاده‌های بوم سازگار و در نهایت، مرحله تجدید ساختار بوم‌نظام را دربردارد. به نظر می‌رسد که پیمودن چنین راهی جز با تغییر نگرش‌ها و بازتعریف مفاهیم رایج در فرآیندی تدریجی میسر نخواهد بود.

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

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

با احترام، پرویز رضوانی مقدم

سردبیر نشریه بوم‌شناسی کشاورزی

به‌نام خدا

پذیرش مقاله برای چاپ در نشریه

مقدمه

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

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

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

- فعالیت‌های پژوهشی کشاورزی با اتکاء به حفاظت از منابع طبیعی و محیط‌زیست و افزایش کارآیی و بهره‌وری منابع آب و خاک و نهاده‌های شیمیایی

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

راهنمای نحوه نگارش و تهیه مقالات

- از آنجایی‌که هدف مجله "بوم‌شناسی کشاورزی" پیوستن به فهرست مجلات ISI می‌باشد, رعایت موارد زیر در نوشتن مقاله ضروری خواهد بود.
- متن مقاله روی کاغذ A4 با فاصله 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 نرم افزار منتقل شوند. عناوین شکل‌ها و جداول به دو زبان فارسی و انگلیسی در نرم‌افزار MS-Word و مجزا از شکل با قلم بی میترا (B Mitra) و اندازه ۱۲ با فاصله خط ۱ نوشته شوند. کلیه شکل‌ها و جداول بدون کادر باشند.
- تعداد صفحات مقاله حداکثر ۲۰ صفحه تعیین گردیده است.

- کلیه واحدهای اندازه‌گیری بر اساس سیستم متریک باشند.
- کلیه سطرهای متن مقاله بصورت ادامه‌دار (Continuous) شماره‌گذاری (Line numbering) شوند.
- هر مقاله باید شامل بخشهای مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، 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 نام‌خانوادگی، درجه علمی، آدرس پستی و الکترونیکی، تلفن تماس، نام نویسنده مسئول به زبان فارسی و سپس عنوان انگلیسی مقاله، نام و نام‌خانوادگی, درجه علمی و آدرس نویسندگان به زبان انگلیسی نوشته شوند (بدون شماره صفحه).
- **در صفحه نخست** عنوان مقاله به فارسی، چکیده مقاله و کلمات کلیدی (بدون ذکر نام نویسندگان) آورده شوند.
- **چکیده مبسوط باید بر مبنای دستورالعمل زیر تهیه شود:**
- این چکیده که جایگزین چکیده کوتاه است بایستی بین ۷۰۰-۶۰۰ واژه بوده و به تفکیک دارای اجزای زیر باشد:

1. Title
2. Introduction
3. Materials and Methods
4. Results and Discussion
5. Conclusion
6. Acknowledgements
7. Keywords

- همچنین بین قسمتهای چکیده مبسوط تناسب منطقی برقرار باشد، بدین معنی که ۳۰٪ مربوط به مقدمه، ۲۰٪ مواد و روش‌ها و ۵۰٪ مربوط به نتایج و بحث باشد و در انتها هم یک نتیجه گیری کلی نوشته شود.
- **کلمات کلیدی** در انتهای چکیده و حداکثر شش کلمه آورده شوند. کلمات کلیدی در عنوان مقاله وجود نداشته باشند.
- **در متن مقاله** نحوه رجوع به منابع بصورت اسم نویسنده (نویسندگان) و تاریخ انتشار منبع باشد. در ارجاع به منابع باید تا حد ممکن از نام بردن افراد در شروع جمله خودداری و منابع در انتهای جمله و در پرانتز ارائه شوند مانند: (Mohamadi, 2007). برای جداسازی منابع در انتهای جمله از ";" استفاده می‌شود
- مثال: (Smith, 1999; Samuel et al., 2008; Smith & Samuel, 2009).
- چنانچه در شروع جمله به منبعی استناد شود به صورت نام (سال) نوشته شود و اسامی فارسی نیز باید به لاتین و سال شمسی به میلادی برگردان شوند. نحوه ارجاع به منابع دارای یک نگارنده، دو نگارنده و چند نگارنده که در ابتدای جمله قرار گیرند به ترتیب زیر انجام گیرد:
- Smith (1999)، Smith & Samuel (2009) و Samuel et al. (2008)
- **جداول و شکل ها:** در تنظیم جداول از خطوط افقی و عمودی استفاده نشود مگر در بالا و پایین سطر اول جدول و پایین آخرین سطر آن. هر ستون جدول باید دارای عنوان و واحد مربوط باشد. ترجمه انگلیسی عنوان و زیر عنوان‌ها ی جداول در زیر نوشته فارسی آنها درج شوند. محتوای جداول (اعداد) تنها به انگلیسی نوشته شوند. شکلها کاملا انگلیسی تنظیم گردند. بطور کلی اطلاعات شکل‌ها و جداول قابل استفاده برای خوانندگان انگلیسی زبان باشد.
-
- **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 LSDدر 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 صورتی‌که در نوشتن منابع مقاله از برنامه EndNote استفاده می‌شود، در قسمت Bibliography style نوع Agri Ecosys Enviro انتخاب گردد.

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

مثال‌هایی 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- رساله‌های تحصیلی:

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

۸- کنفرانس‌ها ی علمی:

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

۹- گزارش‌های علمی:

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

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

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

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 می‌باشند، تقاضا می‌شود مقالات خود را با مشخصات فوق تهیه و از طریق سایت نشریه به صورت الکترونیکی برای دفتر نشریه ارسال فرمایند.

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

صندوق پستی: ۱۱۶۳-۹۱۷۷۵

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

Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

CC BY

Research Article
Vol. 14, No. 4, Winter 2023, p. 601-615

Calibration and Validation of WOFOST Model for Predicting the Phenology and Yield in Potato (Solanum tuberosum L.) Growing Regions in Iran

Mojtaba Torkaman[1], Mehdi Nassiri Mahallati[2*] and Alireza Koocheki[2]

Received: 13-06-2015
Revised: 03-10-2015
Accepted: 27-10-2015
Available Online: 27-10-2015

How to cite this article:
Torkaman, M., Nassiri Mahallati, M., and Koocheki, A., 2023. Calibration and validation of WOFOST model for predicting the phenology and yield in potato (Solanum tuberosum L.) growing regions in Iran. Journal of Agroecology 14(4): 601-615.
DOI: 10.22067/jag.v1i1.47502

Introduction

Food and Agriculture Organization of the united nations (FAO) stated potato as a product supplier in the world's future food security and Iran with an annual production of 5 million tons of potatoes ranked eleventh in the world's total production. Future climate change may have strong influence on field crops including potato and evaluation of these effects is of great importance. Crop simulation models are known as powerful tools to study crop responses to the future climatic scenarios. However, such models should be calibrated and validated for local conditions before using in climatic studies at regional scale. WOFOST (WOrld FOod STudies) is a well- known crop simulation model and during the past two decades has been widely used in various studies. Simulation method of WOFOST is based on leaf photosynthesis and the assimilates are converted to dry matter of different plant organs using specific conversion factors, after subtraction of the calculated values of maintenance and growth respiration. The model also simulated phenological stages of crop based on accumulated degree days. For simulation of potential yield WOFOST inputs are daily weather data and crop specific parameters. In previous studies WOFOST model was calibrated for several crops such as wheat, corn and sugar beet in different parts of Iran but not for potato. The aim of this study was to calibrate and statistically validate the WOFOST model for predicting phenology and tuber yield of potato under potential growth conditions in different climatic regions of Iran.

Materials and Methods

Yield, phenological and weather data of major potato production regions of Iran (Hamedan, Ardabil, Isfahan, Ghorveh, Shiraz, Jiroft, Mashhad, Gorgan and Dezful) covering wide range of climatic conditions were collected from official databases and field observations for 5 years (2010-2014). The model was calibrated under potential production conditions for semi-late varieties (e.g. Agria) with the dataset of 3 years and the remaining 2-year data was used for model validation. Calibration was conducted using FSEOPT sub-program which optimizes the model parameters with the lowest deviation between measured and simulated yield and phenological variables.

Predicted results of yield and phenological stages were tested against observed values during model validation. The model performance was statistically evaluated using coefficient of determination (R^2), t-

1- Ph.D. in Crop Ecology, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Expert of Hamedan Meteorology Office, Iran.
2- Professor, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
(*- Corresponding author's Email: mnassiri@um.ac.ir)

test, root mean square error (RMSE), normalized root mean square error (RMSEn), maximum error (ME) and coefficient of efficiency (E).

Results and Discussion

During the ccalibration, fewmodel parameters and functions including thermal time from emergence to initiation of flowering (TSUM1), thermal time from initiation of flowering to maturity (TSUM2), specific leaf area as a function of development stage (SLATB), lower threshold temperature for ageing of leaves (TBASE), maximum leaf CO_2 assimilation rate as a function of development stage of the crop (AMAXTB) and air temperature affecting photosynthetic rate (TMPFTB) was amended. It should be noted that for regions with cold summers such as Ardabil, Oromieh or Sarab TSUM2 was set at 1580 °Cd which is relatively lower than 1789 °Cd used for other parts of the country. Validation of model with independent data showed a great compliance of simulation results with field observations. Average simulated tuber yield over all regions and the studied period was 52061 kg ha^{-1} that was reasonably close to the mean observed potato tuber yield of 50650 kg ha^{-1} and the same was obtained for phenological variables. RMSE for tuber yield was 2933 kg ha^{-1} and for time to emergence, flowering and physiological maturity were estimated as 1.6, 3.2 and 6.4 days, respectively. RMSEn for phenological stages such as days to emergence, flowering, physiological maturity and tuber yield were 9.5, 8.3, 5.6 and 5.8%, respectively showing good model accuracy.

Conclusion

Based on the results the WOFOST model will be able to simulate the yield and phenological stages of potato with an acceptable performance at different regions of Iran. The calibrated model can be successfully used for climate change impact studies and yield gap analysis of potato under wide range of climatic conditions over country. However, it seems that the model should be also assessed for other potato cultivars with different growth habits.

Keywords: Coefficient of model efficiency, Modelling, Phenological stages, Potential conditions, Statistical indices.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

واسنجی و تعیین اعتبار مدل WOFOST برای پیش‌بینی فنولوژی و عملکرد سیب‌زمینی(*Solanum tuberosum* L.) در ایران

مجتبی ترکمان[1*]، مهدی نصیری محلاتی[2] و علیرضا کوچکی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۲۳
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۴/۰۷/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۸/۰۵

ترکمان، م.، نصیری محلاتی، م.، و کوچکی، ع.، ۱۴۰۱. واسنجی و تعیین اعتبار مدل WOFOST برای پیش‌بینی فنولوژی و عملکرد سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در ایران. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۴): ۶۱۵-۶۰۱.

چکیده

مدل WOFOST یکی از پرکاربردترین مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو در گیاهان می‌باشد که رشد، فنولوژی و عملکرد گیاه را به‌صورت روزانه در شرایط پتانسیل، کمبود آب و کمبود مواد غذایی شبیه‌سازی می‌کند. در این مطالعه، به‌منظور واسنجی و تعیین اعتبار مدل WOFOST برای ارقام نیمه-دیررس سیب‌زمینی(*Solanum tuberosum* L.) در شرایط پتانسیل از داده‌های روزانه هواشناسی، اطلاعات فنولوژیکی و عملکرد در مناطق همدان، اردبیل، اصفهان، قروه، شیراز، جیرفت، مشهد، گرگان، شاهرود و دزفول طی سال‌های ۹۳-۱۳۸۹ استفاده گردید. مراحل مختلف فنولوژیکی رشد (شامل کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا گل‌دهی و سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی) با استفاده از مشاهدات عینی در مزرعه تعیین و بر اساس دمای هوا مقدار درجه-روز رشد مورد نیاز برای تکمیل هر مرحله محاسبه شد و برای واسنجی و تعیین اعتبار پارامترهای گیاهی مدل مورد استفاده قرار گرفت. مدل با داده‌های سه سال واسنجی گردید و پس از آن ضرایب مدل به‌منظور انطباق با شرایط مختلف اقلیمی کشور برای مراحل فنولوژیکی و عملکرد غده تغییر یافت و سپس با داده‌های دو سال تعیین اعتبار شد. برای ارزیابی دقت مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عملکرد غده و مراحل فنولوژیکی زمان (سبز شدن، گل‌دهی و رسیدگی) از شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2)، آزمون t، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (RMSEn)، حداکثر خطا (ME) و ضریب کارآیی(E) استفاده گردید که همگی مطابقت نتایج شبیه‌سازی مدل با مشاهدات مزرعه‌ای را نشان دادند. نتایج نشان داد که جذر میانگین مربعات خطای مدل برای مراحل فنولوژیکی سبز شدن، گل‌دهی، رسیدگی فیزیولوژیکی به‌ترتیب ۱/۶، ۲/۳ و ۶/۴ روز و برای عملکرد غده ۲۹۳۳ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. همچنین جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده برای مراحل فنولوژیکی سبز شدن، گل‌دهی، رسیدگی فیزیولوژیکی و عملکرد غده به‌ترتیب ۹/۵، ۸/۳، ۵/۶ و ۵/۸ درصد محاسبه گردید که نشان‌دهنده درجه ناچیز خطای مدل بود. بر اساس نتایج حاصله مدل قادر خواهد بود عملکرد و مراحل فنولوژیکی را در مناطق مختلف ایران در حد مطلوب شبیه‌سازی نماید. با این‌حال، پیشنهاد می‌شود مدل برای سایر ارقام با تیپ رشدی متفاوت نیز ارزیابی گردد.

۱- دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، کارشناس اداره کل هواشناسی همدان، ایران.
۲- استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: mnassiri@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/jag.v1i1.47502

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های آماری، شرایط پتانسیل، ضریب کارایی مدل، مدلسازی، مرحله فیزیولوژیکی

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) بعد از ذرت (*Zea mays L.*)، گندم (*Triticum aestivum L.*) و برنج (Oryza sativa *L.*) چهارمین محصول زراعی از نظر ارزش غذایی محسوب می‌شود (Fabeiro et al., 2001). سازمان خوار و بار و کشاورزی جهانی (فائو[1]) سیب‌زمینی را یک محصول تأمین‌کننده امنیت غذایی آینده در دنیا معرفی نموده که به‌علت انعطاف‌پذیری اکولوژیکی زیاد در سراسر جهان پراکنده شده است و ایران با داشتن اقلیمی متنوع و با تولید سالانه پنج میلیون تن سیب‌زمینی در رتبه یازدهم تولید این محصول در جهان قرار دارد (FAOSTAT, 2012).

اقلیم جهانی در حال تغییر است و تغییرات آب و هوا در آینده تأثیرات زیادی بر تولید سیب‌زمینی خواهد داشت، لذا ارزیابی اثرات آب و هوا بر تولید این محصول ضروری می‌باشد (Singh et al., 2010)، بدین منظور یک مدل رشد محصول که قادر به شبیه‌سازی الگوی رشد و امکان بررسی تداخل اثرات متقابل شرایط زیست‌محیطی را داشته باشد بسیار مفید خواهد بود (Wolf & Oijen, 2002). طی چند دهه گذشته مدل‌های متعددی به‌منظور شبیه‌سازی مراحل رشد و تولید گیاهان زراعی، اثرات متغیرهای آب و هوایی و مدیریت آب و مواد غذایی در جهت استفاده بهینه از منابع موجود توسط محققین دانشگاه واگنینگن هلند معرفی و توسعه یافته‌اند (Kalra Wu, 2008; et al., 2007; Richter & Semenove, 2005) که تعدادی از آن‌ها از قبیل SUCROS، ORYZA، INTERCOM و WOFOST در مطالعات مختلف زراعی در جهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Van Ittersum et al., 2003).

یکی از مدل‌هایی که طی دو دهه گذشته به‌طور گسترده‌ای در مطالعات مختلف مورد استفاده قرار گرفته مدل WOFOST می‌باشد (Wu, 2008Hengsdijk et al., 1999;). مدل WOFOST[2] در چارچوب مطالعات جهانی امنیت غذا و پتانسیل جهانی تولید غذا، توسط مرکز جهانی مطالعات غذایی در همکاری با دانشگاه واگنینگن هلند و مرکز بیولوژیکی کشاورزی و حاصلخیزی خاک واگنینگن ایجاد گردید. مدل WOFOST توسط فان‌کولن و وولف (Van Keulen & Van Diepen, 1990) طراحی شده است که در ابتدا به‌عنوان مدل شبیه‌سازی رشد گیاه برای ارزیابی عملکرد پتانسیل گیاهان مختلف در کشورهای استوایی توسعه یافته است. از دیگر قابلیت‌های این مدل ارزیابی عملکرد پتانسیل نسبت به عوامل مؤثر بر رشد گیاه، تعیین فاکتورهای حساس پیش‌بینی عملکرد محصول و نیاز آبی گیاه با توجه به پیش‌بینی‌های هواشناسی است. در میان مدل‌هایی که از داده‌های روزانه آب و هوایی، خاک و گیاه به‌عنوان ورودی استفاده می‌کنند، مدل WOFOST دارای توانایی خوبی جهت استفاده در آنالیز ریسک و تولید یک محصول زراعی در شرایط اقلیمی خاص می‌باشد (Tsuji et al., 1998). با این‌حال، اغلب مدل‌های اقلیمی کشاورزی در صورت استفاده در محلی به غیر از محل ساخته شدن آن‌ها از دقت کافی برخوردار نمی‌باشند. بنابراین، پیش از به‌کارگیری این مدل‌ها در مطالعات لازم است تا با داده‌های فنولوژی و عملکرد، توانایی مدل در تخمین مراحل رشد و عملکرد گیاه در شرایط جدید افزایش یابد و نسبت به واسنجی پارامترهای مدل اقدام گردد (Hoogenboom et al., 1999). این عمل معمولاً با اجرای مدل، تصحیح پارامترها و ضرایب جهت اصلاح نتایج نادرست و تکرار این عمل تا حصول نتیجه مطلوب دنبال می‌شود (Wolf, 2003).

مدل WOFOST در سیستم پایش رشد گیاهی[3] برای تخمین عملکرد برخی گیاهان مختلف نظیر گندم، جو (*Hordeum vulgare L.*)، پنبه (*Gossypium herbaceum* L.)، آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*)، برنج، سویا (*Glycine max L.*)، سیب زمینی و دانه‌های روغنی در اتحادیه اروپا مورد استفاده قرار گرفته است. لازم به ذکر است که در این سیستم مدل با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)[4] متصل می‌گردد (Boogaard et al., 2002). ایتزینگر و همکاران (Eitzinger et al., 2004) با بررسی سه مدل CERES، SWAP و WOFOST برای شبیه‌سازی رشد و نمو، جو و گندم در شرایط لایسیمتری در سه نوع خاک نشان دادند که مدل‌های CERES و SWAP نسبت به مدل WOFOST عملکرد را با دقت بیشتری شبیه‌سازی می‌کند.

کاتالن و همکاران (Catalin et al., 2009) با بررسی سازگاری

1- Food and Agriculture Organization
2- World food studies
3- Crop Growth Monitoring System
4- Geographic Information System

مدل WOFOST برای شرایط رومانی نشان دادند که می‌توان از این مدل برای تحقیقات ویژه مثل بررسی تأثیر تغییرات آب و هوایی روی عملکرد استفاده کرد. همچنین WOFOST برای مطالعات ارزیابی اثر تغییر شرایط اقلیمی بر رشد محصول مورد استفاده قرار گرفته است (Wolf & Diepen, 1994).

علی‌رغم کاربردهای فراوان مدل مذکور در جهان متاسفانه این مدل در ایران چندان مورد استفاده قرار نگرفته و محدود به فعالیت‌های تحقیقاتی ارائه شده توسط کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2006) بر روی گندم دیم، امیری و همکاران (Amiri et al., 2011) بر روی برنج و بافکار و همکاران (Bafkar et al., 2011) بر روی ذرت و فرهادی بانسوله (Farhadi Bansouleh, 2009) بر روی جو می‌باشد. جهت استفاده کاربردی مدل در ایران نیاز مبرم به انجام مطالعات تحقیقاتی بیشتر در مناطق مختلف کشور می‌باشد. یکی از عوامل محدودکننده استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاه در کشوری مثل ایران نیاز به فعالیت‌های مزرعه‌ای جهت اندازه‌گیری و یا واسنجی برخی پارامترهای گیاهی این مدل‌ها می‌باشد (Farhadi Bansouleh, 2009).

با توجه به اینکه تاکنون گزارشی در زمینه به‌کارگیری مدل‌های شبیه‌سازی رشد سیب‌زمینی مخصوصاً مدل WOFOST در ایران منتشر نشده است، لذا هدف از این مطالعه معرفی، بررسی و اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی WOFOST در شرایط مختلف اقلیمی ایران جهت پیش‌بینی فنولوژی و عملکرد محصول سیب‌زمینی در شرایط پتانسیل می‌باشد تا بر اساس یافته‌های آن بتوان رشد و نمو گیاه سیب‌زمینی را در مناطق اصلی تولید آن با استفاده از این مدل شبیه‌سازی گردد.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری داده‌ها: به‌منظور واسنجی و تعیین اعتبار مدل WOFOST در شرایط پتانسیل از داده‌های روزانه فنولوژی و عملکرد سیب‌زمینی (ارقام نیمه دیررس نظیر آگریا، ساتینا، آئولا، باراکا و دیامانت) ثبت شده در ایستگاه‌های تحقیقات هواشناسی کشاورزی و گزارش نهایی طرح‌های تحقیقاتی مراکز تحقیقات کشاورزی و همچنین کشاورزانی که دارای عملکرد مطلوب بوده و سابقه کشت این محصول را به‌مدت ۱۵ سال داشتند در مناطق همدان، اردبیل، اصفهان، قروه، شیراز، جیرفت، مشهد، گرگان، شاهرود و دزفول که مراکز اصلی تولید سیب‌زمینی کشور (جدول ۱) محسوب می‌شوند، طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۸۹ و به‌مدت پنج سال جمع‌آوری و استفاده شد. بدین ترتیب بانکی از عملکردها، تاریخ‌های کاشت و مراحل فنولوژیکی کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا گل‌دهی و سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی برای هر منطقه مطالعاتی (۱۰ ایستگاه) تهیه و تنظیم گردید. انتخاب مناطق بر اساس میانگین درصد سطح زیر کشت و عملکرد هر استان از تولید سیب‌زمینی کشور طی سال‌های ۹۰-۱۳۷۴ بود. از ۱۰ استانی که بالاترین درصد تولید را داشتند مناطق (ایستگاه) مذکور انتخاب شدند (جدول ۱). داده‌های فنولوژی و عملکرد در سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ به‌منظور واسنجی و داده‌های سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۲ برای اعتبارسنجی مدل به‌کار گرفته شدند. در این مطالعه، مجموع درجه حرارت روزانه از سبز شدن تا گل‌دهی ($TSUM_1$) و مجموع درجه حرارت گل‌دهی تا رسیدگی ($TSUM_2$) به‌طور مستقیم بر اساس آزمایش‌های مزرعه‌ای، تحقیقات و گزارش‌های نهایی طرح‌های پژوهشی تعیین شد و مقادیر آن‌ها با استفاده از داده‌های هواشناسی که جزیی از داده‌های ورودی مدل است محاسبه و وارد مدل شدند.

در این مطالعه، منظور از عملکرد پتانسیل این است که آب و مواد غذایی بدون محدودیت در اختیار گیاه است و رشد و نمو در شرایط کنترل بیماری‌ها، آفات و علف‌های هرز صورت می‌گیرد، در این شرایط تولید محصول تابع شرایط آب و هوایی (درجه حرارت، تشعشع و غیره) و خصوصیات ژنتیکی گیاه می باشد.

داده‌های اقلیمی: پارامترهای روزانه هواشناسی (بارندگی، درجه حرارت حداکثر، درجه حرارت حداقل، ساعات آفتابی، سرعت باد و رطوبت نسبی) طی سال‌های ۹۳-۱۳۸۹ مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک شهرستان‌های مذکور (جدول ۱) از بانک داده‌های سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید. این ایستگاه‌ها پوشش کاملی از شرایط اقلیمی شهرهای تولیدکننده سیب‌زمینی در کشور را فراهم ساخته و معرف وضعیت عمومی هر منطقه می باشند. جهت برآورد میزان تشعشع روزانه در ایستگاه‌های مختلف هواشناسی کشور از روش خودریان (Goudriaan, 1993) استفاده شد. لازم به ذکر است این روش تشعشع روزانه و طول روز را بر اساس عرض جغرافیایی منطقه محاسبه می‌کند.

جدول ۱- میانگین درصد سطح زیر کشت و سهم تولید سیب‌زمینی در مهم‌ترین استان‌های تولیدکننده (ایستگاه) درکشور طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۷٤

Table 1- Mean percentage of cultivated area and production share in the most important potato producing provinces (station) in Iran from 1995-2011

ردیف No.	استان Province (station)	سطح Area (percentage)	عملکرد Yield (percentage)	ردیف No.	استان Province (station)	سطح Area (percentage)	عملکرد Yield (percentage)
1	همدان (همدان) Hamedan (Hamedan)	12.2 (6.8)	16.9 (9.8) *	6	جنوب کرمان (جیرفت) South Kerman (Jiroft)	5.6 (3.2)	4.8 (2.8)
2	اردبیل (اردبیل) Ardabil (Ardabil)	12.5 (10.9)	15.1 (11.5)	7	خراسان رضوی (مشهد) Khorasan Razavi (Mashhad)	3.3 (0.5)	3.6 (0.5)
3	اصفهان (اصفهان) Isfahan (Isfahan)	11.5 (0.6)	11.1 (1)	8	گلستان (گرگان) Golestan (Gorgan)	4.3 (3.2)	3.3 (2.5)
4	کردستان (قروه) Kordestan (Ghorveh)	5.5 (4.3)	6.5 (5.1)	9	سمنان (شاهرود) Semnan (Shahrood)	3.5 (2.8)	2.7 (2.2)
5	فارس (شیراز) Fars (Shiraz)	5.7 (0.7)	4.9 (1)	10	خوزستان (دزفول) Khouzastan (Dezful)	2.9 (1)	2.3 (1)

منبع: بانک اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی

Reference: Database of the Ministry of Agriculture

*مقادیر داخل پرانتز مربوط به ایستگاه‌های مطالعاتی می‌باشد.

The amount in parentheses is the studies stations.

معرفی مدل: WOFOST یک مدل شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی بوده و قادر است رشد گیاهان زراعی یک ساله را به‌صورت روزانه در شرایط پتانسیل، محدویت آبیاری و محدودیت مواد غذایی بر اساس خصوصیات گیاهی، پارامترهای روزانه هواشناسی و خصوصیات فیزیکی خاک شبیه‌سازی کند (Boogaard et al., 1998). این مدل نمو فنولوژیکی و رشد گیاه را از آغاز جوانه‌زنی تا زمان رسیدگی بر اساس خصوصیات ژنتیکی گیاه و شرایط محیطی توصیف، و ماده خشک گیاه را به‌عنوان تابعی از تشعشع، دما و خصوصیت‌های گیاه در مراحل زمانی یک روز شبیه‌سازی می کند. اصول محاسبه تولید ماده خشک، سرعت ناخالص جذب CO_2 توسط کانوپی است که به انرژی تابشی جذب شده بستگی دارد و تابع تشعشع روزانه، سطح برگ گیاه و ضریب خاموشی نور در کانوپی است. WOFOST میزان جذب CO_2 ناخالص را بر پایهٔ تشعشع فعال فتوسنتز (PAR)[1] (۵۰ درصد از کل تشعشع خورشیدی با طول موج ۴۰۰–۷۰۰ نانومتر) جذب شده توسط گیاه شبیه‌سازی می‌کند. CO_2 با استفاده از انرژی تامین شده بوسیله نور به کربوهیدرات (CH_2O) تبدیل می‌شود (Goudriaan, 1986). قسمتی از کربوهیدرات‌های تولید شده (CH_2O) در تنفس نگهداری مصرف شده و کربوهیدرات‌های باقی‌مانده در مسیر تنفس رشد به ماده خشک تبدیل می‌شوند (Spitters et al., 1986). مقدار ماده خشک تولید شده به بخش‌های ریشه، برگ، ساقه و ارگان‌های ذخیره تقسیم می‌گردد. این نسبت در مراحل مختلف نمو گیاه متفاوت است. افزایش ماده خشک برگ نشان‌دهنده توسعه سطح برگ است. سطح برگ در پایان هر روز به‌عنوان سطح فتوسنتزکننده روز بعد در نظر گرفته می‌شود.

برای توصیف نمو فنولوژیکی گیاه در مدل از متغیر DVS[2] استفاده شده است که برای جوانه‌زنی، گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیکی به‌ترتیب مقادیر صفر، یک و دو در نظر گرفته شد که تابعی از درجه–روز می‌باشد (Van Keulen, 1986). دوره زندگی سیب‌زمینی در مدل WOFOST به دو مرحله رویشی (از جوانه‌زنی (DVS= 0) تا زمان گل‌دهی (DVS= 1)) و زایشی (از گل‌دهی (DVS= 1) تا زمان رسیدگی فیزیولوژیکی (DVS= 2)) تقسیم می‌شود.

رشد در مدل به‌صورت دینامیک با گام زمانی یک روزه شبیه‌سازی می‌شود. مدل WOFOST دارای نسخه‌های مختلفی است که در طول سال‌های مختلف ایجاد شده است (Hijmans et al., 1994; Rappoldt, 1986; Supit et al., 1994; Van Diepen et al., 1988). در این تحقیق از نسخه WOFOST ۷،۱،۷ (February ۲۰۱۴) که برای شبیه‌سازی سالانه محصولات در اروپا توسعه یافته بود، استفاده شد.

معیارهای ارزیابی نتایج مدل: در ارزیابی مدل WOFOST از مقایسه مقدار شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده مراحل فنولوژیکی سبز شدن، گل‌دهی، رسیدگی فیزیولوژیکی و عملکرد غده از شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2)، آزمون تی P(t)، جذر میانگین مجذور خطا (RMSE)[3]، جذر میانگین مجذور خطای نرمال‌شده (RMSEn)[4]، حداکثر خطا (ME)[5] و ضریب کارآیی (E)[6] (معادلات ۱ تا ۴) استفاده گردید (Bouman & Van Laar, 2006).

معادله (۱)
$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(S_i-Mi)^2}$$

معادله (۲)
$$E=1-(\sum_{i=1}^{n}(\mathrm{M}_i-Si)/\sum_{i=1}^{n}(\mathrm{M}_i-\overline{M})^2)$$

معادله (۳)
$$ME=Max\,|\mathrm{Si}-\mathrm{Mi}|.\frac{100}{\overline{M}}$$

معادله (۴)
$$RMSEn=100\frac{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\mathrm{S}_i-Mi)^2}}{\overline{M}}$$

که در این معادلات، Si و Mi: به‌ترتیب مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده، n: تعداد مشاهدات و $\overline{M}$: میانگین مقادیر Mi می‌باشد. RMSE: میانگین انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده اطمینان مدل می‌باشد. هر چه مقدار RMSE به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده آن است که شبیه‌سازی بهتر صورت گرفت است. ضریب E: بیانگر نسبت انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از اندازه‌گیری شده به انحراف مقادیر اندازه‌گیری شده از میانگین می‌باشد. مقدار E بین ∞- تا ۱+ متغیر

1- Photosynthetically Active Radiation
2- Development stage of crop

3- Root mean square error
4- Normalized Root mean square error
5- Maximum error
6- Coefficient of efficiency

است. هر چه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد، دقت مدل بیشتر است و مقادیر شبیه‌سازی شده قابل اطمینان‌تر هستند. مقدار زیاد ME نشانگر عدم دقت مدل است. در حالت ایده‌آل که مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده با هم برابر باشند، مقادیر عددی RMSE و ME برابر با صفر و مقدار E برابر با یک خواهند بود. چنانچه مقدار نتیجه آزمون (t)بیشتر از ۰/۰۵ باشد، بدان مفهوم است که مقادیر شبیه‌سازی شده در سطح احتمال ۹۵ درصد با مقادیر اندازه‌گیری شده اختلاف معنی‌داری ندارند، لذا مدل از دقت بالایی در شبیه‌سازی برخوردار است.

نتایج و بحث

واسنجی و تعیین اعتبار

یکی از اهداف مطالعه کنونی بدست آوردن پارامترهای گیاهی سیب‌زمینی برای شرایط مختلف اقلیمی کشور می‌باشد. بر این اساس، تشکیل فایل گیاهی که حساس‌ترین قسمت واسنجی مدل WOFOST بود، در طی دو مرحله انجام شد، در مرحله اول برای طول دوره رشد و مراحل فنولوژیکی و در مرحله دوم برای عملکرد غده انجام گرفت.

طول دوره رشد و مراحل فنولوژیکی

مدل به‌منظور برآورد مدت زمان مراحل کاشت تا سبز شدن، سبز شدن تا آغاز گل‌دهی و سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی واسنجی شد و $TSUM_1$ و $TSUM_2$ به‌ترتیب ۳۵۰ و ۱۷۸۰ درجه روز (°Cd) محاسبه گردید (جدول ۲). بر اساس مطالعات پارامترهای جوی بر روی محصول سیب‌زمینی در ارقام آگریا، مارفونا، دراگا، ساتینا و آئولا به‌مدت ۱۸ سال در ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی اکباتان $TSUM_1$ بین ۳۱۰ تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد و $TSUM_2$ بین ۱۶۵۰ تا ۱۸۵۰ درجه سانتی‌گراد با توجه به تاریخ کاشت، زمان برداشت و نوع رقم متغیر بود (Meteorological Organization of Hamedan, 2012).

بر اساس نتایج مقادیر اندازه‌گیری شده در طی پنج سال با تاریخ‌های کاشت مرسوم (جدول۳) میانگین طول دوره کاشت تا سبز شدن ۱۷/۴ روز، میانگین دوره سبز شدن تا آغاز گل‌دهی ۲۷/۵ روز و میانگین طول دوره سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی ۱۱۲/۸ روز، به‌طور متوسط برای ۱۰ ایستگاه مطالعاتی محاسبه و تعیین گردید.

مدل در مرحله واسنجی طول دوره سبز شدن را ۱۶/۷ روز، دوره شروع گل‌دهی را ۲۷/۰ روز و طول دوره رسیدگی فیزیولوژیکی را ۱۱۲/۰ روز، به‌طور متوسط برای ۱۰ ایستگاه مطالعاتی شبیه‌سازی و پیش‌بینی نمود. همچنین مدل در زمان اعتبارسنجی به‌طور متوسط طول دوره سبز شدن را ۱۶/۹ روز، دوره شروع گل‌دهی را ۲۸/۳ روز و طول دوره رسیدگی فیزیولوژیکی را ۱۱۳/۸ روز برای کلیه مناطق مورد مطالعه شبیه‌سازی و پیش‌بینی نمود.

جدول ۲- پارامترهای گیاهی مدل WOFOST در مرحله واسنجی در شرایط پتانسیل برای مهم‌ترین مناطق تولیدکننده سیب‌زمینی

Table 2- Parameters of model WOFOST for calibration under potential conditions in major production regions of potato

پارامتر Parameter	توصیف پارامتر Parameter description	مقدار Amount	واحد Unit
$TSUM_1$	مجموع درجه روز از سبز شدن تا شروع گل‌دهی Thermal time from emergence to initiation of flowering	350	°Cd
$TSUM_2$*	مجموع درجه روز از شروع گل‌دهی تا رسیدن Thermal time from initiation of flowering to maturity	1780	°Cd
SLATB	سطح ویژه برگ Specific leaf area as a function of development stage	0.0020	$h_a.kg^{-1}$
TBASE	حداقل آستانه دما برای پیری برگ Lower threshold temperature for ageing of leaves	4	°Cd
AMAXTB	حداکثر سرعت جذب CO_2 Maximum leaf CO_2 assimilation rate as a function of development stage of the crop	35	$kg.ha^{-1}.hr^{-1}$
TMPFTB	دامنه درجه حرارت هوا مؤثر بر سرعت فتوسنتز Air temperature affecting photosynthetic rate	30.00, 1.00 35.00, 0.75 39.00, 0.01	°Cd

برای اردبیل و سراب (۱۵۸۰) درجه روز تعیین شد.

* For Ardabil and Sarab (1580) °Cd were estimated.

جدول ۳- پیش‌بینی طول دوره مراحل فنولوژیکی بر اساس تاریخ کاشت (روز از اول ژانویه) در مهم‌ترین شهرهای تولیدکننده سیب‌زمینی در کشور طی سال‌های ۹۰-۱۳۷٤

Table 3- Prediction during the period of phenological stages according to planting date (Julian day) in the most important potato production regions of Iran from 1995-2011

شهر City	مرحله فنولوژیکی Phenological stage			
	تاریخ کاشت Sowing date	کاشت تا سبز شدن Sowing to emergence	سبز شدن تا گل‌دهی Emergence to flowering	سبز شدن تا رسیدگی فیزیولوژیکی Emergence to physiological maturity
همدان Hamedan	100	19	27	111
اردبیل Ardabil	140	14	23	120
اصفهان Isfahan	70	22	27	108
قروه Ghorveh	100	20	27	107
شیراز Shiraz	60	19	27	108
جیرفت Jiroft	345	15	31	126
مشهد Mashhad	100	13	21	93
گرگان Gorgan	65	23	26	105
شاهرود Shahroud	100	13	22	96
دزفول Dezful	360	17	35	127

نتایج معیارهای آماری ارزیابی مدل (جدول ۴) نشان‌دهنده دقت بالای در واسنجی و اعتبارسنجی مدل می‌باشد. به‌طوری‌که با اجرای مدل به تاریخ کاشت دی ماه سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ برای دشت گرگان زمان سبز شدن، گل‌دهی، رسیدگی و عملکرد غده منطبق با مراحل اندازه‌گیری شده در مطالعه سرپرست و مشایخی (Sarparast & Mashayekhi, 2014) بود.

مقادیر جذر میانگین مربعات خطا برای مرحله فنولوژی کاشت تا سبز شدن ۱/۵ روز، سبز شدن تا گل‌دهی ۲/۵ روز و سبز شدن تا رسیدن غده ۵/۷ روز در واسنجی مدل و در شرایط اعتبارسنجی جذر میانگین مربعات خطای مدل در مرحله سبز شدن ۱/۶ روز، گل‌دهی ۲/۳ روز و رسیدن ۶/۴ روز به‌دست آمد (جدول ۴). حداکثر انحراف (RMSEn) در مرحله سبز شدن ۹/۱ درصد، آغاز گل‌دهی ۹/۲ درصد و رسیدن غده ۵/۱ درصد در شرایط واسنجی مدل به‌دست آمد و مقادیر حداکثر انحراف مدل در زمان اعتبارسنجی بترتیب برای مراحل سبز شدن، گل‌دهی و رسیدن ۹/۵ ، ۸/۳ و ۵/۶ درصد محاسبه شد (جدول ۴). همچنین نتایج آزمون P(t) در سطح احتمال ۹۵ درصد نشان داد که مقادیر شبیه‌سازی شده کلیه پارامترها نزدیک به مقادیر واقعی می‌باشد. مقدار ضریب تبیین برای مرحله سبز شدن ۰/۸۸، گل‌دهی ۰/۷۲ و رسیدن غده ۰/۸۰ در زمان واسنجی مدل محاسبه گردید. در اعتبارسنجی مدل مقدار ضریب تبیین برای مرحله سبز شدن ۰/۸۱، گل‌دهی ۰/۷۶ و رسیدن غده ۰/۷۷ به‌دست آمد (جدول ۴). نتایج ارزیابی ضریب کارایی هم در شرایط واسنجی و هم در شرایط اعتبارسنجی حاکی از موفقیت مدل در شبیه‌سازی می‌باشد. مقادیر شاخص ME (جدول ۴) نشان‌دهنده دقت و اطمینان مدل در پیش‌بینی مراحل فنولوژیکی در حد مطلوب بود.

عملکرد غده: واسنجی و تعیین ضرایب مدل به نحوی که عملکرد غده مورد انتظار توسط مدل شبیه‌سازی شود، انجام شد. پارامترهای (SLATB)[1] سطح ویژه برگ، (TBASE)[2] حداقل آستانه

1- Specific leaf area
2- Lower threshold temperature for leaf senescence

دما بـرای پیـری بـرگ، (AMAXTB)[1] حـداکثر سـرعت جـذب دی اکسید کربن برگ و (TMPFTB) دامنه درجه حـرارت هـوا مـؤثر بـر سرعت فتوسنتز که برای شبیه‌سـازی عملکـرد غـده لازم بودنـد، بـر اساس حد مجاز دامنه تغییرات ضـرایب مـدل و بـا اسـتفاده از منـابع، مطابق جدول ۲ واسنجی و تعیین گردید. برخی از پارامترهای گیـاهی که مدل نسبت به آن‌ها حساسیت بیشـتری داشـت (Vazifedoust, 2007)، بر اساس نتایج اندازه‌گیـری شـده واسـنجی شـد. بـرای ایـن منظور از زیر برنامه FSEOPT (Stol et al., 1992) استفاده شد. این زیر برنامه مقادیر پارامترهای مورد واسنجی را در محدوده‌ای که برای آن تعریف می‌گـردد، بـه‌گونـه‌ای تعیین مـی‌نمایـد کـه تفاوت بـین پارامترهای اندازه‌گیری شده در طول دوره رشد (وزن برگ، وزن غـده، وزن عملکرد بیولوژیکی و شاخص سطح برگ) با مقادیر شـبیه‌سـازی شده این پارامترها حداقل باشد. در مدل برای تعیین و محاسبه ضرایب SLATB، AMAXTB (Dua et al., 2014)، TBASE (Iranian Meteorological Organization, 1974) و TMPFTB (Griffin et al., 1993) استفاده شد. لازم به توضیح است پـارامتر TMPFTB در مدل WOFOST و مـدل‌هـای گـروه واگنینگن تـابعی از درجه حرارت بوده و با تغییر دمای روزانه در طول دوره شـبیه‌سـازی مقـادیر مختلفی به خود می‌گیرد، البته حداکثر مقدار آن بر اساس پیش‌فرضـی مدل برای ارقام مناطق مختلف اروپا در ۲۰ درجه سانتی‌گـراد حاصـل می‌شود که این مقدار برای شرایط ایران بر اساس نتایج واسـنجی بـه ۳۰ درجه سانتی‌گراد تغییر یافت.

با توجه به روند شبیه‌سازی عملکرد غده، جهت تخمـین مناسـب عملکرد در مناطقی مانند اردبیل و نظیر آن (سراب و ارومیه) که دارای تابستان‌های خنک مـی‌باشـند، مقـدار پـارامتر TSUM2 برابـر ۱۵۸۰ درجه سانتی‌گراد (جدول ۲) تعیین گردیـد تـا عملکـرد غـده بـا دقـت بیشتری پیش‌بینی گردد. این پارامتر نیز نقـش مهمـی در تولیـد مـاده خشک در گیاه دارد. مدل برای هر ۱۰ منطقـه و هـر پـنج سـال و بـا تاریخ کاشت مرسوم (جدول ۳) و نیز با دامنه‌ای از تاریخ‌هـای کاشـت (سه تاریخ) به‌طور جداگانه و در مجموع، ۲۰۰ بار اجرا شد. کـه نتـایج ارزیابی شاخص‌های آماری (جدول ۴) بیانگر دقـت مـدل مـی‌باشـند. به‌طور کلی، با توجه به نتایج عملکرد پتانسل غده سیب‌زمینی به‌دست آمده از کشاورزان پیشرو در مناطق تحت مطالعه بـه‌طـور متوسـط در طی پنج سال اطلاعات جمع‌آوری شده ۵۰۰۶۹ کیلوگرم در واسنجی و ۵۰۶۵۰ کیلوگرم برای داده‌های اعتبارسنجی به‌دست آمـد، در اجـرای مدل نتایج شـبیه‌سـازی ۵۱۴۴۸ کیلـوگرم بـرای واسـنجی و ۵۲۰۶۱ کیلوگرم برای اعتبارسنجی به‌طور متوسط در طی این مدت برای ایـن مناطق توسط مدل پیش‌بینی شد که بسیار نزدیک مقـادیر مزرعـه‌ای می‌باشد. بنابراین، با بررسی شـاخص‌هـای آمـاری (جـدول ۴)، مـدل مذکور از دقت بالایی برای پیش‌بینی عملکرد در تمام مناطق برخوردار می‌باشد. دو و همکاران (Dua et al., 2014) نیز به‌منظور واسـنجی و اعتبارسنجی مدل WOFOST برای سیب‌زمینی در هند از پارامترهای TSUMEM، $TSUM_1$، $TSUM_2$،DTSMTB و TMNFTB اسـتفاده نمودنـد و مقـادیر $TSUM_1$ را ۳۸۰ درجـه روز، $TSUM_2$ را ۱۰۶۰ درجـه روز و مقـدار AMAXTB را ۴۰ کیلـوگرم در هکتـار در ساعت برای واریته‌های دیررس تعیین کردند که در نهایـت، عملکـرد ماده خشک غده را ۸۸۷۴ کیلوگرم در هکتار شبیه‌سـازی نمودنـد کـه ۱۸۴ کیلوگرم بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده بود.

بر اساس نتایج پارامترهای آماری، جذر میـانگین مجـذور خطـای عملکـرد غـده در شـرایط واسـنجی ۲۸۲۳ کیلـوگرم بـر هکتـار و در اعتبارسنجی ۲۹۳۳ کیلوگرم بر هکتـار بـه‌دسـت آمـد (جـدول ۴) کـه نشان‌دهنده خطای ناچیز مـدل بـود. مـدل بخـوبی و بـا اعتمـاد زیـاد عملکرد غده شبیه‌سازی نمود، به‌طـوری‌کـه حـداکثر انحـراف (جـذر میانگین مجذور خطـای نرمـال شـده) عملکـرد غـده در واسـنجی و اعتبارسنجی به‌ترتیب ۵/۶ و ۵/۷ درصد بـود. ضـریب کـارایی هـم در واسنجی و هم در اعتبارسنجی برابر یک به‌دست آمد. ضریب حـداکثر خطا در حالت واسنجی و اعتبارسـنجی ۱۲/۷ و ۱۳/۹ بـود. همچنـین مقدار ضریب تبیین عملکرد غـده در محـدوده ۰/۹۰-۰/۸۷ محاسـبه گردید. که بیان‌کننده اطمینان مدل در شبیه‌سازی می‌باشد. در شکل ۱ مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده مراحل سبز شدن، گل‌دهی، رسیدن و عملکرد غده نشان داده شده است. نتـایج آزمـون (t) نشـان می‌دهد که مقادیر شبیه‌سازی شده کلیه پارامترهای گیاهی در شـرایط واسنجی و اعتبارسنجی مدل در مناطق مختلف در سـطح احتمـال ۹۵ درصد شبیه مقادیر اندازه‌گیری شده پارامترهای گیاهی می‌باشد.

1- Maximum leaf CO2 assimilation rate

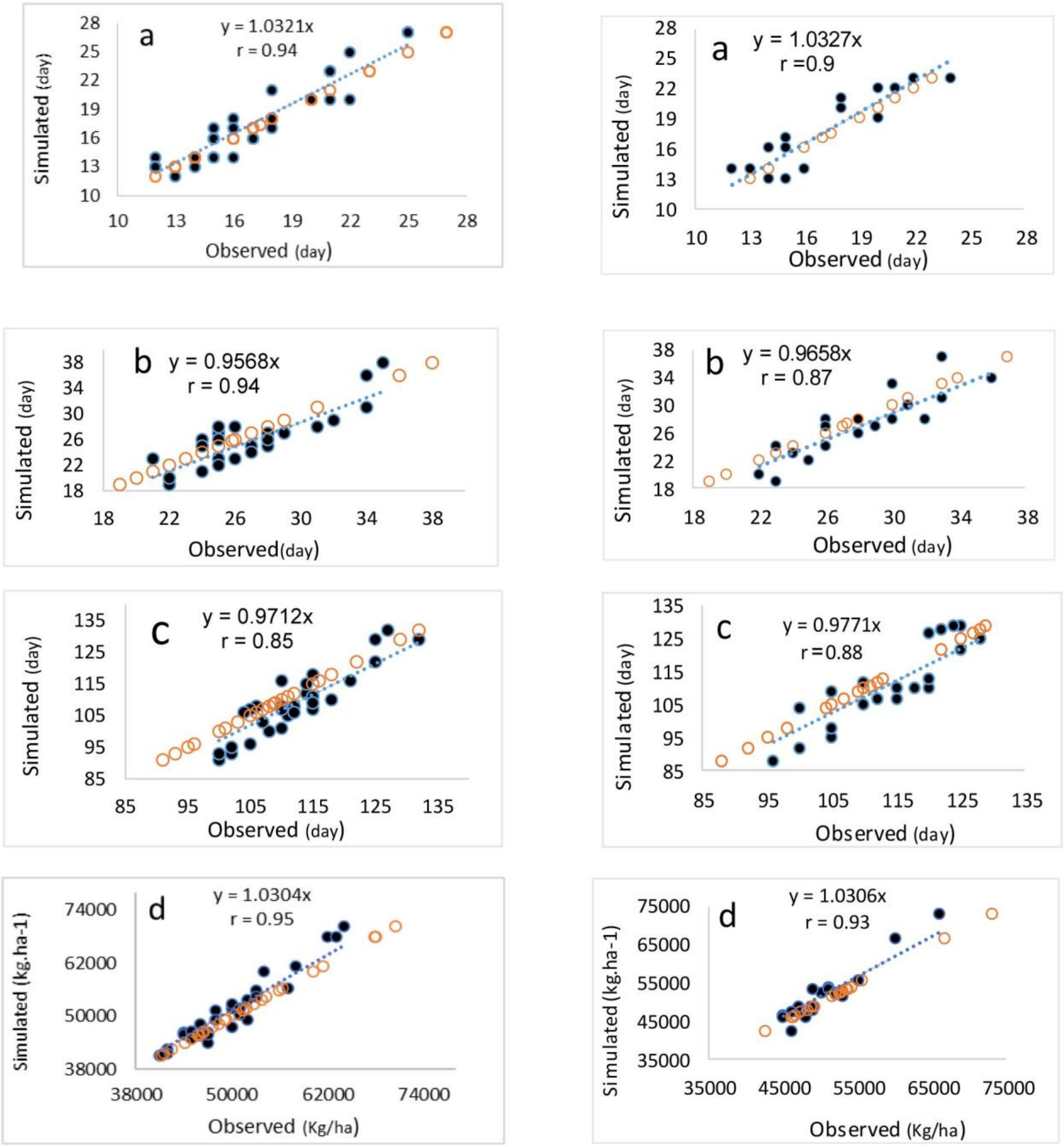
جدول ٤- ارزیابی مدل WOFOST در شبیه‌سازی مراحل فنولوژی و عملکرد غده سیب‌زمینی با استفاده از شاخص‌های آماری مختلف

Table 4- Evaluation of WOFOST model for simulating the phenological stages and tuber yield of potato using different statistical criteria

	پارامترهای گیاهی **Crop parameters**	مشاهده شده* **Observed**	شبیه‌سازی شده* **Simulated**	تفاوت **Difference**	جذر میانگین مجذور خطا **RMSE**	جذر میانگین مجذور خطای نرمال‌شده **RMSE-N (%)**	ضریب کارآیی **E**	حداکثر خطا **ME**	ضریب تبیین **R^2**	آزمون تی **P(t)**
واسنجی Calibration	عملکرد غده Tuber yield ($kg.ha^{-1}$)	50069	51448	1378	2823	5.7	1.00	12.7	0.90	0.64
	سبز شدن Emergence (d)	16.9	17.4	0.5	1.5	9.1	1.03	17.7	0.88	0.68
	گل‌دهی Flowering (d)	27	25.8	1.2	2.5	9.2	0.91	11.1	0.72	0.67
	رسیدگی Maturity (d)	112.1	108.7	3.3	5.7	5.1	0.94	8.1	0.80	0.78
اعتبارسنجی Validation	عملکرد غده Tuber yield ($kg.ha^{-1}$)	50650	52061	1410	2933	5.8	1.00	13.9	0.87	0.73
	سبز شدن Emergence (d)	16.9	17.5	0.6	1.6	9.5	1.05	17.8	0.81	0.78
	گل‌دهی Flowering (d)	28.3	27.3	1	2.3	8.3	0.92	14.1	0.76	0.77
	رسیدگی Maturity (d)	113.8	111	3.8	6.4	5.6	0.96	8.7	0.77	0.83

*مقادیر میانگین مناطق مورد مطالعه می‌باشند

Amounts indicate the mean of studied regions.



شکل ۱- مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های اندازه‌گیری شده واسنجی مدل(چپ) و تعیین اعتبار مدل (راست) برای مراحل فنولوژیکی و عملکرد غده در سیب‌زمینی

Fig. 1- Simulated data vs measured values in calibration (left) and validation (right) for phenological stages and yield of potato tubers

a، b، c و d: به‌ترتیب نشان‌دهنده مرحله سبز شدن، گل‌دهی، رسیدگی فیزیولوژیکی و عملکرد غده می‌باشند. دایره‌های توپر مقادیر مشاهده شده و دایره‌های توخالی مقادیر شبیه‌سازی شده می‌باشند.

a, b, c, d: indicate emergence, flowering, physiological maturity and tuber yield respectively. Solid circles observed values and simulated values are hollow circles.

نتیجه‌گیری

درصد سطح زیر کشت و عملکرد هر استان از تولید سیب‌زمینی کشور طی سال‌های ۹۰-۱۳۷۴ تعیین گردید. استان‌های همدان، اردبیل، اصفهان، کردستان، فارس، کرمان، خراسان رضوی، گلستان، سمنان و خوزستان ۱۰ استانی بودند که بیشترین تولید سیب‌زمینی کشور را داشتند. مدل WOFOST بر اساس تاریخ‌های مراحل فنولوژیکی و عملکرد غده سیب‌زمینی برای ارقام نیمه‌دیررس تا دیررس برای مناطق مختلف کشور با شرایط آب و هوایی متنوع واسنجی و تعیین اعتبار شد. پارامترهای مدل برای پیش‌بینی وقوع مراحل نمو و نیز عملکرد غده تعیین و نهایی شدند. سپس در شرایط پتانسیل (بدون محدودیت) بر اساس نتایج حاصله، مدل مراحل رشد و عملکرد غده را با دقت عالی پیش‌بینی نمود. تفاوت مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل معنی‌دار نبود. مدل واسنجی شده با دقت مطلوب توانست عملکرد سیب‌زمینی را در طرح استمرار تولید در مناطق جیرفت و دزفول شبیه‌سازی نماید. می‌توان نتیجه گرفت، مدل WOFOST در شبیه‌سازی تمام مناطق از دقت عالی برخوردار است، امّا به‌منظور افزایش دقت مدل در شبیه‌سازی عملکرد غده در منطقه اردبیل به‌علت تابستان‌های خنک تغییر مقدار $TSUM_2$ به ۱۵۸۰ درجه سانتی‌گراد روز نتایج دقیق‌تری به‌همراه خواهد داشت.

سپاسگزاری

داده‌های مربوط به عملکرد سیب‌زمینی از وزارت جهاد کشاورزی، داده‌های عملکرد پتانسیل از کشاورزان پیشرو و اطلاعات مراحل فنولوژی سیب‌زمینی و پارامترهای اقلیمی از سازمان هواشناسی کشور جمع‌آوری شده است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌گردد.

Refrences

Amiri, E., 2009. Application of WOFOST model for predict growth of rice in dry condition. In: Proceedings of the Second national seminar on the effects of drought and its management strategies. Isfahan Agricultural Research Center, 25-26 May, Isfahan, Iran. (In Persian)

Amiri, E., Rezaei, M., Motamed, M.K., and Emami, S., 2011. Evaluation of the crop growth model WOFOST under irrigation management. Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi) (90): 9-17. (In Persian with English Summary)

Bafkar, A., Boroumandnasab, S., Behzad, M., andFarhadi Bansouleh, S., 2011. Estimation of potential yield of grain maize in Mahidasht, Kermanshah using WOFOST, a crop growth simulation model. Iranian Journal of Field Crop Sciences 42(4): 799-808. (In Persian with English Summary), https://dorl.net/dor/20.1001.1.20084811.1390.42.4.15.7

Boogaard, H.L., Diepen, C.A., Van, Eerens, H., Kempeneers, P., Piccard, I., Verheijen, Y., and Supit, I., 2002. Description of the MARS Crop Yield Forecasting System (MCYFS). METAMP (Methodology Assessment of MARS Predictions), Report 1/3, Alterra, Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO), Supit Consultancy, Wageningen, Mol, Houten.

Bouman, B.A.M., and Van Laar, H.H., 2006. Description and evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under nitrogen limited conditions. Agricultural Systems 87: 249–273, https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.09.011.

Catalin, L., Bettina, B., Fabio, M., and Doniela Anca, L., 2009. Adaptation of WOFOST model from CGMS to Romanian condition. Journal of Plant Development 16: 97- 102, https://www.researchgate.net/publication/41506387.

Dua, V.K., Govindakrishnan, P.M., and Singh, B.P., 2014. Calibration of WOFOST Model Potato in India. Potato Journal 41(2): 105-112, https://www.researchgate.net/publication/292250301.

Eitzinger, J., Trnka, M., Hosch, J., Zalud, Z., and Dubrovsky, M., 2004. Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. Ecological Modeling 171: 223-246, https://doi.org/10.1016/J.ECOLMODEL.2003.08.012 .

Fabeiro, C., Martin De Santa, Olalla, F., and De Juan, J.A., 2001. Yield and size of deficit irrigated potatoes. Agricultural Water Management 48: 255–266.

FAOSTAT, 2012. Food and agricultural commodities production. Food and Agriculture Organisation of the United Nations. http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx.

Farhadi Bansouleh, B., 2009. Development of a spatial planning support system for agricultural policy formulation related to land and water resources in Borkhar and Meymeh District, Iran. Ph.D. Thesis in ITC/ Wageningen University, Enschede, Wageningen, The Netherlands.

Goudriaan, J., 1986. A simple and fast numerical method for the computation of daily totals of canopy photosynthesis. Agricultural and Forest Meteorology 43: 251–255.

Griffin, T.S., Johnson, B.S., and Ritchie, J.T. 1993. A Simulation Model for Potato Growth and Development: SUBSTOR-Potato, Version 2.0, 5 p.

Hengsdijk, H., Bouman, B.A.M., Nieuwenhuyse, A., and Jansen, H.G.P., 1999. Quantification of land use systems using technical coefficient generators: A case study for the Northern Atlantic zone of Costa Rica. Gricultural Systems 61(2): 109-121

Hijmans, R.J., Guiking-Lens I.M., and Van Diepen, C.A., 1994. WOFOST 6.0; User's guide for the WOFOST 6.0 crop growth simulation model. Technical Document 12. DLO Winand Staring Centre, Wageningen.

Hoogenboom, G., Wilkens, P., and Tsuji, G., 1999. DSSAT v3, Vol.4. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.

Kalra, N., Chander, S., Pathak, H., Aggarwal, P.K., Gupta, N.C., Sehgal, M., andChakarborty, D., 2007. Impact of climate change on agriculture. Outlook on Agriculture 36: 109-118, https://doi.org/10.5367/000000007781159903.

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Bodagh Jamali, J., and Marashi, H., 2006. Evaluation of the effects of climate change on growth characteristics and yield of rainfed wheat in Iran. Iranian Journal of Agricultural Sciences and Industries 20(7): 83-95. (In Persian with English Summary)

Meteorological Organization of Hamedan. 2012. Annual studies of agricultural meteorological bulletins, Study of weather condition effects on potato varieties such as Pashandi, Draga, Marfuma and Agria during years of 1991-2011 Meteorological Organization of Hamedan Bulletins of Agricultural Meteorological (In Persian).

Parvizi, K., 2008. Evaluation of quantitative and qualitative traits of late and early ripening advanced potato cultivars. Pajouhesh and Sazandegi (79): 80-90. (In Persian with English Summary)

Rappoldt, C., 1986. Crop growth simulation model WOFOST. Documentation version 3.0. CWFS, Amsterdam, Wageningen. http://www.wageningenur.nl/wofost

Richter, G.M., and Semenove, M.A., 2005. Modeling impacts of climate change on wheat yields in England and Wales: assessing drought risks. Agricultural Systems 84(1): 77-97, https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.06.011.

Sarparast, R., and Mashayekhi, K., 2014. Heat unit evaluation of potato genotypes for determining different maturity groups in Gorgan region. Electronic Journal of Crop Production 7(3): 123-143. (In Persian with English Summary) https://doi.org/ 10.22069/EJCP.2022.6092.

Singh, J.P., Lal, S.S., Govindakrishnan, P.M., Dua, V.K., and Pandey, S.K., 2010. Impact of climate change on potato in India. In: Challenges of Climate Change: Indian Horticulture. Singh, H.P., Singh, J.P., and Lal, S.S. (Eds.). Westville Publishers, New Delhi, India. p. 90-99.

Spitters, C.J.T., Toussaint, H.A.J.M., and Goudriaan, J., 1986. Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implications for modelling canopy photosynthesis. Part I: Components of incoming radiation. Agricultural and Forest Meteorology 38: 217-229.

Stol, W., Rouse, D.I., Van Kraalingen, D.W.G., and Kiepper, O., 1992. FSEOPT, a FOTRAN Program for Calibration and Uncertainly analysis of Simulation Models. Simulation Reports CABO-TT 24. CABO-DLO, WAU-TPE, Wageningen.

Supit, I., Hooyer, A.A., and Van Diepen, C.A., 1994. System description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMS. Vol. 1: Theory and algorithms. EUR publication 15956, Agricultural series, Luxembourg, 146 p.

Tsuji, G., Hoogenboom, G., and Thornton, P., 1998. Understanding Options for Agricultural Production. Kluwer Academic Publication, 399 pp.

Van Diepen, C.A., Rappoldt, C., Wolf, J., and Van Keulen, H., 1988. Crop growth simulation model WOFOST. Documentation version 4.1, Centre for world food studies, Wageningen. https://www.wur.nl › wageningen-university.

Van Ittersum, M.K., Leffelaar, P.A., Van Keulen, H., Kropff, M.J., Bastiaans, L., and Goudriaan, J., 2003. On applications of the Wageningen crop models. European Journal of Agronomy 18(3-4): 201-234, https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00106-5.

Van Keulen, H., 1986. The collection and treatment of basic data. Plant data. In: Van Keulen and Wolf, p. 235-247.

Van Keulen, H., and Van Diepen, C.A., 1990. Crop Growth Models and Agroecological Characterization. In: Scaife, A. (Ed.): Proceedings of the First Congress of the European Society of Agronomy, 5-7 December 1990, Paris. CEC, ESA, INRA. Session 2: 1-16. Paris

Vazifedoust, M., 2007. Development of an agricultural drought assessment system: Integration of agrohydrological modelling, remote sensing and geographical information. Ph.D. Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.

Wolf, J., 2003. Calibration of WOFOST crop growth simulation model for use within CGMS. Wageningen University. http://www.wofost.wur.nl

Wolf, J., and Oijen, M.V., 2002. Modelling the dependence of European potato yields on changes in climate and CO_2. Agricultural and Forest Meteorology 112: 217-31, https://doi.org/10.1016/S0168-1923(02)00061-8.

Wolf, J., and Van Diepen, C.A., 1994. Effects of climate change on silage maize production potential in the European Community. Agricultural Forest Meteorology 71(1/2): 33-60.

Wu, D., 2008. Impact of spatial- temporal variations of climatic variables on summer maize yield in North China plain. European Journal of Agronomy 24(3): 226-235. ISSN: 1735-6814 (Print), 1735-8043 (Online).

Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

CC BY

Research Article
Vol. 14, No. 4, Winter 2023, p. 617-632

Zoning of areas susceptible to cultivation of twenty medicinal plant species in Qom province using analytic hierarchy process model (AHP)

Mohammad Mahdi Fattahi[1], Rasool Mahdavi[2*], Marzieh Rezaei[3] and Yahya Esmaeilpour[3]

Received: 04-10-2020
Revised: 27-06-2021
Accepted: 26-07-2021
Available Online: 26-07-2021

How to cite this article:
Fattahi, M.M., Mahdavi, R., Rezaei, M., and Esmaeilpour, Y., 2023. Effect of irrigation and plant density on yield and growth indices of purple coneflower (*Echinacea purpurea* (L.) Monch). Journal of Agroecology 14(4): 617-632.
DOI: 10.22067/agry.2021.20319.0

Introduction

The increasing use of medicinal plants and their products has highlighted the role of these plants in the global economic cycle. As its increasing consumption is not only allocated to developing countries, but also is one of the important health factors in developed countries. The aim of this study was to zoning areas prone to cultivation of medicinal plant species and using the Analytic Hierarchy Process (AHP) model in Qom province.

Materials and Methods

For this study, by screening the criteria and options, 9 criteria were selected, include: (Elevation, Slope, Absolute maximum annual temperature, Absolute minimum annual temperature, Soil texture, Depth of soil, EC water, Access to water resources and Land use) and 7 options include: *Thymus vulgaris, Lavandula angustifolia, Maticaria chamomilla, Melissa officinalis, Aloysia citrodora, Foeniculum vulgare and Rosmarinus officinalis*. Using AHP model, the weight of each criterion was determined by pairwise comparison between them based on questionnaire information with a mismatch rate of 0.01 and using Expert Choice software. According to the weight assigned to each of the nine layers in the weighting stage in the AHP model, in the ArcGIS software environment in each of the layers, applied through the Weighted overlay algorithm and also for Operation Assurance The Raster Calculator algorithm was used to overlap the layers and the zoning map of Qom province in terms of areas prone to cultivation of medicinal plants was prepared for each of the 7 species of medicinal plants. The final map was classified into four categories or constraint classes, including: No constraints, low to medium constraints, medium to high constraints and high constraints.

Results and Discussion

Water shortage crisis is a threat; but by changing the cultivation pattern, it can be turned into an opportunity. Due to the hot and dry climate in the region, the cultivation of medicinal plants in areas such as Qom where the environmental and climatic conditions are stressful, can be much more suitable than the cultivation of cropsfrom an economic point of view. It is also cost-effective and has more added value. On the other hand, lack of complete knowledge about the various aspects of planting, holding and harvesting of medicinal plants from a scientific and

1-Ph.D. graduate, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
2-Associate professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
3-Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
(*- Corresponding author's Email: ra_mahdavi2000@hormozgan.ac.ir)

technical point of view and the lack of a stable and reliable market for selling herbal medicinal products and continuous interaction between producers and consumers are some of the problems in this sector. The results showed that among the zoning criteria, the highest weight belonged to the EC water criterion with 30.3% and the lowest weight belonged to the land slope criterion with 3%. Is. According to the results obtained from the weighting of zoning criteria, in which more than half of the weight of 9 criteria belong to 2 criteria related to water, namely EC water with 30.3% and access to water resources with 23.3%. Percentage can be attributed to the importance and special position of water (both qualitatively and quantitatively) for the cultivation of medicinal plant species in the region in question, namely Qom province, where the predominant climate is arid and desert areas. After the production of zoning maps, it was found that in total, for areas susceptible to cultivation of 7 studied medicinal plant species, on average: 8.66% of the area in the first floor (without restrictions), 6.38 Percent is located in the 2nd floor (low to medium limit), 12.71% is in the 3rd floor (medium to high limit) and 71.97% is in the 4th floor (high limit).

Conclusion

The results showed that among the zoning criteria for areas susceptible to cultivation of medicinal plant species in Qom province, the highest weight belonged to the EC water criterion with 30.3% and the lowest weight belonged to the land slope criterion with 3%. After generating the zoning maps, it was found that in total, for areas susceptible to cultivation of 7 studied medicinal plant species, on average: 8.66% of the area in the first floor (without restrictions), 6.38 Percent is located in the 2nd floor (low to medium limit), 12.71% is in the 3rd floor (medium to high limit) and 71.97% is in the 4th floor (high limit).

Keywords: Couple comparison, Incompatibility rate, Medicinal Plants, Multi-criteria decision making.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت گیاهان دارویی در استان قم با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

محمد مهدی فتاحی[1]، رسول مهدوی[2]*، مرضیه رضایی[3] و یحیی اسماعیل‌پور[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۱۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۴

فتاحی، م.م.، مهدوی، ر.، رضایی، م.، و اسماعیل‌پور، ی.، ۱۴۰۱. پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت گیاهان دارویی در استان قم با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۴): ۶۳۲-۶۱۷.

چکیده

رویکرد روز افزون استفاده از گیاهان دارویی و فرآورده‌های حاصل از آن، نقش این گیاهان را در چرخه اقتصاد جهانی پررنگ‌تر کرده است. به‌طوری‌که مصرف رو به تزاید آن تنها اختصاص به کشورهای در حال توسعه نداشته، بلکه یکی از عوامل مهم بهداشتی کشورهای پیشرفته نیز محسوب می‌گردد. این تحقیق با هدف پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت گونه‌های گیاهی دارویی و با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چند معیاره تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در استان قم انجام گردید. به‌همین منظور، با غربالگری معیارها و گزینه‌ها، نه معیار شامل: ارتفاع از سطح دریا، شیب زمین، دمای حداکثر مطلق سالانه، دمای حداقل مطلق سالانه، بافت خاک، عمق خاک، EC آب، دسترسی به منابع آب و کاربری اراضی و هفت گزینه شامل: آویشن باغی، اسطوخودوس، بابونه آلمانی، بادرنجبویه، به‌لیمو، رازیانه و رزماری با نظرسنجی از خبرگان آشنا با گیاهان دارویی، انتخاب شد. با استفاده از مدل AHP، وزن هرکدام از معیارها با مقایسه زوجی بین آن‌ها بر اساس اطلاعات پرسش‌نامه‌ای و با نرخ ناسازگاری ۰/۰۱ و با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice تعیین گردید. با توجه به وزن نسبی که به هرکدام از لایه‌های نه‌گانه در مرحله وزن‌دهی در مدل AHP تعلق گرفت، در محیط نرم‌افزار ArcGis در هر یک از لایه‌ها، اعمال گردیده و از طریق الگوریتم Weighted overlay در جهت هم‌پوشانی کردن لایه‌ها استفاده گردید و نقشه پهنه‌بندی استان قم به لحاظ نواحی مستعد کشت گیاهان دارویی برای هریک از هفت گونه گیاهی دارویی مورد نظر، تهیه شد. نقشه نهایی در چهار طبقه یا کلاس محدودیت، شامل: بدون محدودیت، محدودیت کم تا متوسط، محدودیت متوسط تا زیاد و محدودیت زیاد، طبقه‌بندی گردید. نتایج نشان داد که در میان معیارهای پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت گونه‌های گیاهی دارویی در استان قم، بیشترین وزن نسبی متعلق به معیار EC آب با ۳۰/۳ درصد و کمترین وزن نسبی مربوط به معیار شیب زمین با سه درصد بوده است. پس از تولید نقشه‌های پهنه‌بندی هم، مشخص شد که در مجموع، برای مناطق مستعد کشت هفت گونه گیاهی دارویی مورد مطالعه، به‌طور میانگین: ۸/۶۶ درصد مساحت استان در طبقه یک (بدون محدودیت)، ۶/۳۸ درصد در طبقه دو (محدودیت کم تا متوسط)، ۱۲/۷۱ درصد در طبقه سه (محدودیت متوسط تا زیاد) و ۷۱/۹۷ درصد در طبقه چهار (محدودیت زیاد) واقع شده است.

واژه‌های کلیدی: تصمیم‌گیری چند معیاره، مقایسه زوجی، نرخ ناسازگاری

۱- دانش آموخته دکتری منابع طبیعی گرایش بیابان‌زدایی، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندر عباس، ایران.
۲- دانشیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندر عباس، ایران.
۳- استادیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندر عباس، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: ra_mahdavi2000@ hormozgan.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2021.20319.0

مقدمه

ارزش دارویی، تقاضای بازار و سطح فرآوری از مهم‌ترین شاخص‌های سنجش اقتصادی یک گیاه دارویی می‌باشد. خوشبختانه با روی آوردن دنیا، به‌خصوص کشورهای پیشرفته به استفاده از فرآورده‌های گیاهی و مصرف روز افزون آن در جهان، چه در صنعت داروسازی و چه در صنایع غذایی و آرایشی- بهداشتی و با توجه به تنوع آب و هوایی کشور و امکان رویش اکثر گیاهان در آن، فرصتی طلایی نصیب کشورمان گشته است تا از آن به بهترین نحو ممکن استفاده نموده و حضور خود را در بازارهای جهانی بیش از بیش افزایش دهیم (Kashfi Bonab, 2010).

استان قم با دارا بودن تنوع نسبی در شرایط اقلیمی و اکولوژیکی، دارای تنوع در گونه‌های گیاهی بوده که درصد قابل ملاحظه‌ای از آن را گونه‌های دارویی و اسانس‌دار تشکیل می‌دهند. از بین ۸۰۰ گونه جمع‌آوری شده در سطح استان، تعداد ۲۴۷ گونه گیاه دارویی اعم از جنگلی، مرتعی و باغی جمع‌آوری و شناسایی گردیده است (Abdolmohammadi, 2003). اغلب گیاهان دارویی در شرایط آب و هوایی استان قابل کشت هستند، امّا به دلایل تجاری و اقتصادی، گیاهان کشت شده بیشتر شامل نعناع فلفلی[1]، نعناع[2]، شوید[3]، به لیمو[4]، بابونه[5]، زیره سبز[6]، بیدمشک[7]، گل محمدی[8] و زعفران[9] می‌باشند (Vaziri, 2019).

بر اساس آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۶(جلد دوم)، سطح زیر کشت گیاهان دارویی (فضای باز) به‌جز زعفران و گل محمدی، در استان قم ۴۹/۸ هکتار با تولید ۳۶/۸ تن و میانگین عملکرد ۷۳۹ کیلوگرم در هکتار بوده است (Ebadzadeh et al., 2018). همچنین بر اساس آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۶ (جلد سوم)، سطح زیر کشت گیاهان دارویی (گلخانه‌ای) در استان قم ۰/۳ هکتار با تولید ۳۰ تن و میانگین عملکرد ۱۰۰ تن در هکتار بوده است (Ahmadi et al., 2017).

مطالعه پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که در دهه‌های اخیر تحقیقات متعددی در زمینه تعیین الگوی کشت و پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت گیاهان با استفاده از مدل‌های تصمیم گیری چند معیاره مانند مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP[10]) و تهیه نقشه‌های مربوطه در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS[11]) در خارج و داخل کشور انجام شده است که به چند مورد از آن‌ها اشاره می‌شود:

با استفاده از ارزیابی چند معیاره فضایی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور و نیز مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به تدوین الگوی کشت مناسب برای منطقه سیل‌خیز بوگرا در بنگلادش پرداختند. در این مطالعه، گیاهان زراعی شاخص در منطقه از جمله گندم[12]، برنج[13]، خردل[14] و سیب‌زمینی[15] در الگوهای کشت پیشنهادی انتخاب شدند. نتایج نشان داد که منطقه مورد نظر تناسب متوسط تا بالایی برای تولید گیاهان زراعی انتخاب شده دارد(Rahman & Saha., 2008).

بررسی جامعی در استان Henan چین جهت کشت تنباکو بر پایه سامانه اطلاعات جغرافیایی انجام دادند. آن‌ها در این تحقیق از ۱۷ شاخص مرتبط با اقلیم، خاک و شکل زمین استفاده کردند. وزن این شاخص‌ها از پرسش‌نامه‌های مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به‌دست آمد. نتایج نشان داد که ۲۲/۵۲ درصد از اراضی این استان واقع در غرب و جنوب دارای تناسب مطلوب برای کشت تنباکو است(Chen et al., 2010).

ضمن مکان‌یابی محل مناسب کشت کلزای پاییزه بر اساس پتانسیل‌های اقلیمی با روش AHP در محیط GIS، چهار پهنه (دارای محدودیت زیاد، محدودیت متوسط، محدودیت کم و بدون محدودیت) را در استان اردبیل شناسایی نمودند(Beigbabayi & Azadi Mobaraki., 2012).

در تحقیقی با هدف پهنه‌بندی اقلیمی کشت پاییزه چغندرقند در استان‌های خراسان رضوی و جنوبی نشان دادند که در بسیاری از مناطق مورد مطالعه، امکان بهاره شدن بوته‌های چغندرقند وجود دارد. بر اساس نقشه پهنه‌بندی نهایی ۴/۹۰ درصد اراضی این استان‌ها

---

1 - *Mentha piperita*
2- *Mentha*
3- *Anethum graveolens*
4- *Aloysia citrodora*
5- *Matricaria chamomilla*
6- *Cuminum cyminum* L.
7 *Salix aegyptiaca*
8- *Rosa damascena*
9- *Crocus sativus*

10 - Analytical Hierarchy process
11 - Geographic Information System
12- *Triticum avestivum*
13- *Oryza sativa*
14- *Alba sinapis*
15- *Solanum tuberosum*

بسیار مناسب، ۱۶/۷۴ درصد مناسب، ۴۷/۹۸ درصد متوسط و ۳۰/۳۸ درصد نامناسب برای کشت پاییزه چغندرقند می‌باشند(Javaheri et al., 2016).

به‌منظور تدوین الگوی کشت مناسب در اراضی کشاورزی استان گلستان، از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده نمودند. نتایج نشان داد، در اراضی شمال و شمال شرقی استان الگوی کشت نخود و جو با شرایط منطقه انطباق بیشتری دارد. همچنین کشت محصولات بهاره و تابستانه در مناطق بسیار مستعد جنوب، جنوب غربی به‌صورت دیم با آبیاری تکمیلی نیز امکان‌پذیر است(Kazemi et al., 2016).

بیان داشت که یکی از راهکارهای مناسب برای افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی، اصلاح الگوی کشت محصولات با توجه به پارامترهای مختلف است و در تحقیق ابتدا با استفاده از معیارهای اقتصادی، نیاز آبی و دوره رشد محصولات، در مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS، محصولات بهینه انتخاب کرد. همچنین با ترکیب این نتایج با پارامترهای میزان آب موجود و زمان مشترک دوره رشد محصولات، با استفاده از الگوریتم ژنتیک، مساحت بهینه کشت تخصیص داده شده به هر محصول را مشخص نمود(Vafaeinejad., 2016).

نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق مزبور نشان داد که با استفاده از مدل‌های استفاده شده و قابلیت‌های GIS، می‌توان به الگوی کشت مناسب دست یافت. در تحقیق حاضر، سعی شده است که با استفاده از مدل AHP و تهیه و تلفیق نقشه‌های مربوطه در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) مستعدترین مناطق استان قم برای کشت ۷ گونه گیاهی دارویی، شامل: آویشن باغی[1]، اسطوخودوس[2]، بابونه آلمانی، بادرنجبویه[3]، به‌لیمو، رازیانه[4] و رزماری[5]، شناسایی و معرفی گردند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

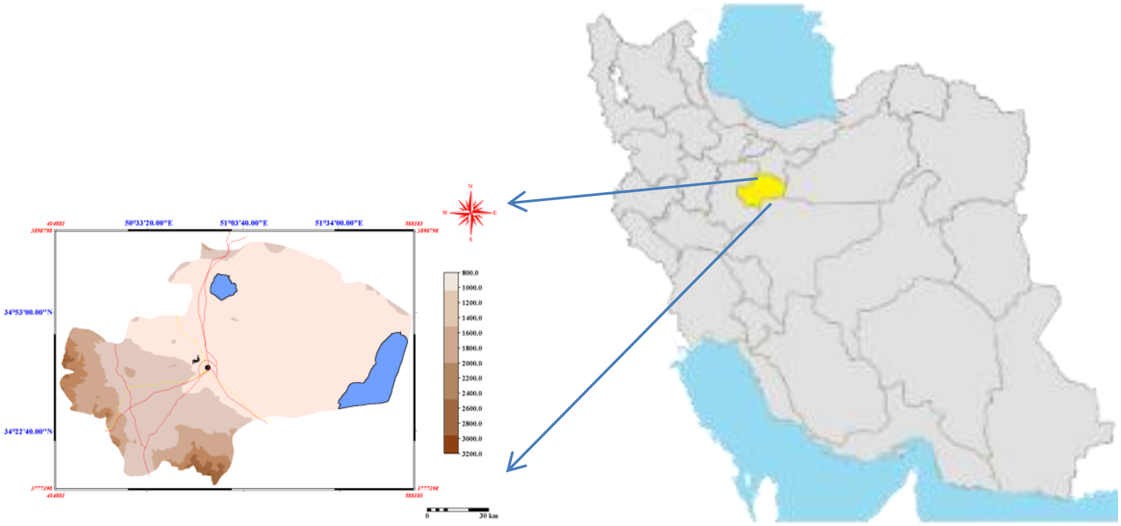
استان قم با وسعتی معادل ۱۱۲۳۸ کیلومترمربع، حدود ۰/۶۸ درصد از مساحت کل کشور را در بر گرفته و در فواصل جغرافیایی ۰۳َ ۵۰ْ تا ۰۰َ ۵۲ْ طول شرقی و ۰۶َ ۳۴ْ تا ۱۳َ ۳۵ْ عرض شمالی قرار دارد که ۷۷۱/۴۶۵ کیلومترمربع از مساحت آن به مراتع، اختصاص دارد. ۸۱۲۵ کیلومترمربع از مساحت استان در نواحی دشتی و ۳۲۸۵ کیلومترمربع در نواحی کوهستانی قرار گرفته است. ارتفاع از سطح دریا از حداقل حدود ۷۰۰ متر در دریاچه نمک و دریاچه حوض سلطان تا حداکثر ۳۳۳۰ متر در ارتفاعات متغیر است. میانگین دمای سالانه استان معادل ۱۸ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالیانه آن نیز در حدود ۱۴۵ میلی‌متر است. به‌دلیل شوری آب و خاک مناطق مرکزی و شرقی، فقط گیاهان خودرو طبیعی گزوروفیت (خشکی پسند) و هالوفیت (نمک دوست) مانند تاغ[6]، گز[7]، خارشتر[8]، خارزرد[9]، اشنان[10]، شور[11]، بومادران[12]، اسفند[13]، فرفیون[14] و... قادرند به حیات خود ادامه دهند. اگرچه، گونه‌هایی نظیر درمنه دشتی[15]، کلاه میرحسن[16]، گون[17]، اسکنبیل[18] و... هم در این مناطق، قدرت رویشی دارند. امّا در نواحی غرب و جنوب استان به‌دلیل شرایط مساعد آب و هوایی، پوشش گیاهی از نوع استپ کوهستانی است و در نقاطی که خاک غنی‌تر و شیب ملایم‌تر است، به‌دلیل باران نسبتاً کافی (بالای ۲۵۰ میلی‌متر) کشت گیاهان دارویی نیز به‌طور خیلی محدود انجام می‌گیرد(Fattahi , 2008).

روش پژوهش

برای انجام این پژوهش، ابتدا ساختار سلسله مراتبی مسئله طراحی گردید که در آن، هدف، معیارها و گزینه‌های پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت گیاهان دارویی به‌منظور اولویت‌بندی آن‌ها مشخص شد.

1- *Thymus Vulgaris*
2 - *Lavandula angustifolia*
3 - *Melissa officinalis*
4- *Foeniculum vulgare*
5- *Rosmarinus officinalis* L.

6- *Haloxylon* spp
7- *Tamarix*
8- *Alhagi*
9- *Picnomon*
10 *Seidlitzia rosmarinus*
11- *Salsola soda*
12- *Achillea millefolium*
13- *Peganum harmala*
14- *Euphorbia*
15- *Artemisia sieberi*
16- *Acantholimon*
17- *Astragalus*
18- *Calligonum*



شکل ۱- موقعیت استان قم درکشور

Fig. 1- Location of Qom province in the country

ابتدا از بین معیارها و گزینه‌های متعدد و متنوع و اولویت‌دار پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت گیاهان دارویی شامل ۳۰ معیار و ۳۰ گزینه، باتوجه به شرایط اکولوژیکی منطقه مورد بررسی و با نظرسنجی از تعدادی از متخصصین و خبرگان آشنا با گیاهان دارویی، غربال‌گری (اولویت‌بندی مقدماتی) معیارها و گزینه‌هایی که دارای اهمیت و تأثیرگذاری بیشتری در این خصوص بود، انجام شد که در نهایت، نه معیار شامل: ارتفاع از سطح دریا، شیب زمین، دمای حداکثر مطلق سالانه، دمای حداقل مطلق سالانه، بافت خاک، عمق خاک، EC آب، دسترسی به منابع آب و کاربری اراضی و هفت گزینه شامل: آویشن باغی، اسطوخودوس، بابونه آلمانی، بادرنجبویه، بهلیمو، رازیانه و رزماری با نظرسنجی از خبرگان آشنا با گیاهان دارویی، انتخاب شد. مدل تحلیل سلسله مراتبی یا AHP یکی از کارآمدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که اولین بار توسط توماس ال ساعتی[1] درسال ۱۹۸۰ مطرح شد. این مدل بر اساس مقایسه زوجی بنا نهاده شده است و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به مدیران و برنامه‌ریزان می‌دهد (Ghodsipour, 2016). وزن هرکدام از معیارها به‌روش AHP و با مقایسه زوجی بین آن‌ها بر اساس اطلاعات پرسش‌نامه‌ای تکمیل شده توسط ۳۱ خبره و متخصص گیاهان دارویی با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice تعیین شد. این مرحله شامل موارد زیر بود:

۱- وزن‌دهی به معیارهای پهنه‌بندی به‌روش AHP

۱-۱- تعیین معیارها و گزینه‌های پهنه‌بندی

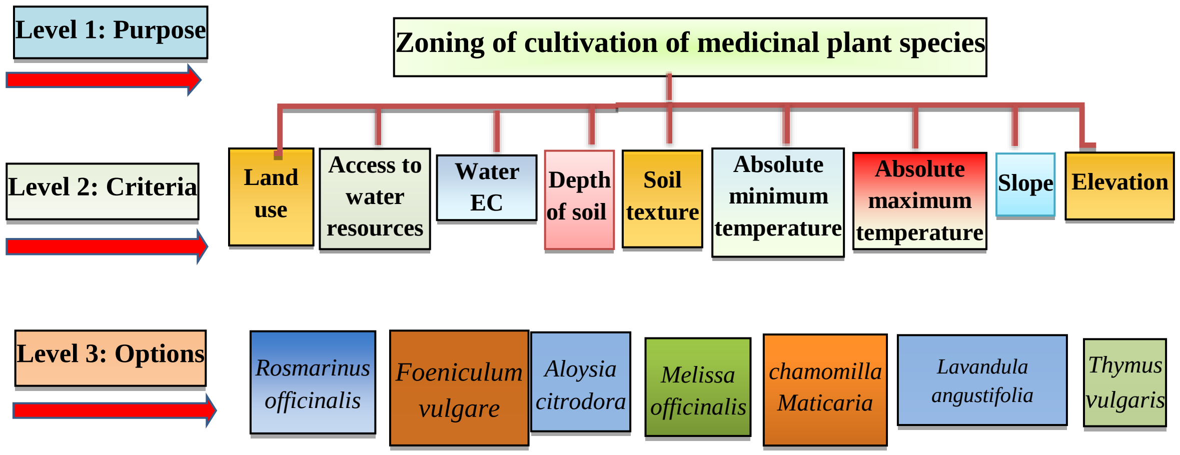
در این مرحله، با استفاده از مدل AHP، ابتدا ساختار سلسله مراتبی مسئله طراحی گردید که در آن، هدف، معیارها و گزینه‌های پهنه‌بندی کشت گیاهان دارویی مشخص شد. برای تعیین معیارها و گزینه‌ها باتوجه به اینکه عوامل و معیارهای متعدد و زیادی از جنبه‌های اکولوژیکی در پهنه‌بندی کشت گیاهان دارویی نقش دارند، با استفاده از نظر تعدادی از متخصصین و خبرگان گیاهان دارویی، در نهایت نه معیار و هفت گزینه (گونه‌های گیاهی دارویی) که دارای اهمیت و تأثیرگذاری بیشتری در این خصوص بود، انتخاب گردید (شکل ۲).

۱-۲- تهیه پرسش‌نامه خبرگان و مقایسه زوجی معیارها

به‌منظور وزن‌دهی معیارهای پهنه‌بندی کشت گونه‌های گیاهی دارویی استان قم بر اساس مدل AHP، پرسش‌نامه خبرگان با نظرسنجی از ۳۱ خبره و آشنا با گیاهان دارویی (شامل تعدادی از اعضای هیأت علمی و پژوهشگران دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی، کارشناسان و متخصصان گیاهان دارویی در جهاد کشاورزی و منابع طبیعی و کشاورزان پیشرو در زمینه کشت گیاهان دارویی) با مقایسه زوجی هریک از نه معیار شامل: ارتفاع از سطح دریا، شیب زمین، دمای حداکثر مطلق سالانه، دمای حداقل مطلق سالانه، بافت خاک، عمق خاک، EC آب، دسترسی به منابع آب و کاربری اراضی، طراحی، توزیع و تکمیل شد و اطلاعات آن وارد نرم‌افزار Expert choice

1-Tomas L. Saati

گردید.



شکل ۲- مراحل پهنه‌بندی کشت گونه‌های گیاهی دارویی شاخص استان قم به بر اساس مدل AHP
Fig. 2- Zoning stages of cultivation of medicinal plant species of Qom province by AHP model

۱-۳- تعیین نرخ ناسازگاری

برای جدول مقایسات زوجی معیارهای پهنه‌بندی کشت گونه‌های گیاهی دارویی، نرخ ناسازگاری با استفاده از نرم‌افزار Expert choice محاسبه گردید.

۲- تهیه لایه‌های رقومی معیارهای نه‌گانه و کلاسه‌بندی آن‌ها

پس از وزن‌دهی معیارهای پهنه‌بندی کشت گونه‌های گیاهی دارویی، نقشه‌های تولید شده در مقیاس پایه ۱:۵۰۰۰۰ از هرکدام از معیارها شامل: ارتفاع از سطح دریا (متر)، شیب زمین (درصد)، دمای حداکثر مطلق سالانه (سانتی‌گراد)، دمای حداقل مطلق سالانه (سانتی‌گراد)، بافت خاک، عمق خاک، EC آب (میکروموس بر سانتی‌متر)، دسترسی به منابع آب و کاربری اراضی، کلاسه‌بندی و نقشه‌سازی گردیدند.

۳- پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت به تفکیک گونه‌های گیاهی دارویی

با توجه به وزنی که به هرکدام از لایه‌های نه‌گانه در مرحله وزن-دهی در مدل AHP و در نرم‌افزار Expert Choice تعلق گرفت، در این مرحله در محیط نرم‌افزار ArcGIS در هر یک از لایه‌ها اعمال گردیده و از طریق الگوریتم Weighted overlay و همچنین برای اطمینان عملیات از الگوریتم Raster Calculator در جهت هم‌پوشانی کردن لایه‌ها استفاده گردید و نقشه پهنه‌بندی استان قم به لحاظ نواحی مستعد کشت گیاهان دارویی برای هریک از هفت گونه گیاهی دارویی مورد نظر، تهیه شد. نقشه نهایی در چهار طبقه یا کلاس محدودیت، شامل: ۱- بدون محدودیت ۲- محدودیت کم تا متوسط ۳- محدودیت متوسط تا زیاد ۴- محدودیت زیاد، طبقه‌بندی گردید.

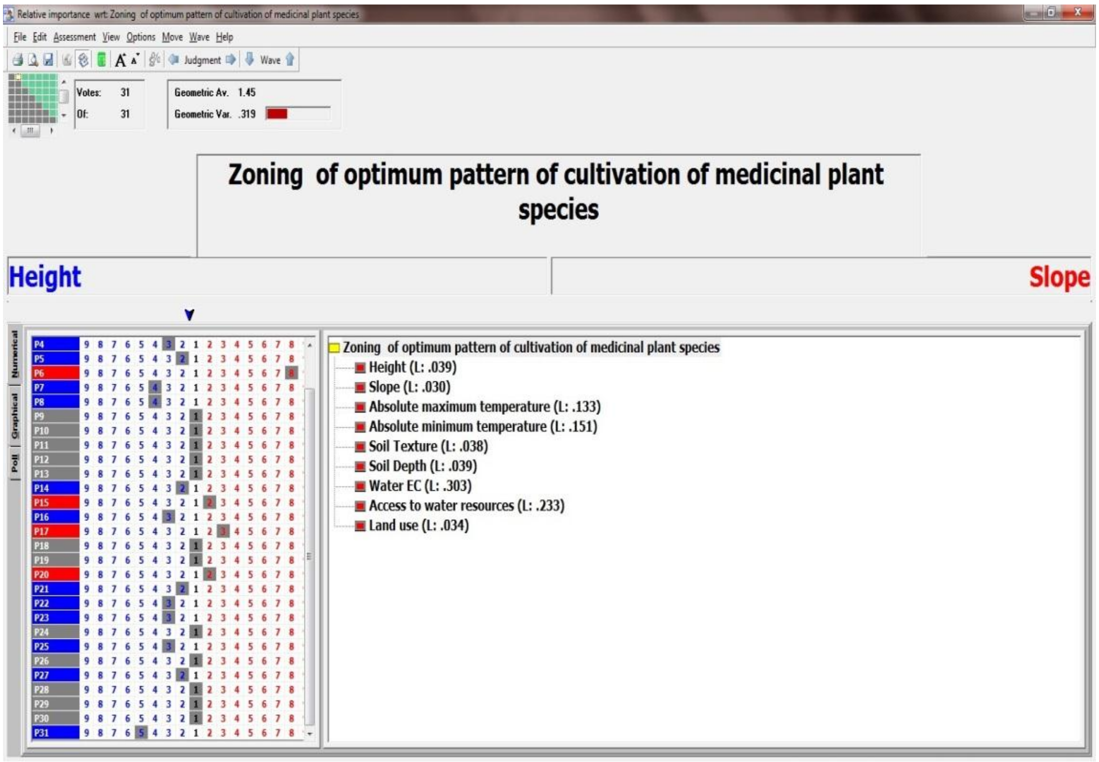
نتایج و بحث

نتایج به‌دست آمده از این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

۱- ۱- وزن‌دهی معیارهای پهنه‌بندی کشت گونه‌های گیاهی دارویی بر اساس مدل AHP

۱- ۱- ۱- طراحی، توزیع و تکمیل پرسش‌نامه خبرگان

بر اساس پرسش‌نامه خبرگان، با مقایسه زوجی هریک از نه معیار مورد مطالعه، ۳۶ مقایسه زوجی انجام شد و اطلاعات آن وارد نرم‌افزار Expert choice گردید (شکل ۳). ماتریس مقایسه زوجی معیارهای مزبور در جدول ۱ آمده است.



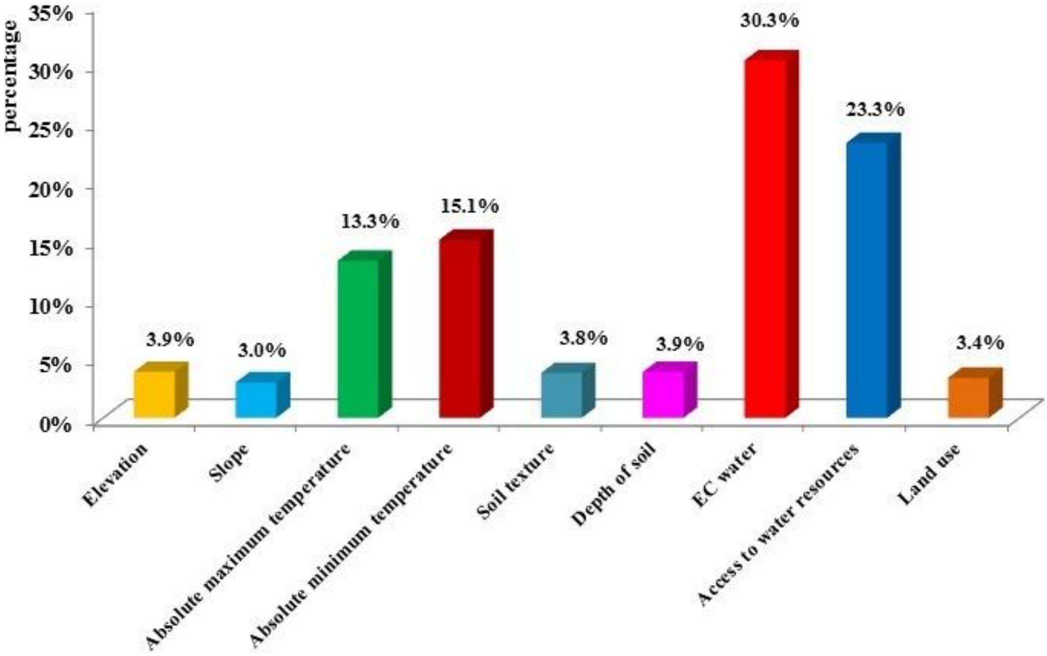
شکل ۳- نمونه‌ای از مقایسه زوجی معیارهای پهنه‌بندی کشت گیاهان دارویی بر اساس مدل AHP در نرم‌افزار Expert choice

Fig. 3- Sample of a pairwise comparison of zoning criteria for cultivation of medicinal plants based on AHP model in Expert choice software

جدول ۱- ماتریس مقایسه زوجی معیارهای پهنه‌بندی کشت گیاهان دارویی بر اساس مدل AHP

Table 1- Matrix of pairwise comparison of zoning criteria for cultivation of medicinal plants based on AHP model

	کاربری اراضی Land use	دسترسی به منابع آب Access to water resources	EC آب Water EC	عمق خاک Soil depth	بافت خاک Soil texture	دمای حداقل مطلق سالانه Absolute minimum temperature	دمای حداکثر مطلق سالانه Absolute maximum temperature	شیب زمین Slope	ارتفاع از سطح دریا Height
ارتفاع از سطح دری Height ا	1.167	6.618	6.963	1.030	1.031	4.419	3.086	1.448	
شیب زمین Slope	1.167	7.063	7.538	1.461	1.393	5.434	4.687		
دمای حداکثر مطلق سالانه Absolute maximum temperature	4.512	2.404	2.759	4.193	4.311	1.135			
دمای حداقل مطلق سالانه Absolute minimum temperature	4.764	1.934	2.559	4.464	4.256				
بافت خاک Soil texture	1.096	5.992	6.716	1.011					
عمق خاک Soil depth	1.345	6.154	6.333						
EC آب Water EC	6.948	2.014							
دسترسی به منابع آب Access to water resources	5.547								
کاربری اراضی Land use									



شکل ٤- درصد وزن نسبی معیارهای پهنه‌بندی کشت گیاهان دارویی در استان قم بر اساس مدل AHP
Fig. 4- Relative weight percentage of zoning criteria for cultivation of medicinal plants in Qom province based on AHP model

وزن‌دهی معیارهای پهنه‌بندی کشت گونه‌های گیاهی دارویی

نتایج وزن‌دهی معیارهای پهنه‌بندی کشت گونه‌های گیاهی دارویی منطقه مورد مطالعه به‌روش AHP نشان داد که در میان نه معیار مورد بررسی، بیشترین وزن نسبی متعلق به معیار EC آب با ۳۰/۳ درصد و پس از آن معیار دسترسی به منابع آب با ۲۳/۳ درصد و کمترین وزن نسبی مربوط به معیار شیب زمین با ۳/۰ درصد می‌باشد (شکل۴). در مقایسات زوجی معیارهای پهنه‌بندی کشت گونه‌های گیاهی دارویی، نرخ ناسازگاری ۰/۰۱ به‌دست آمد.

پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت گونه‌های گیاهی دارویی

مساحت (هکتار) و درصد مساحت مناطق مستعد کشت هفت گونه گیاهی دارویی مورد مطالعه در جدول ۲ و شکل‌های ۵ تا ۱۲ آمده است.

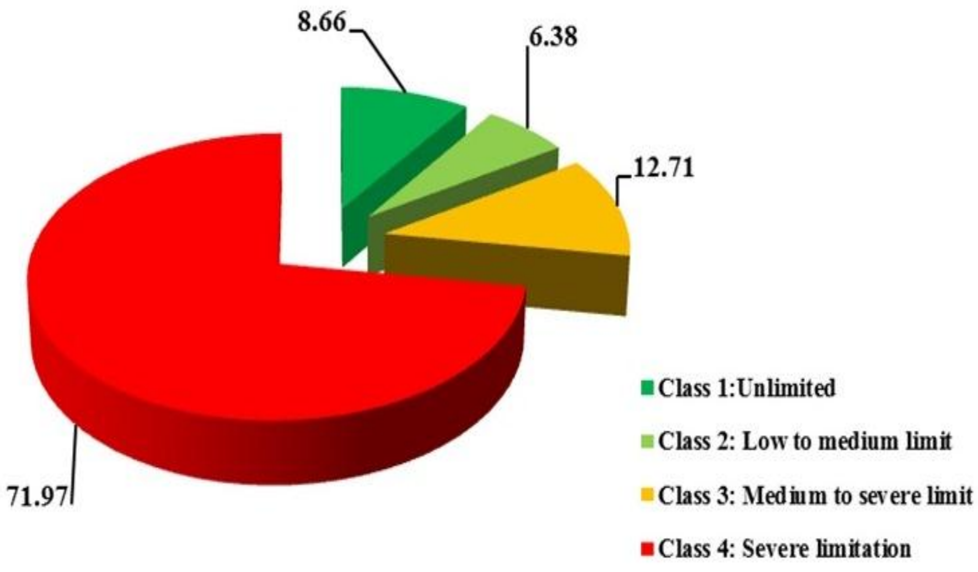
نقشه‌های پهنه‌بندی مناطق مستعد کشت به تفکیک گونه-های گیاهی دارویی

آویشن باغی: نتایج نشان داد که ۷۰/۷۴ درصد مساحت استان قم برای کشت گیاه دارویی آویشن باغی نامناسب می‌باشد و تنها ۱۰/۴۱ درصد سطح آن برای این منظور مناسب است و مابقی سطح منطقه مورد مطالعه دارای محدودیت کم تا متوسط و یا متوسط تا زیاد است (شکل ۶).

اسطوخدوس: برای کشت اسطوخودوس ۷۰/۷۴ درصد مساحت استان قم نامناسب می‌باشد و تنها ۱۰/۵۳ درصد سطح آن برای این منظور مناسب است و مابقی سطح منطقه مورد مطالعه دارای محدودیت کم تا متوسط و یا متوسط تا زیاد است (شکل ۷).

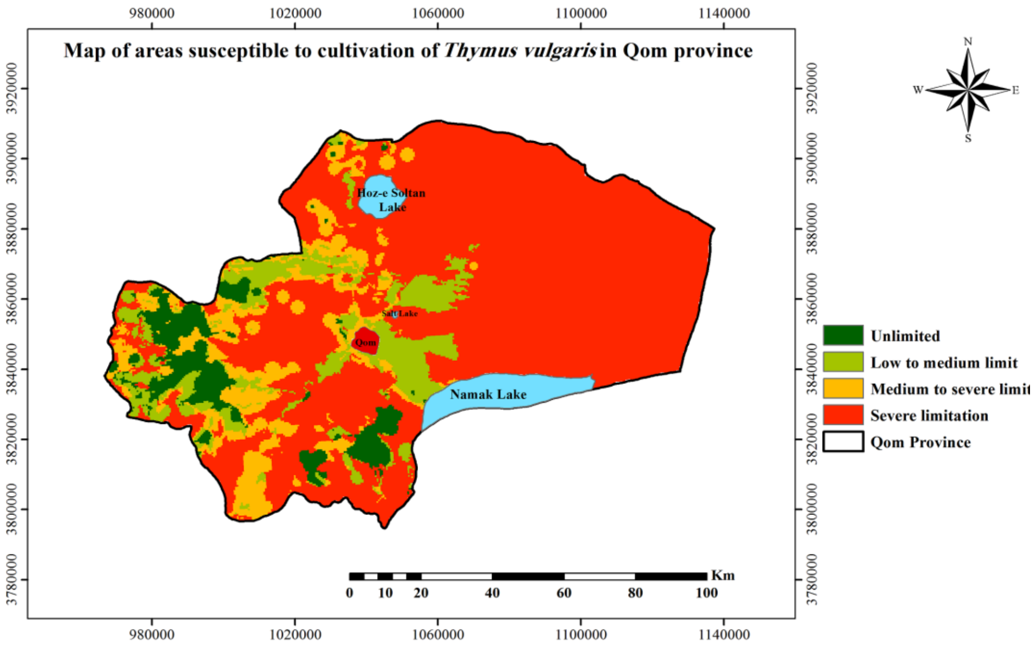
بابونه: ۷۰/۵۴ درصد مساحت استان قم برای کشت بابونه نامناسب است و تنها ۱۰/۷۳ درصد سطح آن برای این منظور مناسب است و مابقی سطح منطقه مورد مطالعه دارای محدودیت کم تا متوسط و یا متوسط تا زیاد می-باشد (شکل ۸).

بادرنجبویه: برای کشت بادرنجبویه ۶۶/۰۳ درصد مساحت استان قم نامناسب است و تنها ۱۰/۴۴ درصد سطح آن برای این منظور مناسب است و مابقی سطح منطقه مورد مطالعه دارای محدودیت کم تا متوسط و یا متوسط تا زیاد می‌باشد (شکل ۹).



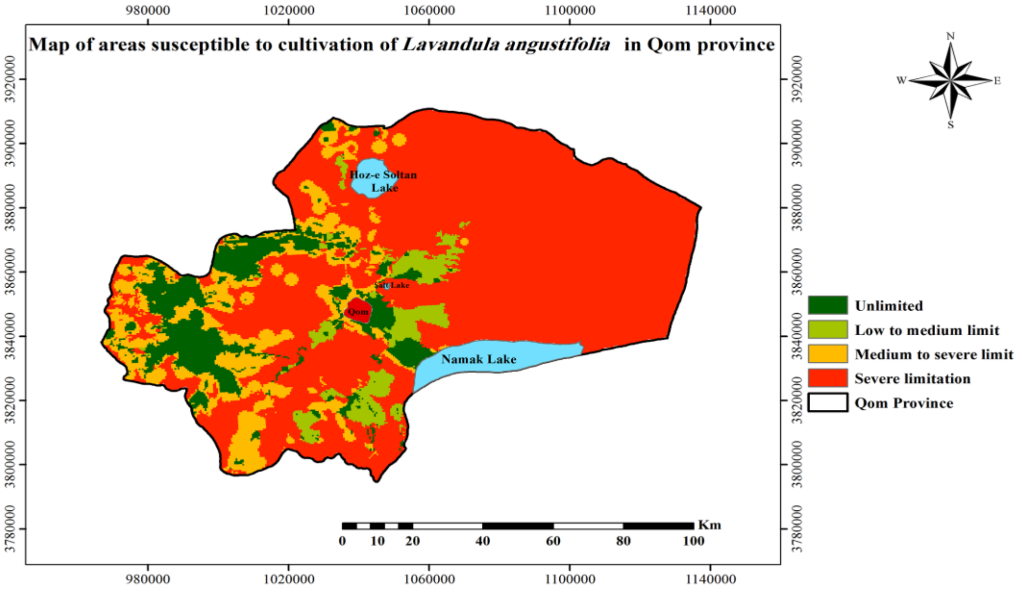
شکل ۵- میانگین درصد مساحت مناطق مستعد کشت ۷ گونه گیاهی دارویی مورد مطالعه در استان قم

Fig. 5- Average percentage of area susceptible to cultivation of 7 medicinal plant species studied in Qom province



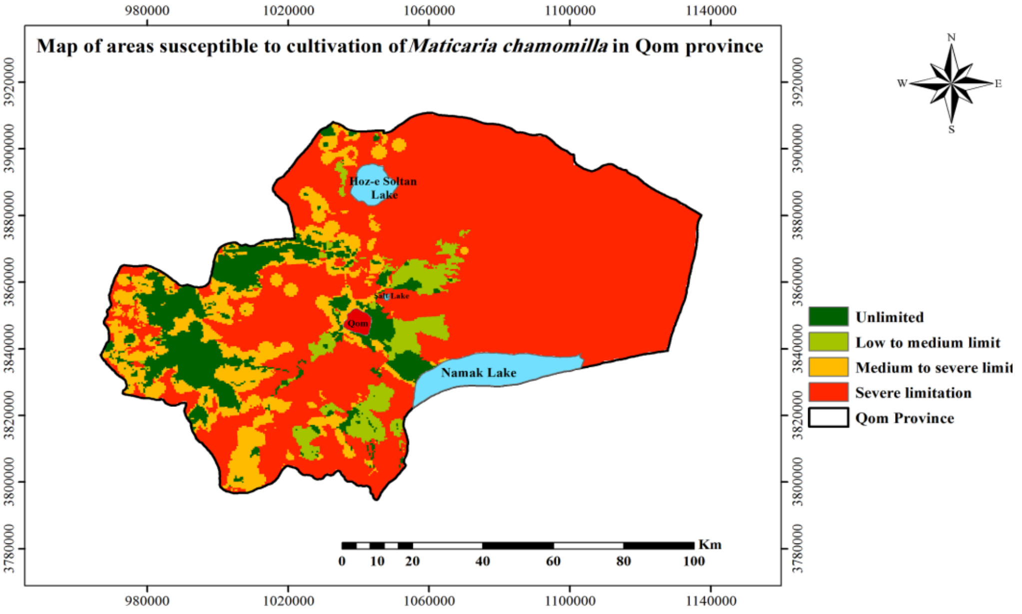
شکل ٦- نقشه مناطق مستعد کشت گیاه دارویی آویشن باغی

Fig. 6- Map of areas susceptible to cultivation of *Thymus vulgaris*



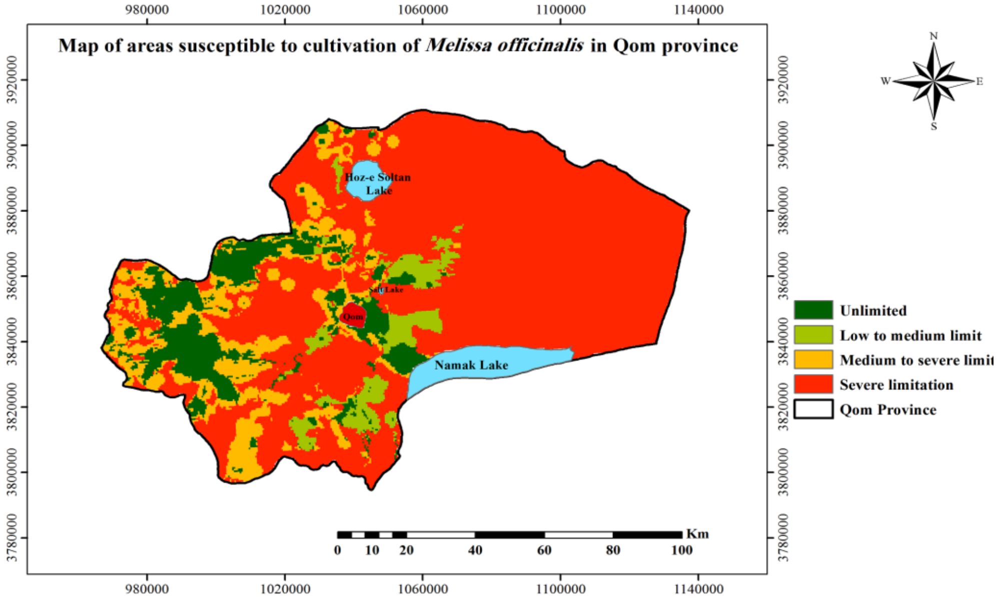
شکل ۷ – نقشه مناطق مستعد کشت گیاه دارویی اسطوخودوس

Fig. 7- Map of areas susceptible to cultivation of *Lavandula angustifolia*



شکل ۸– نقشه مناطق مستعد کشت گیاه دارویی بابونه

Fig. 8- Map of areas susceptible to cultivation of *Matricaria chamomila* L.

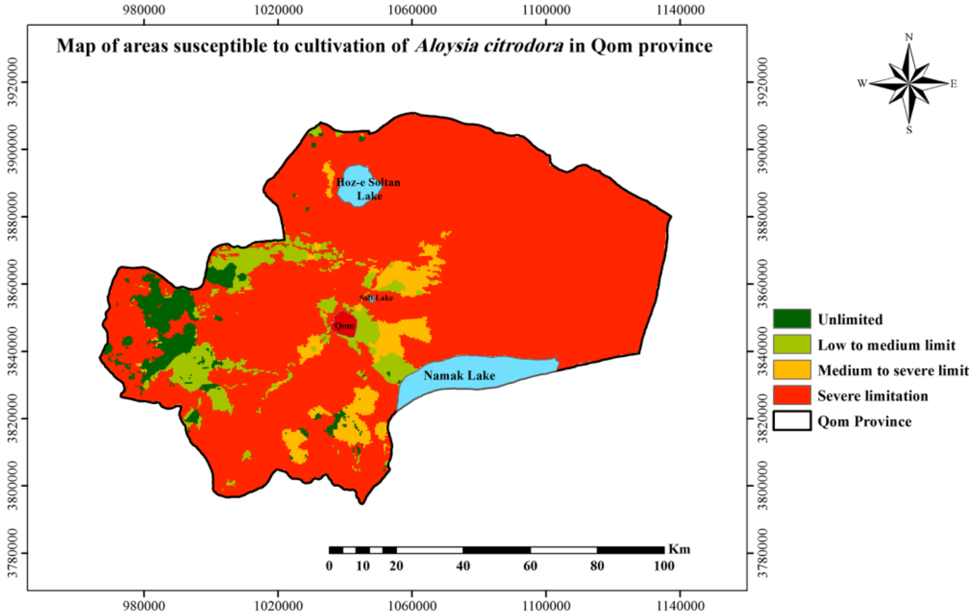


شکل ۹- نمودار و نقشه مناطق مستعد کشت گیاه دارویی بادرنجبویه

Fig. 9- Map of areas susceptible to cultivation of *Melissa officinalis* L.

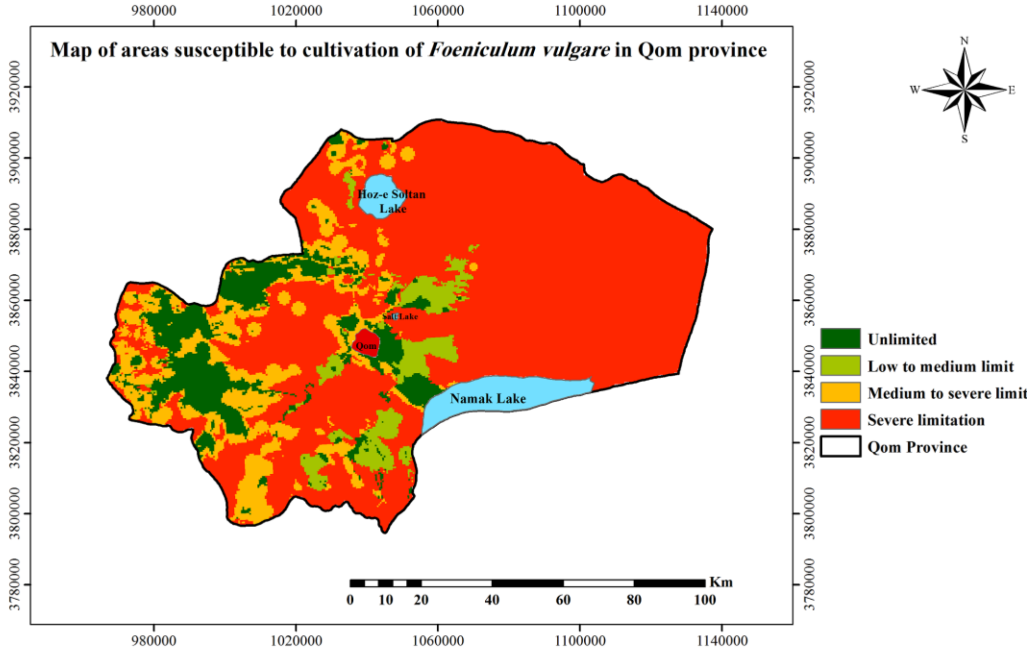
به‌لیمو: ۸۴/۲۶ درصد مساحت استان قم برای کشت به‌لیمو نامناسب است و تنها ۳/۹۹ درصد سطح آن برای این منظور مناسب است و مابقی سطح منطقه مورد مطالعه دارای محدودیت کم تا متوسط و یا متوسط تا زیاد می‌باشد (شکل ۱۰).

رازیانه: برای کشت رازیانه ۷۰/۷۴ درصد مساحت استان قم نامناسب است و تنها ۱۰/۵۳ درصد سطح آن برای این منظور مناسب است و مابقی سطح منطقه مورد مطالعه دارای محدودیت کم تا متوسط و یا متوسط تا زیاد می‌باشد (شکل ۱۱).



شکل ۱۰- نقشه مناطق مستعد کشت گیاه دارویی به‌لیمو

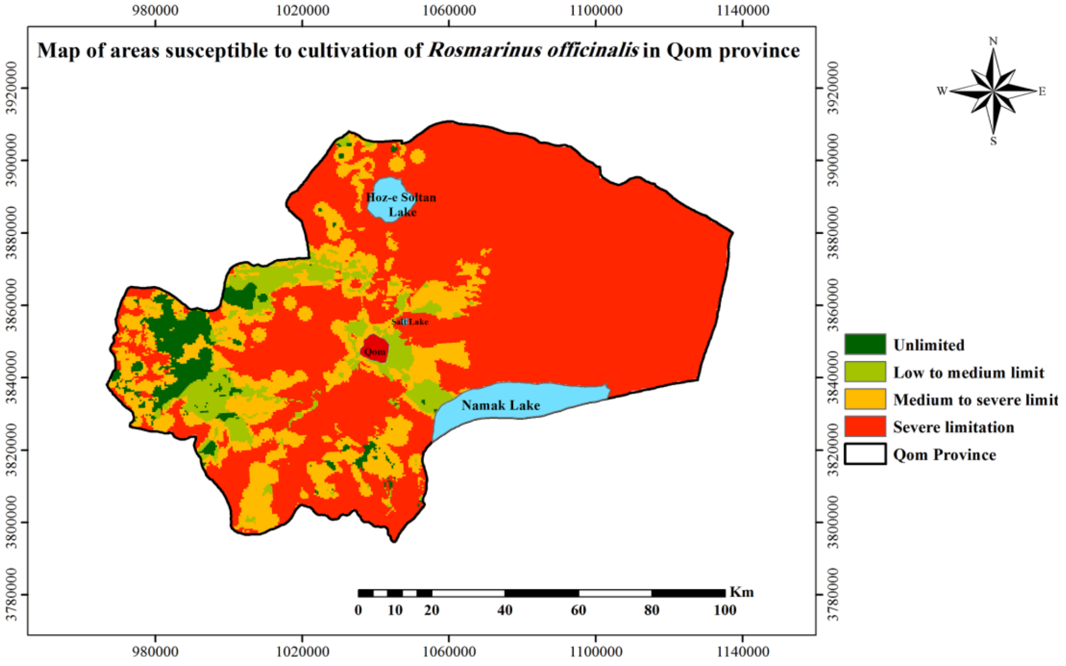
Fig. 10- Map of areas susceptible to cultivation of *Aloysia citrodora*



شکل ۱۱- نقشه مناطق مستعد کشت گیاه دارویی رازیانه

Fig. 11- Map of areas susceptible to cultivation of *Foeniculum vulgar* Miller

رزماری: ۷۰/۷۴ درصد مساحت استان قم برای کشت رزرماری نامناسب است و تنها ۳/۹۹ درصد سطح آن برای این منظور مناسب است و مابقی سطح منطقه مورد مطالعه دارای محدودیت کم تا متوسط و یا متوسط تا زیاد می‌باشد (شکل ۱۲).



شکل ۱۲- نقشه مناطق مستعد کشت گیاه دارویی رزماری

Fig. 12- Map of areas susceptible to cultivation of *Rosmarinus officinalis* L.

نتایج استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در پهنه‌بندی کشت تعدادی از گونه‌های گیاهی دارویی استان قم که بر اساس پرسش‌نامه خبرگان و با مقایسه زوجی نه معیار مورد بررسی شامل: ارتفاع از سطح دریا، شیب زمین، دمای حداکثر مطلق سالانه، دمای حداقل مطلق سالانه، بافت خاک، عمق خاک، EC آب، دسترسی به منابع آب و کاربری اراضی، انجام گرفت، نرخ ناسازگاری ۰/۰۱ به‌دست آمد که مقدار قابل قبول آن بر اساس نظر Saati ۰/۱ می‌باشد (Ghodsipour, 2016).

در وزن‌دهی به معیارهای مزبور، بیشترین وزن نسبی متعلق به معیار EC آب با ۳۰/۳ درصد و پس از آن معیار دسترسی به منابع آب با ۲۳/۳ درصد و کمترین وزن نسبی مربوط به معیار شیب زمین با ۳/۰ درصد بود. باتوجه به نتایج به‌دست آمده از وزن‌دهی معیارهای پهنه‌بندی که در آن بیش از نیمی از وزن نسبی معیارها متعلق به دو معیار مربوط به آب یعنی EC آب و دسترسی به منابع آب بوده است، می‌توان به اهمیت و جایگاه ویژه آب (هم از جنبه کیفی و هم از جنبه کمّی) برای کشت گونه‌های گیاهی دارویی در منطقه مورد نظر یعنی استان قم که اقلیم غالب آن‌را مناطق خشک و بیابانی تشکیل می‌دهد، پی برد.

از طرفی، در سال‌های اخیر، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی از طریق چاه‌های غیرمجاز و فاقد پروانه و اضافه برداشت از چاه‌های مجاز و همچنین محدودیت منابع آب و تداوم دوره‌های خشکسالی، موجب افت شدید آب‌های زیرزمینی و کاهش کیفیت آب و خاک منطقه شده است. در صورت تداوم برداشت بیش از حد از سفره‌های آب زیرزمینی به‌منظور ادامه شیوه کشاورزی کنونی، امکان جایگزینی و تغذیه سفره‌ها وجود نداشته و حتی اگر میزان نزولات جوی نیز افزایش یابد، امکان بازیابی و برگشت سفره‌های آب زیرزمینی وجود نخواهد داشت و لزوماً عبور از بحران کم آبی نیازمند تغییر الگوی کشت به‌سمت استفاده از گیاهان کم‌آب‌خواه مانند گیاهان دارویی در بخش کشاورزی است. بحران کم آبی، یک تهدید به شمار می‌رود، امّا با تغییر الگوی کشت و استفاده از گیاهان کم‌آب‌خواه، می‌توان آن را به یک فرصت تبدیل کرد. با توجه به آب و هوای گرم و خشک در منطقه، کشت گیاهان دارویی در مناطقی مثل قم که شرایط محیطی و اقلیمی آن تنش‌زا می‌باشد، می‌تواند بسیار مناسب‌تر از کشت گیاهان زراعی باشد، ضمن اینکه از نظر اقتصادی، مقرون به صرفه و دارای ارزش افزوده بیشتری نیز می‌باشد.

لذا در این تحقیق، شناخت مناطق مستعد کشت گیاهان دارویی در منطقه مورد مطالعه با پهنه‌بندی کشت هفت گونه گیاهی دارویی انجام شد که در مجموع، نمودارها و نقشه‌های پهنه‌بندی نشان داد که برای مناطق مستعد کشت گیاهان مذکور، بیشترین طبقه یا کلاس بین چهار طبقه محدودیت، طبقه چهار (محدودیت زیاد) با حداقل ۶۶/۰۳ و حداکثر ۸۴/۲۶ درصد مساحت و کمترین طبقه مربوط به طبقه یک (بدون محدودیت) با حداقل ۳/۹۹ و حداکثر ۱۰/۷۳ درصد مساحت بوده است (شکل ۵).

در میان هفت گونه گیاهی دارویی مورد مطالعه، مناطق مستعد کشت برای ۵ گونه آویشن باغی، اسطوخودوس، بابونه آلمانی، بادرنجبویه و رازیانه تقریباً شرایط مشابه و نزدیک به‌همی دارند، یعنی به‌طور متوسط ۱۰/۵۳ درصد در طبقه یا کلاس بدون محدودیت برای کشت قرار گرفتند (جدول ۲ و شکل‌های ۶، ۷، ۸ ، ۹ و ۱۱)، امّا گونه‌های به‌لیمو و رزماری از این نظر متفاوت بوده و کمتر مستعد کشت بوده یعنی تنها ۳/۹۹ درصد مناسب کشت در استان هستند (جدول ۲ و شکل‌های ۱۰ و ۱۲).

همچنین نتایج تحقیق حاضر نشان داد که بیشترین محدودیت‌ها برای کشت گیاهان دارویی در بخش‌های شمالی و شرقی استان است که دارای شرایط سخت اکولوژیکی از جمله کمبود شدید منابع آبی و کیفیت پایین آن، خشکی هوا، درجه حرارت بالا و میزان بارندگی کمتر می‌باشد و هر جا از منطقه که شرایط اکولوژیکی به‌ویژه از نظر دسترسی به منابع آب و کیفیت آب مناسب بوده است (مانند بخش‌های غربی و جنوبی استان)، محدودیت کمتری داشته است و برای کشت گونه‌های گیاهی دارویی، مناسب‌تر بوده است.

نتیجه‌گیری

نتایج وزن‌دهی معیارهای پهنه‌بندی کشت هفت گونه گیاهی دارویی مورد مطالعه در استان قم به‌روش AHP نشان داد که در میان نه معیار مورد بررسی شامل: ارتفاع از سطح دریا، شیب زمین، دمای حداکثر مطلق سالانه، دمای حداقل مطلق سالانه، بافت خاک، عمق خاک، EC آب، دسترسی به منابع آب و کاربری اراضی، بیشترین وزن نسبی متعلق به معیار EC آب با ۳۰/۳ درصد و پس از آن معیار دسترسی به منابع آب با ۲۳/۳ درصد و کمترین وزن نسبی مربوط به

معیار شیب زمین با ۳/۰ درصد و پس از آن معیار کاربری اراضی با ۳/۴ درصد بوده است. همچنین در مقایسه‌های زوجی معیارهای پهنه-بندی کشت گونه‌های گیاهی دارویی، نرخ ناسازگاری ۰/۰۱ به‌دست آمد. پس از تولید نقشه‌های پهنه‌بندی هم، مشخص شد که در مجموع، برای مناطق مستعد کشت گونه گیاهی دارویی مورد مطالعه، به‌طور میانگین: ۸/۶۶ درصد مساحت استان در طبقه یک (بدون محدودیت)، ۶/۳۸ درصد در طبقه دو (محدودیت کم تا متوسط)، ۱۲/۷۱ درصد در طبقه سه (محدودیت متوسط تا زیاد) و ۷۱/۹۷ درصد در طبقه چهار (محدودیت زیاد) واقع شده است. در میان هفت گونه گیاهی دارویی مورد مطالعه هم، مناطق مستعد کشت برای پنج گونه آویشن باغی، اسطوخودوس، بابونه آلمانی، بادرنجبویه و رازیانه تقریباً شرایط مشابه و نزدیک به‌همی دارند، یعنی به‌طور متوسط ۱۰/۵۳ درصد در طبقه یا کلاس بدون محدودیت برای کشت قرار گرفتند، امّا گونه‌های به‌لیمو و رزماری از این نظر متفاوت بوده و کمتر مستعد کشت بوده یعنی تنها ۳/۹۹ درصد مناسب کشت در استان هستند.

Refrences

Abdolmohammadi, M.H., 2003. Collection and identification of medicinal plants in Qom province, Final Report of Research Plan, Agricultural Reserches, Education and Extension Organization Publications.

Aczel, J., and Saaty, T.L., 1983. Procedures for synthesizing ratio judgements. Journal of Mathematical Psychology 27: 93-102. https://doi.org/10.1016/0022-2496(83)90028-7

Aghajani, A., Bidabadi, F.S., Joolaei, R., and Keramatzadeh, A., 2013. Managing cropping patterns agricultural crops of Iran. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 5: 596-611.

Ahmadi, K., Ebzadzadeh, H.R., Hatami, F., Hosseinpour, R., and Abdeshah, H., 2018. Agricultural census of 2016, volume 3, Ministry of Agricultural Jihad, Deputy of planning and economics, Information Technology Center and Communications. (In Persian)

Baltar, A.M., and Fontance, D.G., 2008. Use of multiobjective particle swarm optimization in water resources management. Journal of Water Resources Planning and Management 134: 257-265. DOI:10.1061/(ASCE)0733-9496(2008)134:3(257).

Beigbabayi, B., and Azadi Mobaraki, M., 2012. Uzing AHP modeling and GIS to evaluate the suitability of autumn canola in Ardabil province. Annals of Biological Researches, 3(5): 2307-2317.

Chen, H., Liu, G., Yang, Y., Ye X.F., and Shi, Z., 2010. Comprehensive evalution of tobacco ecological suitability Henan province based on GIS. Agricuture Science in China 9(4): 583-592. https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60132-2.

Deanpanah, G., 2014. Survey of rural development level with TOPSIS technique (Case study: Aslanduz-Parsabad section). Journal of Geography and Planning 18(50): 175-188. https://doi.org/ 10.22059/jhgr.2017.61037

Dury, J., Garcia, F., Reynaud, A., and Bergez, J.E., 2013. Cropping-plan decision-making on irrigated crop farms: A spatio-temporal analysis. European Journal of Agronomy 50: 1-10. DOI:10.1016/j.eja.2013.04.008.

Ebzadzadeh, H.R., Ahmadi, K., Mohammadnia, A., Shahriar, Abbasataghani, R., Abbasi, M., and Yari, S., 2018. Agricultural census of 2016, volume 2, Ministry of Agricultural Jihad, Deputy of planning and economics. Information Technology Center and Communications. http://amar.maj.ir/Portal/File/ShowFile.aspx?ID=d6a3d890-3510-4bf1-
b0ee-1377027834c1. (Persian)

Fattahi, M.M., 2008. Characteristics of Qom Province, Geographically, Natural and Historically. Zemzemeh Zendegi Publications, 400 p. (In Persian)

Ghodsipour, S.H., 2016. Hierarchical Analysis Process (AHP). Amirkabir University of Technology Publications, 222 p. (In Persian)

Gill, M.K., Kaheil, Y.H., Khalil, McKee, M., and Bastidas, L., 2006. Multiobjective particle swarm optimization for parameter estimation in hydrology. Water Resources Research 42. https://doi.org/10.1029/2005WR004528.

Javaheri, M.A., Ramrodi, M., Azgharpour, M.R., Dehmardeh, Mghaemi, A., 2016. Agroclimatic zonation for evaluating autumn sugar beet sowing feasibility in Khorasan Razavi and Khorasan-e-Jonobi provinces. Journal of Sugar Beet 31(1): 17-31. (In Persian with English Summary)

Kashfi Bonab, A.R., 2010. Comparative economic advantage of cultivation and trade of medicinal plants in Iran and its value in world markets. Journal of Business Studies 8(44): 67-78. (In Persian with English Summary)

Kazemi, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kamkar, B., Shattai, S., and Sadeghi, S., 2016. Development of optimal cropping pattern for Golestan province using geographic information system (GIS). Journal of Watershed Management Research 29(1): 88-106.

Opricovic, S., and Tzeng, G.H., 2004. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. European Journal of Operational Research 156: 445–455. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1.

Rahman, R., and Saha, S., 2008. Remote sensing, Spatial multi criteria evaluation (SMCE) and Analytical Hierarchy process (AHP) in optimal cropping pattern planning for a food prone area. Journal of Spatial Science 53(2): 161-177. https://doi.org/10.1080/14498596.2008.9635156.

Saaty, T.L., 1980. The analytical hierarchical process: Planning, priority setting resource allocation, NewYork. Mc Graw- Hill.

Saaty, T.L., and Vargas, L.G., 2001. Models, Methods, Concepts, and Applications of the Analytic Hierarchy Process. Kluwer Academic, 160 p.

Shabestari, M.H., and Banihabib, M.E., 2015. Ranking of agricultural water demand management strategies in arid areas using AHP and M-TOPSIS hybrid model. Journal of Water in Agriculture 29(1): 101-115. (In Persian with English Summary)

Shih, H.S., Shyur, H.J., and Lee, E.S., 2007. An extension of TOPSIS for group decision making. Mathematical and Computer Modelling 45: 801-813. https://doi.org/10.1016/j.mcm.2006.03.023.

Srdjevici, B., 2004. An Object multi-criteria evaluation of water management scenarios. Water Resources Management: An International Journal, Published for the European Water Resources Association (EWRA), Springer;European Water Resources Association (EWRA), vol. 18(1), 35-54. DOI: 10.1023/B:WARM.0000015348.88832.52.

Tavari, M., Sukhkian, M.A., and Mirnejad, S.A., 2008. Identifying and prioritizing factors affecting human resource productivity using MADM techniques (Case study: One of the jeans garments manufacturing companies in Yazd province). Industrial Management (Management Knowledge) 1(1): 71-88. (In Persian with English Summary)

Vafaeinejad, A., 2016. Cropping Pattern Optimization by Using of TOPSIS and Genetic Algorithm Based on the Capabilities of GIS. Journal of Ecohydrology 3(1): 69-82. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22059/ije.2016.59191

Vaziri, A., 2019. Identification and traditional uses of some medicinal plants in Jafarabad section of Qom province, Journal of Qom University of Medical Sciences 12(3): 87-95. (In Persian with English Summary)

Wang, T.C., and Chang, T.H., 2007. Application of TOPSIS in evaluating initial training aircraft under a fuzzy environment. Expert Systems with Applications 33 (4): 870-880. DOI:10.1016/j.eswa.2006.07.003

Wang, Y., Chen, Y., and Peng, S., 2011. A GIS framework for changing cropping pattern under different climate conditions and irrigation availability scenarios. Water Resources Management. 3090-25: 3073. https://doi.org/10.1007/s11269-011-9846-6

Zarei, H., Fathi, M.R., Karimi Zarchi, M., and Azizollahil, S., 2011. The application of Fuzzy TOPSIS approach to personnel selection for Padir Company: Iran. Journal of Management Research 3(2). : https://doi.org/10.5296/jmr.v3i2.663

Zavadskas, E.K., Vilutiene, T., Turskis, Z., and Tamosaitiene, J., 2010. Contractor selection for construction works by applying SAW-G and TOPSIS Grey techniques, Journal of Business Economics and Management 11: 34-55. doi: 10.3846 / jbem. 2010.03.

Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

Research Article
Vol. 14, No. 4, Winter 2023, p. 633-647

Effect of Tillage Systems, Plant Residue Management and Potassium Fertilizer Application on Yield and some Physiological Characteristics of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.)

Zahra Mir[1], Ahmad Ghanbari[2], Mahdi Dahmardeh[3]*, Mahmmod Ramroudi[3] and Mohammad Reza Asgharipour[2]

Received: 08-10-2020
Revised: 10-01-2022
Accepted: 12-01-2022
Available Online: 12-01-2022

How to cite this article:
Mir, Z., Ghanbari, A., Dahmardeh, M., Ramroudi, M., and Asgharipour, M.R., 2023. Effect of tillage systems, plant residue management and potassium fertilizer application on yield and some physiological characteristics of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). Journal of Agroecology 14(4): 633-647.
DOI: 10.22067/agry.2022.20185.0

Introduction

Crop residue management is one of the main pillars of production in agriculture and in the long run plays an important role in increasing or decreasing crop yields. Adequate amount of potassium sulfate fertilizer in the soil modulates the osmotic pressure in the soil. in this way, the plant's ability to withstand drought increases. Due to the fact that sour tea is one of the most important medicinal plants in Sistan, so it needs more study and research. Therefore, this experiment was conducted to investigate the effect of tillage systems combined with crop residue management and application of potassium fertilizer on yield and some physiological characteristics of sour tea in Sistan climate.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of tillage systems with crop residue management and application of potassium fertilizer on yield and some physiological characteristics of sour tea, an experiment was conducted in the research farm of zabol university agricultural research institute in 2018-2019 as a split plot-factorial in the form of complete block design. randomization was performed in three replications. experimental factors including tillage systems at three levels without tillage, reduction tillage (disc) and conventional tillage (plow + disc) as the main factor and the combination of plant residues at three levels (zero, 30 and 60%) with potassium sulfate fertilizer at three levels (no fertilizer, 75 and 150 kg ha^{-1}) were considered as secondary factors. measurements were: economic yield, biological yield, harvest index, chlorophyll a, b and carotenoids, anthocyanins, flavonoids and protein. statistical analysis of data was done with SAS software version 9.1 and mean comparison with duncan test was conducted at 5%.

Results and Discussion

The results showed that the use of tillage systems and their interaction on the studied characteristics were significant, However, plant residue treatments and their interaction on the studied characteristics except harvest index and anthocyanin were significant, Potassium sulfate treatment and its interaction on the studied properties except harvest index and flavonoids were significant. The highest economic yield of sour tea was equal to 3221.7 kg ha^{-1} in the reduced tillage system with 60% of crop residues and 150 kg ha^{-1} of potassium sulfate and The highest amount of sepal anthocyanin was obtained from conventional tillage treatment and combined use of 30% residues

1-Ph.D. Student of Agroecology, Department of Ecology, Faculty of Agriculture, Zabol University, Zabol, Iran.
2- Professor, Department of Ecology, Faculty of Agriculture, Zabol University, Zabol, Iran.
3- Associate Professor, Department of Ecology, Faculty of Agriculture, Zabol University, Zabol, Iran.
(*- Corresponding author's Email: dr.dahmardeh@uoz.ac.ir)

and 75 kg ha^{-1} of potassium sulfate and Conventional tillage and combined use of 30% residues and 75 kg ha^{-1} of potassium sulfate increased chlorophyll a, b and carotenoids. Also, non-tillage and conventional tillage treatments increased the amount of flavonoids and protein at the branches. The results of comparing the means of interaction of tillage systems with crop residue management and application of potassium sulfate show that the highest increase in chlorophyll *a* and carotenoid content of conventional tillage is + 30% of crop residues and 75 kg ha^{-1} of potassium sulfate And the highest increase in chlorophyll *b* was the simultaneous use of conventional tillage + 60% of crop residues and 150 kg ha^{-1} of potassium sulfate. the highest amount of protein was related to conventional tillage treatment with zero percent of crop residues and potassium sulfate, the results of comparing the means on the interaction of the treatments showed that the simultaneous application of no-till treatment with zero percent of crop residues and potassium had the best effect on the amount of flavonoids.

Conclusion

The results indicate that the effect of tillage systems combined with crop residue management and application of potassium sulfate in increasing quantitative and qualitative characteristics has had the best results. Under conservation tillage, by reducing tillage operations and maintaining a sufficient amount of plant residues in the soil surface, while improving soil structure and increasing water efficiency and nutrient efficiency, that increased quantitative and qualitative characteristics. Despite the dry climate in the country and the limitations and shortages of water and reducing soil fertility on the one hand and increasing environmental pollution on the other hand, the need to use conservation agricultural systems to maintain yield and stability and ultimately stability and balance of environmental factors is necessary it seems.

Acknowledgment

Authors were appreciating of Head the agronomy Laboratory of Zabol University.

Keywords: Anthocyanins, Carotenoids, Chlorophyll, Flavonoids, Protein, Potassium sulfate

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

تأثیر نظام‌های خاک‌ورزی، مدیریت بقایای گیاهی و کاربرد کود پتاسیم بر عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.)

زهرا میر[1]، احمد قنبری[2]، مهدی دهمرده[3]*، محمود رمرودی[3] و محمد رضا اصغری پور[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۱۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۲

میر، ز.، قنبری، ا.، دهمرده، م.، رمرودی، م.، اصغری‌پور، م.ر.، ۱۴۰۱. تأثیر نظام‌های خاک‌ورزی، مدیریت بقایای گیاهی و کاربرد کود پتاسیم بر عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۴): ۶۴۷-۶۳۳

چکیده

به‌منظور بررسی اثر نظام‌های خاک‌ورزی، مدیریت بقایای گیاهی و کاربرد کود پتاسیم بر عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه دارویی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa*)، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ به‌صورت اسپلیت‌پلات- فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. عوامل آزمایشی شامل نظام‌های خاک‌ورزی در سه سطح بدون خاک‌ورزی، خاک‌ورزی کاهشی (دیسک) و خاک‌ورزی متداول (گاوآهن + دیسک) به‌عنوان عامل اصلی و میزان بقایای گیاهی در سه سطح (صفر، حفظ ۳۰ درصد بقایا و حفظ ۶۰ درصد بقایا) و کود سولفات پتاسیم در سه سطح (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. ویژگی‌های مورد مطالعه شامل: عملکرد کاسبرگ خشک، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، مقدار کلروفیل a، b و کاروتنوئید، آنتوسیانین، فلاونوئید و پروتئین بودند. نتایج نشان داد که برهم‌کنش نظام‌های خاک‌ورزی، بقایای گیاهی و سولفات پتاسیم بر تمامی ویژگی‌های مورد بررسی (به‌جز شاخص برداشت) معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد کاسبرگ خشک چای ترش از تیمار برهم‌کنش اثرات سه‌گانه نظام خاک‌ورزی کاهشی، حفظ۶۰ درصد بقایای گیاهی و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم (۳۲۲۱/۷ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد که نسبت به شاهد بیش از ۱۰۰ درصد افزایش داشت. بالاترین میزان آنتوسیانین کاسبرگ از تیمار خاک‌ورزی متداول و حفظ۳۰ درصد بقایای گیاهی و ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم (۰/۴ میکرومول بر گرم وزن تر) حاصل گردید. استفاده از خاک‌ورزی متداول و حفظ ۳۰ درصد بقایا و ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم سبب افزایش کلروفیل a، b و کاروتنوئید شد. همچنین تیمارهای بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی متداول سبب افزایش میزان فلاونوئید (۱۹ میلی‌گرم گلوکز بر گرم وزن تر نمونه) و پروتئین سر شاخه‌ها (۲۰۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) گردید. نتایج نشان داد که کاربرد تلفیقی اثرات سه‌گانه نظام‌های خاک‌ورزی (کاهشی و متداول) توأم با مدیریت بقایای گیاهی (حفظ ۶۰ و ۳۰ درصد بقایا) و کاربرد کود پتاسیم (۱۵۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار) نه تنها به کاهش آلودگی محیط زیست کمک می‌کند، بلکه در افزایش عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژیک چای ترش در منطقه سیستان نقش مؤثری ایفا می‌کند.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، پروتئین، سولفات پتاسیم، فلاونوئید، کاروتنوئید، کلروفیل

۱- دانشجوی دکتری اگرواکولوژی، گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۲- استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۳- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: dr.dahmardeh@uoz.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2022.20185.0

مقدمه

چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) به راسته پنیرک (Malvales)، خانواده پنیرکیان (Malvaceae) و جنس *Hibiscus* تعلق دارد (Kumar & singh, 2012). مهم‌ترین بخش گیاه دارویی چای ترش، کاسبرگ‌ها هستند که با خارج کردن گلبرگ‌ها از کپسول‌های حاوی دانه‌ها به‌دست می‌آیند (Parsa Motlagh et al., 2016).

بیش از ۳۰۰ گونه از این گیاه در سراسر جهان در مناطق گرمسیر و نیمه گرمسیر یافت می‌شود. موطن اصلی این گیاه غرب آفریقا است و امروزه در سطح وسیعی در غرب آفریقا، آسیا، استرالیا، هند، مالزی، اتریش، آمریکای مرکزی و بسیاری از کشورهای گرمسیر کشت می‌شود (Morton, 1987; Ibramhim et al., 1998). برگ، کاسبرگ و دانه چای ترش در تغذیه انسان و دام مورد استفاده قرار می‌گیرد، همچنین فیبر آن منبع مهمی در صنعت نساجی و کاغذ است (Fagbenro, 2005; Mukhtar, 2007). گزارش شده است از لحاظ پزشکی، برگ این گیاه ملین بوده و به‌عنوان ادرار آور، مبرد (خنک‌کننده و پایین‌آورنده درجه حرارت بدن) و آرام‌بخش مورد استفاده قرار می‌گیرد. میوه این گیاه حاوی ویتامین C است، کاسبرگ‌ها حاوی گوسیپتین[1]، آنتوسیانین[2] و گلوکوزید هیبیسین[3] هستند که اثرات ادرارآور، کاهنده ویسکوزیته خون، کاهنده فشار خون و تحریک‌کننده روده را دارند (Perry, 1980). علاوه‌براین، از کاسبرگ‌ها برای درمان فشار خون بالا، اسهال و آبسه دهان استفاده می‌شود (Faraji & Tarkhani, 1999).

ایجاد بستر مناسب رشد گیاهان با انتخاب و اجرای صحیح یک سیستم خاکورزی فراهم می‌شود. در روش متداول خاکورزی بستر رشد گیاهان از طریق مخلوط کردن بقایای احتمالی باقی‌مانده با خاک و حذف آن‌ها از سطح خاک و همچنین شکستن چرخه زندگی موجودات خاکزی انجام می‌گیرد. این سیستم علاوه‌بر اینکه به انرژی زیادی نیاز دارد، در مدت زمان طولانی خصوصیات فیزیکی خاک را تخریب و آن را دچار فرسایش می‌کند. تکنولوژی‌های متداول تولید محصول در مقایسه با کشاورزی حفاظتی، کارایی استفاده از آب کمتری دارند و حاصلخیزی خاک را کاهش می‌دهد (Jat et al., 2013). شخم عمیق منجر به تغییر خصوصیات خاک می‌شود (Osunbitan et al., 2005;). در سیستم‌های کم خاکورزی نفوذ پذیری آب در خاک به‌علت افزایش مواد آلی و فعالیت کرم‌های خاکی نسبت به سیستم خاکورزی متداول افزایش می‌یابد. با کاهش مقاومت فیزیکی خاک در اثر استفاده از بقایای گیاهی در سیستم‌های کم خاکورزی و بی خاکورزی، هزینه‌های ناشی از مصرف زیاد انرژی، فرسایش و تخریب خاک کاهش می‌یابد. نتایج تحقیقی نشان داد که میزان نیتروژن موجود در کاه گندم در سیستم خاکورزی کاهشی در مقایسه با خاکورزی متداول ۹ تا ۳۰ درصد بیش‌تر بود (Pushpa et al., 2014).

کشاورزی حفاظتی از طریق مدیریت تلفیقی منابع بیولوژیکی، آب و خاک در ترکیب با ورودی‌های خارجی به حفظ، بهبود و استفاده مؤثرتر از منابع طبیعی کمک می‌کند. کشاورزی حفاظتی به حفظ محیط و همچنین افزایش و پایداری تولیدات کشاورزی کمک می‌کند (Jat et al., 2012). امروزه، استفاده از روش کشاورزی حفاظتی به‌عنوان بخشی جدانشدنی از زراعت و کشت و کار مطرح شده است. استفاده از کشاورزی حفاظتی راه حل مناسبی برای کاهش تخریب زمین‌های زراعی و افزایش عملکرد محصول بوده است و بر پایه ۱) کاهش خاکورزی ۲) پوشش خاک توسط محصول و بقایای گیاهی و ۳) تناوب محصول پایه‌گذاری شده است (Araya et al., 2012).

طبق بررسی‌های سابقی‌نژاد و همکاران (Sabeghi Nejad et al., 2019)، در بیش‌تر صفات مورد بررسی سیستم بدون شخم و شخم حداقل (خاکورزی حفاظتی) نسبت به شخم رایج نتایج مطلوب‌تری در کشت مخلوط ۱۰۰ درصد چای ترش و سویا در پی داشت که با نتایج هودیانی مهر و همکاران (Houdiani Mehr et al., 2016) در رابطه با کشت مخلوط چای ترش و ماش مطابقت دارد.

کاهش فشردگی خاک، حفظ رطوبت، جلوگیری از فرسایش و تخریب ساختمان خاک از دیگر مزایای کشاورزی حفاظتی است (Jat et al., 2012). اختلاف عملکرد بین سیستم‌های کشاورزی حفاظتی و سیستم‌های شخم متداول در اقلیم مدیترانه‌ای به‌دلیل بهبود رطوبت خاک و مواد غذایی قابل دسترس بین ۲۰ تا ۱۲۰ درصد گزارش شده است (Piggin et al., 2011). بنابراین، رویکرد جهانی در تولید

1- Gossypetin
2- Anthocyanin
3- Glucosidehibiscin

محصولات کشاورزی به‌خصوص گیاهان دارویی، اتخاذ روش‌های مدیریت اکولوژیک در قالب سامانه‌های کشاورزی پایدار می‌باشد. نتایج تحقیقی نشان داد که اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و آماده‌سازی بستر کاشت بر عملکرد وش و کیفیت الیاف معنی‌دار نبود، ولی خاک‌ورزی صحیح باعث کاهش فشردگی خاک و خروج زودتر گیاهچه‌های پنبه شد (Aykas & Onal, 2004). خاک‌ورزی حفاظتی در پنبه فوایدی از جمله کنترل فرسایش و سلامت خاک دارد (Buman et al., 2005). با توجه به تغییرات آب و هوایی، در بررسی اثرات خاک‌ورزی حفاظتی، روش بی خاک‌ورزی به‌عنوان سازگارترین روش برای محیط زیست گزارش شده است (Busari et al., 2015).

مدیریت بقایای گیاهی یکی از ارکان اصلی تولید در کشاورزی است و در بلندمدت نقش بسزایی در افزایش یا کاهش محصولات زراعی دارد (Montemuro et al., 2006). وجود بقایای گیاهی سبب افزایش رطوبت (Mohammadi et al., 2009)، بهبود کارایی مصرف آب (Gharamanyan et al., 2010)، کاهش دمای خاک (Azad Shahraki et al., 2010)، کاهش تبخیر و رواناب (Ghanbaryan Alavijeh et al., 2014)، افزایش عملکرد شده است (Safari et al., 2013). نگهداری میزان کافی از بقایای گیاهی، به‌عنوان راه حل مؤثری برای رویارویی با تهدیدهای کیفیت خاک، تأکید شده است (Zakeri & kazemi, 2006).

استفاده از کودهای شیمیایی به‌ویژه سولفات پتاسیم علاوه‌بر نقش تغذیه‌ای آن، جهت حمایت گیاه در برابر تنش‌های محیطی نظیر خشکی و جلوگیری از کاهش عملکرد از اهمیت زیادی برخوردار است. افزایش جذب پتاسیم، باعث تأثیر مثبت در فتوسنتز، افزایش میزان رشد و شاخص سطح برگ، افزایش سنتز کلروفیل a و b، افزایش سرعت انتقال مواد نیتروژنه به دانه‌ها، سنتز بیشتر پروتئین و ترکیبات پلی‌مری، تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها، افزایش تعداد روزنه‌ها، کاهش تعرق و به‌وجود آوردن شرایط داخلی مناسب از طریق تنظیم فشار اسمزی می‌گردد (Sakinejad et al., 2003). آبو ال مگد و همکاران (Abou El-Magd et al., 2010) نیز اثر مقادیر صفر، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم را بر رشد، عملکرد و میزان اسانس در گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare*) مورد مطالعه قرار دادند، که بالاترین میزان از بیشترین مقدار کاربردی کود حاصل شد. گنجعلی و همکاران (Ganjali et al., 2016) عملکرد چای ترش را در سطوح مختلف کود پتاسیم به‌عنوان فاکتور اصلی و کود فسفر و نیتروژن را به‌عنوان فاکتور فرعی در منطقه سراوان مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که کود فسفر و پتاسیم می‌تواند نقش مؤثری در کاهش عملکرد چای ترش در شرایط آب و هوایی سراوان داشته باشد. اکنبی و همکاران (Akanbi et al., 2009) نشان دادند که مصرف ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن، فسفر و پتاسیم ۱۰-۱۰-۲۰ به همراه پنج تن در هکتار کمپوست باعث افزایش عملکرد کمّی و کیفی چای ترش می‌گردد.

با وجود اقلیم خشک در کشور و محدودیت و کمبود آب و کاهش حاصلخیزی خاک از یک سو و افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی از سوی دیگر، نیاز به بهره‌گیری از سیستم‌های کشاورزی حفاظتی در جهت حفظ و ثبات عملکرد و نهایتاً پایداری و تعادل عوامل زیست‌محیطی امری لازم به نظر می‌رسد. در حال حاضر، بیش‌ترین سطح زیر کشت چای ترش مربوط به استان سیستان و بلوچستان با سطحی در حدود ۳۰۰ هکتار و تولید سالانه ۲۹۰ تن می‌باشد (Anonymous, 2014). لذا، این آزمایش با هدف بررسی اثر نظام‌های خاک‌ورزی توأم با مدیریت بقایای گیاهی و کاربرد کود پتاسیم بر عملکرد و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک چای ترش در شرایط آب و هوایی سیستان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل واقع در چاه‌نیمه در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا گردید. این منطقه با مختصات جغرافیایی ۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه عرض شمالی و در ارتفاع ۴۸۱ متر از سطح دریا واقع شده است. طبق آمار هواشناسی زهک، این منطقه بر اساس طبقه‌بندی کوپن جزء اقلیم‌های خشک و بسیار گرم، میانگین درازمدت (۳۰ ساله) بارندگی در منطقه ۶۳ میلی‌متر می‌باشد. نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری به‌صورت تصادفی از چند ناحیه انتخاب و جهت انجام تجزیه خاک به آزمایشگاه ارسال گردید که نتایج آن در جدول ۱ آمده است:

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

Table 1- Physicochemical properties of soil of experimental place (0-30 cm)

هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	اسیدیته pH	ماده آلی Organic material	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	سیلت Silt	رس Clay	شن Sand	بافت Texture
		(%)		(ppm)			(%)		
1.5	7.7	0.15	5	12.2	174	27	31	44	لوم شنی Loam clay

این آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات-فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عوامل آزمایشی شامل نظام‌های خاک‌ورزی در سه سطح بدون خاک‌ورزی، خاک‌ورزی کاهشی (دو مرتبه دیسک جهت خرد کردن کلوخه‌ها) و خاک‌ورزی متداول (شخم به کمک گاوآهن برگردان‌دار به عمق ۳۰ سانتی‌متر + دو مرتبه دیسک جهت خرد کردن کلوخه‌ها به عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر) به‌عنوان عامل اصلی و میزان بقایای گیاهی (کاه و کلش گندم) در سه سطح شامل بدون بقایا، حفظ ۳۰ درصد بقایا و حفظ ۶۰ درصد بقایا و کود سولفات پتاسیم در سه سطح (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. کاشت به‌صورت دستی بر اساس نقشه کاشت در تاریخ پنجم اردیبهشت ماه انجام شد. هر کرت آزمایشی شامل چهار خط کاشت به‌طول سه متر، فاصله بین خطوط ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر بود. بدین منظور ۴-۳ بذر در هر کپه با عمق سه سانتی‌متر به‌روش جوی و پشته کاشته و بلافاصله آبیاری شد. بذر مورد استفاده از پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل تهیه شد. بقایای گیاهی ۳۰ و ۶۰ درصد گندم، برای هر کرت میزان ۳۰ درصد بقایا (۹۰۰ گرم کاه و کلش) و ۶۰ درصد بقایا (۱/۸۰۰گرم کاه و کلش) که در مجموع ۷۳ کیلوگرم در هکتار کاه و کلش گندم برای سه تکرار در نظر گرفته شد و کود سولفات پتاسیم به تنهایی در حین انجام عملیات خاک‌ورزی، قبل از کاشت به خاک اضافه گردید. در طول فصل رشد، عملیات داشت از جمله واکاری ابتدا در مراحل رویش و بعد از استقرار کامل گیاهچه‌ها، تنک کردن، وجین، آبیاری و مبارزه با آفات انجام گردید. در مراحل اولیه رشد گیاه تا زمانی که گیاهچه‌ها از خاک خارج و به‌طور کامل مستقر شدند، آبیاری در اوایل دوره رشد با دور کوتاه و به‌صورت جوی و پشته‌ای و کرت به کرت در هفته دو الی سه مرتبه انجام گرفت و در مراحل بعدی به‌طور یکنواخت و با توجه به نیاز گیاه هر ۱۰ روز یک بار انجام شد.

برای اندازه‌گیری عملکرد خشک کاسبرگ، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت از هر کرت نمونه‌گیری از دو ردیف وسط و پس از حذف اثرات حاشیه‌ای در هنگام رسیدگی فیزیولوژیک از سطح یک مترمربع انجام گرفت، بوته‌ها از سطح زمین قطع و کدگذاری شد و به آزمایشگاه منتقل گردید، سپس اقدام به جداسازی کاسبرگ‌ها شد و پس از خشک کردن در آون در دمای ۷۴ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت، وزن خشک بوته و کاسبرگ اندازه‌گیری شد. شاخص برداشت نیز از طریق نسبت عملکرد خشک کاسبرگ به عملکرد بیولوژیک محاسبه شد.

برای سنجش آنتوسیانین نمونه‌گیری از کاسبرگ‌های تر در آبان ماه و هنگام رسیدگی فیزیولوژیک میوه‌ها انجام شد. نمونه‌گیری به‌منظور سنجش ویژگی‌های دیگر در مرحله گل‌دهی، از برگ‌های فوقانی چای ترش انجام گردید.

به‌منظور اندازه‌گیری کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها از فرمول زیر استفاده شد (Arnon, 1967).

معادله‌های (۱) تا (۳)

$$\text{Chlorophyll a} = (11.75\times A_{663} - 2.350\times A_{645})\ V/100W$$

$$\text{Chlorophyll b} = (18.61\times A_{645} - 3.960\times A_{663})\ V/100W$$

$$\text{Carotenoides} = 1000\times(A_{470}) - 2.270\times(\text{mg chl. a}) - 81.4\times(\text{mg chl. b})/227$$

که در این معادله‌ها، V: حجم محلول سانتریفیوژشده، A: جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و۴۷۰ نانومتر و W: وزن‌تر نمونه برحسب گرم می‌باشند.

برای اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین‌ها از روش واگنر (Wagner, 1979) استفاده شد. برای اندازه‌گیری فلاونوئید با استفاده از معرف کلرید آلومینیم اندازه‌گیری شد. به نیم میلی‌لیتر از هر عصاره (۱۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)، ۱/۵ میلی‌لیتر متانول، ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول آلومینیم کلراید ۱۰ درصد در اتانول، ۰/۱ میلی‌لیتر از استات پتاسیم یک مولار و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. جذب مخلوط نیم ساعت بعد از نگه‌داری در دمای اتاق، در طول موج ۴۱۵ نانومتر در مقابل بلانک با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (Chang et al.,).

2002غلظت پروتئین برگ‌های فوقانی چای ترش به‌وسیله روش برادفورد انجام شد (Bradford, 1976).

تجزیه آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد خشک کاسبرگ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نظام‌های خاک‌ورزی، کاربرد کود سولفات پتاسیم و برهم‌کنش سه‌گانه نظام خاک ورزی، کود سولفات پتاسیم و بقایای گیاهی بر عملکرد خشک کاسبرگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همچنین تأثیر بقایای گیاهی بر عملکرد خشک کاسبرگ نیز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. (جدول ۲).

برهم‌کنش نظام‌های خاک‌ورزی، بقایای گیاهی و سولفات پتاسیم بر عملکرد خشک کاسبرگ نشان داد که بالاترین میزان (۳۲۲۱/۷ کیلوگرم در هکتار کاسبرگ خشک) با کاربرد خاک‌ورزی حداقل + ۶۰ درصد بقایای گیاهی و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به‌دست آمد. این مقدار نسبت به شاهد (۱۳۹۹/۹ کیلوگرم در هکتار) بیش از ۱۰۰ درصد افزایش عملکرد داشت (جدول ۳).

بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، اثر خاک‌ورزی حداقل سبب افزایش عملکرد خشک کاسبرگ گردید. کاربرد روش کم خاک‌ورزی به‌دلیل بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه در نتیجه افزایش ماده آلی خاک و همچنین افزایش محتوای رطوبت خاک باعث ایجاد تعادل بین رشد رویشی و زایشی شده و این امر منجر به افزایش عملکرد اقتصادی گیاه می‌شود (Crabtree & Rupp, 1980). در بررسی اثر روش‌های خاک‌ورزی و میزان پوشش بقایا در مرودشت فارس مشخص شد که بیشترین عملکرد دانه گندم در روش کم خاک‌ورزی و پوشش ۳۰ درصد بقایا در سطح خاک حاصل شد (Amini et al., 2014). طی برخی آزمایشات مزرعه‌ای عملکرد وش، تعداد قوزه در بوته و صفات کیفی الیاف پنبه در بین خاک‌ورزی کاهشی بیش‌تر از خاک‌ورزی رایج مشاهده شد (Yalcin et al., 2004). اصغری و همکاران (Asghari et al., 2013) در بررسی تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی و کاشت بر رطوبت خاک و عملکرد گلرنگ در تناوب با گندم دیم نشان دادند که عملکرد گلرنگ در خاک‌ورزی حفاظتی بیش‌تر از خاک‌ورزی رایج است. خاک‌ورزی باعث به هم خوردن چرخه زیستی ریزجانداران (میکروارگانیسم‌های خاکزی و در نتیجه، باعث کاهش عملکرد می‌شود (De Vita et al., 2007). کاوالاریس و جمتوس (Cavalaris & Gemtos, 2002) نیز وجود بقایا در سطح خاک را مانعی برای رسیدن اشعه خورشید به خاک دانستند که تبخیر آب از سطح خاک را کاهش می‌دهد و در نتیجه، سبب افزایش رطوبت ذخیره شده خاک می‌شود که بر بهبود عملکرد تأثیر مثبت دارد. پوسیدگی بقایای گیاهی در شرایط حفظ بقایا، سبب افزایش عناصر غذایی خاک در نیمه دوم فصل رشد می‌گردد (LaI & Bruce, 1999). پتاسیم، تحمل گیاه را نسبت به تنش‌های محیطی بیش‌تر و تولید نشاسته و کربوهیدرات را افزایش و همچنین استحکام گیاه را افزایش داده و برای رشد بهینه مقدار مطلوب آن مورد نیاز است (Pahlavan et al., 2006). پتاسیم یکی از مهم‌ترین عناصر ضروری در جهت نمو الیاف پنبه بوده که کمبود این عنصر منجر به کاهش کیفیت الیاف و همچنین کاهش عملکرد نهایی می‌گردد و در نهایت، برای دستیابی به حداکثر عملکرد و اجزای عملکرد در پنبه بایستی عنصر پتاسیم به‌میزان کافی در اختیار گیاه قرار گیرد (Kumar et al., 2011). راشکی و پیری (Rashki & Piri, 2021) اظهار نمودند، هر چه میزان سطح کودی پتاسیم بیش‌تر شود، عملکرد چای ترش نیز بیش‌تر می‌شود و بیش‌ترین رشد و عملکرد چای ترش در تیمار ۱۰۰ درصد مصرف کود پتاسیم به‌دست آمد.

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد و ویژگی‌های کیفی تحت تأثیر نظام‌های خاک‌ورزی توأم با مدیریت بقایای گیاهی و کاربرد کود پتاسیم در گیاه چای ترش

Table 2- Analysis of variance for yield and qualitative characteristics under the influence of tillage systems combined with plant residue management and potassium fertilizer application in the roselle plant

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares								
		عملکرد کاسبرگ Sepal yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	پروتئین Protein	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کاروتنوئید Carotenoids	آنتوسیانین Anthocyanin	فلاونوئید Flavonoids
تکرار Replication	2	4147780.92**	24556988.84**	598.52**	178.99ns	13.44**	1.29**	1.27**	0.318**	119.21**
نظام خاک‌ورزی Tillage systems (A)	2	1209026.34**	3526615.80**	721.62**	14980.17**	36.47**	2.60**	1.55**	0.229**	106.55**
خطای اصلی Error a	4	128455.18	294115.59	220.32	1422.66	1.45	0.27	0.10	0.71	5.69
بقایای گیاهی Plant residue (B)	2	481232.78*	847974.19ns	69.18ns	2671.52**	3.56**	0.75**	0.49**	0.6ns	85.80**
سولفات پتاسیم (Potassium sulfate) (C)	2	1425942.11**	3771006.15**	155.35ns	813.54**	9.01**	0.90**	1.30**	0.190**	9.70ns
خاک‌ورزی × بقایای گیاهی (A×B)	4	415918.41*	2224275.07**	143.00ns	4444.43**	1.57**	0.17**	0.29**	0.147**	60.73**
خاک‌ورزی × پتاسیم (A×C)	4	885901.87**	2416972.09**	168.25*	2336.52**	2.48**	0.22**	0.41**	0.499**	13.35**
بقای ا× پتاسیم (B×C)	4	19083.08ns	310234.13ns	247.80*	4161.21**	5.07**	0.08*	0.41**	0.249**	38.38**
خاک‌ورزی × بقایا × پتاسیم (A×B×C)	8	680951.28**	2643505.63**	92.79ns	2649.59**	1.49**	0.46**	0.27**	0.432**	49.58**
خطای فرعی Error b	48	124800.00	372402.4	66.89	158.71	0.36	0.02	0.04	0.28	3.56
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	21.987	19.406	14.467	9.78	7.78	7.63	8.53	25.47	17.28

*، ** و ns: به‌ترتیب به مفهوم معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و عدم معنی‌داری می‌باشند.

**,* and ns: are significant at p≤%1 and p≤%5 and no significant, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد و ویژگی‌های کیفی تحت تأثیر برهم‌کنش نظام‌های خاک‌ورزی توأم با مدیریت بقایای گیاهی و کاربرد کود پتاسیم در گیاه چای ترش

Table 3- Means comparison of yield and qualitative characteristics in interaction effects of tillage systems combined with plant residue management and potassium fertilizer application in the roselle plant

نظام‌های خاک‌ورزی Tillage systems	پتاسیم K ($kg.h^{-1}$)	بقایای گیاهی Plant residue (%)	عملکرد کاسبرگ Sepal yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت Harvest index (%)	پروتئین Protein ($mg.g^{-1}$)	کلروفیل a Chlorophyll a ($mg.g^{-1}$)	کلروفیل b Chlorophyll b ($mg.g^{-1}$)	کاروتنوئید Carotenoids ($mg.g^{-1}$)	آنتوسیانین Anthocyanin ($\mu mol.g^{-1}$)	فلاونوئید Flavonoids ($mg.g^{-1}$)
بدون خاک‌ورزی No tillage	0	0	1399.9^{cdefgh}	3120.4^{bcdefg}	65.990^{a-d}	146.67^{cde}	6.77^{hijk}	2.12^{fghi}	2.21^{ghijk}	0.100^{i}	19.08^{a}
	75	30	1522.9^{cdefgh}	2784.2^{cdefg}	59.157^{a-g}	113.70^{ghij}	8.86^{cde}	2.15^{fgh}	2.71^{bcde}	0.107^{hi}	10.53^{efgh}
	150	60	1178.5^{gh}	2474.0^{defg}	67.020^{a-c}	195.93^{a}	7.35^{fghi}	2.35^{def}	2.34^{efghi}	0.317^{bcd}	10.80^{defg}
خاک‌ورزی حداقل Minimum tillage	0	0	1437.6^{cdefgh}	2785.9^{cdefg}	59.667^{a-g}	93.33^{jkl}	7.05^{j}	1.92^{ghij}	2.29^{fghij}	0.146^{fghi}	14.08^{cd}
	75	30	1333.1^{cdefgh}	2697.7^{cdefg}	57.287^{a-h}	134.44^{efg}	7.52^{fghi}	1.79^{ijk}	2.27^{fghij}	0.267^{de}	9.89^{fgh}
	150	60	3221.7^{a}	6418.5^{a}	56.597^{b-h}	88.15^{kl}	6.45^{ijk}	1.59^{k}	2.17^{hijk}	0.307^{cd}	17.63^{ab}
خاک‌ورزی متداول Conventional tillage	0	0	1522.8^{cdefgh}	2980.5^{cdefg}	54.717^{b-h}	200.00^{a}	9.50^{bc}	2.74^{bc}	2.72^{bcde}	0.409^{ab}	5.37^{i}
	75	30	1304.8^{cdefgh}	2714.7^{cdefg}	47.240^{e-h}	166.67^{bc}	10.06^{ab}	2.75^{bc}	2.89^{b}	0.414^{a}	7.58^{fghi}
	150	60	1541.5^{cdefgh}	2340.5^{efg}	70.240^{ab}	112.59^{ghij}	9.23^{bcd}	3.05^{a}	2.48^{cdefgh}	0.244^{def}	11.18^{def}

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means within a column followed by the same letters are not significantly different based on duncan test at 5%. .Probability level.

عملکرد بیولوژیک: نتایج تجزیه واریانس بیانگر آن است که اثر نظام‌های خاک‌ورزی و سولفات پتاسیم و برهم‌کنش سه‌گانه نظام‌های خاک‌ورزی، سولفات پتاسیم و بقایای گیاهی بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود، امّا اثر بقایای گیاهی بر آن، معنی‌دار نبود (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک با میانگین ۶۴۱۸/۵ کیلوگرم در هکتار متعلق به برهم‌کنش تیمارهای خاک‌ورزی حداقل، ۶۰ درصد بقایای گیاهی و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم بود (جدول ۳). در این رابطه، می‌توان گفت که اهمیت جوامع میکروبی خاک برای کارکرد یک اکوسیستم به‌دلیل نقش مهمی است که در فرآیندهای خاک ایفا می‌کنند. وقتی مواد گیاهی حاوی کربن به خاک افزوده شود، میکروب‌های تجزیه‌کننده برای کربن، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، گوگرد وکلسیم مورد نیاز خود به دو منبع شکل‌های در دسترس این عناصر و مواد آلی اضافه شده به خاک متکی هستند، بنابراین با اضافه شدن بقایای گیاهی این میکروب‌ها به تجزیه بقایای گیاهی اقدام می‌کنند و در نهایت، وزن خشک بوته چای ترش (عملکرد بیولوژیک) را افزایش داده است.

بر اساس نتایج، خاک‌ورزی حداقل باعث افزایش عملکرد بیولوژیک گردید. از دلایل افزایش عملکرد بیولوژیک در سیستم‌های حداقل خاک‌ورزی انتشار ریشه‌ها در عمق زیاد خاک و دسترسی بیشتر به جذب عناصر غذایی و همچنین با افزایش نفوذپذیری موجب نفوذ بیشتر آب در خاک شده و با کاهش تبخیر موجب افزایش کارایی بیشتر آب می‌شود، رطوبت ذخیره شده در لایه‌های سطحی خاک که به‌وسیله بقایای گیاهی تأمین می‌گردد، در دوره اولیه رشد گیاه اهمیت زیادی دارد (Larson et al., 1983) که با نتایج سابقی‌نژاد و همکاران (Sabeghi Nejad et al., 2019) در مورد چای ترش مطابقت دارد. عملکرد بیولوژیک محصولات علوفه‌ای تحت شرایط خاک‌ورزی کاهشی در مقایسه با خاک‌ورزی متداول بیشتر بود (Gadermaier et al., 2011). عدم به‌هم زدن خاک و وجود بقایا در سطح خاک می‌تواند مانع اتلاف شدید رطوبت خاک شده و فرصت کافی برای استفاده ریشه‌ها از نیتروژن خاک را فراهم سازد (Cook & Hauguland, 1991) این موضوع در نهایت، به افزایش اجزای عملکرد (عملکرد بیولوژیک) از جمله تعداد غوزه و یا تعداد دانه بیش‌تری می‌انجامد، این یافته با نتایج دیگر پژوهشگران هم‌خوانی دارد (Emam et al., 2000). استفاده از سولفات پتاسیم نیز بر عملکرد بیولوژیک تأثیر مثبتی در پی داشت، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد از تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که با نتایج عادلی و همکاران (Adeli et al., 2011) مطابقت دارد. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد پتاسیم، علاوه‌بر افزایش توسعه برگ‌ها و افزایش رشد گیاه، باعث افزایش تولید ماده خشک و در نتیجه، افزایش عملکرد گیاه جو گردید. گنجعلی و همکاران (Ganjali et al., 2016) اظهار داشتند بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک چای ترش با افزایش تیمارهای ترکیبی فسفر به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به همراه ۵۰ کیلوگرم نیتروژن و ۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم بوده است. هورواث و همکاران (Horvath et al., 2007) عنوان نمودند که کاربرد پتاسیم سبب افزایش میزان عملکرد وش در چین دوم و همچنین افزایش میزان عملکرد کل شده است. کاهش رشد و تولید ماده خشک از ویژگی‌های مهم گیاهان در شرایط کمبود تغذیه‌ای به‌ویژه عناصر پر مصرف چون پتاسیم است (Bolie et al., 2006).

شاخص برداشت: نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده عدم معنی‌داری برهم‌کنش سه‌گانه تأثیر نظام‌های خاک‌ورزی توأم با مدیریت بقایای گیاهی و کاربرد پتاسیم از نظر شاخص برداشت بود، امّا نتایج نشان داد که اثر نظام‌های خاک‌ورزی بر شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج تحقیقات متعدد نشان می‌دهد که در بین سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی، بیش‌ترین شاخص برداشت مربوط به سیستم خاک‌ورزی متداول بود (Prtokhazemi et al., 2011Mohammadi et al., 2009 ;).

در مورد کاربرد بقایای گیاهی و سولفات پتاسیم نیز، مقدار ۶۰ درصد بقایای گیاهی و میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم بالاترین میزان شاخص برداشت را نشان داد. تأمین مقدار کافی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه به‌ویژه عناصر ماکرو یکی از جنبه‌های بسیار مهم در مدیریت زراعی است و می‌تواند نقش مهمی در افزایش تولید و شاخص برداشت ایفا کند. برگشت بقایای گیاهی در فراهمی نیتروژن، افزایش عملکرد و شاخص برداشت گیاه نقش مؤثری دارد.

مقدار پروتئین برگ‌های فوقانی: تأثیر نظام‌های خاک‌ورزی توأم با مدیریت بقایای گیاهی، کاربرد سولفات پتاسیم و برهم‌کنش آن‌ها در سطح یک درصد، بر میزان پروتئین برگ معنی‌دار شد (جدول ۲).

مقایسه میانگین‌های برهم‌کنش نظام‌های خاک‌ورزی توأم با مدیریت بقایای گیاهی و کاربرد سولفات پتاسیم بر مقدار پروتئین نشان داد که بالاترین مقدار مربوط به تیمار خاک‌ورزی متداول به همراه صفر درصد بقایای گیاهی و سولفات پتاسیم بوده است. این مقدار ۲۰۰/۰۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر است که تفاوت ناچیزی با تیمار بدون خاک‌ورزی، ۶۰ درصد بقایای گیاهی و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم دارد (جدول ۳).

بیشترین مقدار پروتئین از تیمار خاک‌ورزی متداول به‌دست آمد که نسبت به شاهد حدود ۳۶ درصد افزایش نشان داده است. عدم کاربرد بقایای گیاهی و عدم مصرف کود سولفات پتاسیم نیز سبب افزایش میزان پروتئین چای ترش گردید. افزایش میزان پروتئین گندم بهاره تحت تأثیر سیستم‌های خاک‌ورزی متداول نسبت به سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی گزارش شده است (Wozniak et al., 2015). در آزمایشی ثابت گردیده است که تغییرات مقدار پروتئین در اثر عوامل محیطی بسیار ناچیز می‌باشد (Morrison et al, 2000).

غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، b و کاروتنوئید): نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر نظام‌های خاک‌ورزی توأم با مدیریت بقایای گیاهی و کاربرد سولفات پتاسیم و برهم‌کنش آن‌ها بر غلظت کلروفیل a، b و کاروتنوئیدهای برگ معنی‌دار شد (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین‌های برهم‌کنش نظام‌های خاک‌ورزی توأم با مدیریت بقایای گیاهی و کاربرد سولفات پتاسیم نشان می‌دهد که بالاترین افزایش در میزان کلروفیل a و کاروتنوئید کاربرد هم‌زمان خاک‌ورزی متداول + ۳۰ درصد بقایای گیاهی و ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم، که نسبت به شاهد به‌ترتیب افزایش ۴۸ و ۳۱ درصدی دارد و بالاترین افزایش در میزان کلروفیل b، به‌کار بردن هم‌زمان خاک‌ورزی متداول+ ۶۰ درصد بقایای گیاهی و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم بوده است که نسبت به شاهد ۴۳ درصد افزایش داشته است (جدول ۳).

در مورد تأثیر مثبت کاربرد خاک‌ورزی متداول بر مقدار کلروفیل برگ و کاروتنوئید می‌توان گفت، وجود شرایط مناسب بستر کشت در خاک‌ورزی متداول و استقرار سریع گیاه جهت بهره‌برداری از فصل رشد در شرایطی که میزان بقایای گیاهی و سولفات پتاسیم فراهم است، به تقویت رشد و افزایش سطح جذب گیاه منجر می‌شود. این عوامل در نهایت، می‌تواند سبب افزایش تراکم رنگیزه‌ها (از جمله کاروتنوئیدها) در واحد سطح برگ می‌گردد و سرانجام، سبب افزایش سنتز کلروفیل می‌شوند. کاربرد ۶۰ درصد بقایای گیاهی و ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم باعث افزایش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی گردید. افزایش هرگونه بقایای گیاهی سبب تحریک شدید فعالیت میکروبی و بهبود وضعیت توده زنده میکروبی و افزایش قابلیت دسترسی غذایی می‌گردد که این بستگی به نوع و کیفیت بقایای گیاهی دارد. با توجه به نقش ساختاری نیتروژن در ملکول کلروفیل و اینکه نیتروژن جزء اصلی ترکیبات پروتئینی اعم از آنزیم‌ها، تنظیم‌کننده‌های اسمزی، هورمون‌ها و دیگر ترکیبات سلولی به حساب می‌آید، بنابراین افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در نتیجه افزایش مصرف بقایای گیاهی حاوی نیتروژن، منطقی است (Khan, 1995). افزایش جذب پتاسیم، باعث تأثیر مثبت در فتوسنتز، افزایش میزان رشد و شاخص سطح برگ، تقویت سنتز ATP و NADPH، افزایش سنتز کلروفیل a و b، سنتز بیشتر پروتئین و ترکیبات پلی‌مری، تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها، افزایش جذب آب و به‌وجود آوردن شرایط داخلی مناسب از طریق تنظیم فشار اسمزی می‌گردد (Sakinejad et al., 2003). پتاسیم سبب حفظ نفوذپذیری غشاءهای سلولی و افزایش کارایی فتوسیستم II و همچنین افزایش میزان کلروفیل برگ می‌گردد (Akram, 2006). راشکی و پیری (Rashki & Piri, 2021) بیان داشتند، بیش‌ترین مقدار کلروفیل a (۲۹/۱۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، کلروفیل b (۲۱/۶۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کاروتنوئید (۰/۳۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در گیاه چای ترش از تیمار ۱۰۰ درصد مصرف کود پتاسیم به‌دست آمد.

مقدار آنتوسیانین: مقدار آنتوسیانین به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نظام‌های خاک‌ورزی، سولفات پتاسیم و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۲).

مقایسه میانگین برهم‌کنش نظام‌های خاک‌ورزی توأم با مدیریت بقایای گیاهی و کاربرد سولفات پتاسیم حکایت از آن دارد که تیمار خاک‌ورزی متداول همراه با ۳۰ درصد بقایای گیاهی و ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم مناسب‌ترین تیمار است و میزان آنتوسیانین موجود در این تیمار (۰/۴۱۴ میکرو مول بر گرم وزن تر) نسبت به شاهد (۰/۱۰۰ میکرو مول بر گرم وزن تر) بیش از ۱۰۰ درصد افزایش داشته است (جدول ۳).

طبق نتایج، نظام خاک‌ورزی متداول نقش مثبتی در افزایش مقدار آنتوسیانین کاسبرگ چای ترش دارد. آنتوسیانین‌ها رنگیزه‌های محلول

در آب هستند که متعلق به خانواده فلاونوئیدها می‌باشند. استفاده از خاک‌ورزی متداول، باعث بالا رفتن فعالیت‌های میکروبی خاک و افزایش آنتوسیانین شد. کاربرد بقایای گیاهی و میزان مناسب پتاسیم نیز مقدار آنتوسیانین را افزایش داد. با افزایش پتاسیم در انگور میزان آنتوسیانین‌ها افزایش می‌یابد (Delgado et al., 2004). آنتوسیانین‌ها بسیار ناپایدار بوده و تحت تأثیر برخی عامل‌ها از جمله قندها و عنصرهای غذایی، پایداری آن افزایش می‌یابد، از آنجا که پتاسیم از راه تأثیر و تنظیم فشار اسمزی موجب افزایش قندها و انتقال بهتر عنصرها به نقاط مختلف گیاه می‌شود، هنگامی که میزان پتاسیم افزایش یابد، میزان قند بالا رفته و در نتیجه، مقدار آنتوسیانین افزایش می‌یابد (Ferancis, 1989). در مورد علت افزایش ترکیبات فنولی در اثر پتاسیم می‌توان گفت که پتاسیم رشد گیاه را افزایش داده و در نتیجه، باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی می‌شود و به‌علت تخصیص کربن اضافی به مسیر شیکمیک اسید موجب افزایش ترکیبات فنلی می‌شود (Nguyen et al., 2010).

مقدار فلاونوئید: نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده معنی‌دار بودن تأثیر نظام‌های خاک‌ورزی توأم با مدیریت بقایای گیاهی و برهم‌کنش آن‌ها بر مقدار فلاونوئید موجود در سرشاخه‌های جوان چای ترش در سطح یک درصد آماری بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌های برهم‌کنش تیمارها بیانگر این بود که کاربرد هم‌زمان تیمار بدون خاک‌ورزی با صفر درصد بقایای گیاهی و پتاسیم بهترین اثر را بر مقدار فلاونوئیدها داشت (جدول ۳). این مقدار (۱۹/۰۸میلی‌گرم گلوکز بر گرم وزن تر نمونه) بوده است.

گیاهان دارویی به‌عنوان یک منبع بالقوه از آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی از جمله فلاونوئیدها و اسیدهای فنولی از توانایی بسیار خوبی به‌عنوان جاروب‌کننده رادیکال‌های سوپراکسید، آنتی‌اکسیدانی، ضد التهابی، ضد پیری و کاهش‌دهنده ابتلاء به سرطان محسوب می‌شوند. فلاونوئیدهای گیاهان مسئول کاهش فشار خون، خاصیت ضد التهابی و ضد ویروسی نیز هستند (Sathishkumar et al., 2008). از لحاظ میزان فلاونوئیدها، چای یکی از غنی‌ترین گیاهان می‌باشد (Chaturvedula et al., 2011). تحقیقات نشان داده است که میزان مواد مؤثره در اندام‌ها و گیاهان هیچ‌گاه ثابت نیست و متناسب با مراحل رشد گیاه و شرایط محیطی قابل تغییر است. همچنین گزارش شده است که شرایط محیطی مختلف مانند ویژگی‌های اقلیمی، تغییرات فصلی و شرایط خاک، دما، نور و رطوبت می‌تواند ترکیب‌های ساپونینی گیاهان را نیز تحت تأثیر قرار دهد (Miranda et al., 2012).

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش بیانگر آن است که کاربرد تلفیقی نظام‌های خاک‌ورزی توأم با مدیریت بقایای گیاهی و کاربرد سولفات پتاسیم برتری قابل توجهی نسبت به کاربرد جداگانه هر یک از آن‌ها داشت. بیشترین مقدار عملکرد اقتصادی کاسبرگ چای ترش در نظام خاک‌ورزی کاهشی، حفظ ۶۰ درصد بقایای گیاهی و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به‌دست آمد، بالاترین میزان آنتوسیانین کاسبرگ از تیمار خاک‌ورزی متداول و حفظ ۳۰ درصد بقایای گیاهی و ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم حاصل گردید. نتایج نشان داد که کاربرد نظام‌های کم خاک‌ورزی و خاک‌ورزی متداول توأم با مدیریت بقایای گیاهی (۶۰ و ۳۰ درصد) و کاربرد کود پتاسیم (۱۵۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار) در افزایش عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژیک چای ترش نقش مؤثری ایفا می‌کند. به‌طور کلی، با توجه به آنچه در مورد عملکرد گیاهان مورد بررسی مشاهده شد، نظام کم خاک‌ورزی و تیمار ۶۰ درصد بقایای گیاهی و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم توصیه می‌شود. از آنجایی که سیستان منطقه‌ای مناسب جهت رشد چای ترش می‌باشد و با توجه به اهمیت دارویی این گیاه، پیشنهاد می‌گردد، تحقیقات بیش‌تری در زمینه کاشت این گیاه در منطقه انجام گیرد.

Refrences

Abou El-Magd, M.M., Zaki, M.F., and Camilia, Y., 2010. Effect of planting dates and different levels of potassium fertilizers on growth, yield and chemical composition of sweet fennel cultivars under newly reclaimed sandy soil conditions. American Science 6(7): 89-106.

Adeli, A., Neshat, A., Naghavi, H., and Irandoost, M., 2011. Investigation of the effect of application of different amounts of potassium sulfate fertilizer on biological and economic performance of barley. Fifth National

Conference on Watershed Management and Land and Water Resources Management. 10 March, Kerman, Iran. (In Persian)

Ahmadi, M., and Bahrani, M.J., 2009. Yield and yield component of rapeseed as influenced by water stress at different growth stage and nitrogen levels. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science (5): 755-761.

Akanbi, W.B., Oaniyn, A.B., Togum, A.O., Ilupeju, A.E.O., and Olairan, O.A., 2009. The effect of organic fertilizer on growth, calyx yield and quality of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). Amrican-Eurasian Journal of Sustainable Agricalture 3(4): 652-657.

Akram, M.S., 2006. Influence of exogenously applied K from different sources on sunflower under salt stress. University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan.

Amini, A., Rajaei, M., and Farsi Nejad, K., 2014. The effect of different tillage methods and crop residue management on yield and yield components of wheat. Plant Ecophysiology 6(16): 27-37. (In Persian with English Summary)

Anonymous (C), 2014. Hormozgan Agricultural Jahad Organization, Iran. Available at: www.Sb-agrijahad.ir (In Persian)

Araya, T., Cornelis, W.M., Nyssen, J., Govaerts, B., Getnet, F., Bauer, H., Amare, K., Raes, D., Haile, M., and Deckers, J., 2012. Medium-term effects of conservation agriculture based cropping systems for sustainable soil and water management and crop productivity in the Ethiopian highlands. Field Crops Research 132: 53-62. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.009

Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal 23: 112-121.

Asghari, G., Karimi, A., and Pourmohammad, A.R., 2013. The effect of different effects of tillage planting on soil moisture and safflower efficiency in alternate with dry wheat. Knowledge of Water and Damage 23(1): 237-245.

Aykas, E., and Onal, I., 2004. Effects of different tillage techniques on cotton yield and quality. Asian Journal of Plant Science 3: 403-405. 10.3923/ajps.2004.403.405

Azad Shahraki, F., Naghavi, H., and Najafi Nejad, H., 2010. Effects of tillage systems and wheat residue management on Soil characteristics and yield of maize in Kerman. Journal of Modern Agriculture 8(19): 2-9. (In Persian with English Summary)

Bolie, F., Rubio, R., Rouanet, J.L., Morales, A., and Rojas, C., 2006. Effects of tillage systems on soil characteristics, glomalin and mycorrhizal propagules in achilean ulti Sol. Soil and Tillage Research 8: 253-261.

Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Annal Biochemistery 72: 248-254.

Buman, R.A., Alesi, B.A., Bardley, J.F., Hatfield, J.L., and Karlen, D.L., 2005. Profit and yield of tillage in cotton production system. Journal of Soil and Water Conservation 60: 235-242

Busari, M.A., Kukal, S.S., Kaur, A., Bhatt, R., and Dulazi, A.A., 2015. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. International Soil and Water Conservation Research 3(2): 119-129. https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.05.002

Cavalaris, C.K., and Gemtos, T.A., 2002. Evaluation of four conservation tillage methods in the sugar beet crop. Agricultural Engineering International: The CIGR Journal of Scientific Research and Development 4: 1-24.

Chang, C.C, Yang, M.H., Wen, H.M., and Chern, J.C., 2002. Estmation of total flavonoid content in proplis by two complementary colorimetric methods. Food Drug Analysis Journal 10: 178-182.

Chaturvedula, V.S., and Prakash, I., 2011. The aroma, taste, color and bioactive constituents of tea. Journal of Medicinal Plants Research 5(11): 24-2110.

Cook, R.J., and Hauguland, W.A., 1991. Wheat yield depressing associated with conservation tillage caused by root pathogens in the soil, hot phytotoxins from the straw. Soil Biology and Biochemistry 23: 1125-1133.

Crabtree, R.J., and Rupp, R.N., 1980. Double and mono-cropped wheat and soybeans under different tillage and row spacing. Agronomy Journal (27): 445-448. https://doi.org/10.2134/agronj1980.00021962007200030009x

Delgado, R., Matin, P., Alamo, M., and Gonzalez, M.R., 2004. Changes in the phenolic composition of grape berries during ripening in relation to vineyard nitrogen and potassium fertilization rates. Journal of Science of Food and Agriculture 84: 623-630. 10.1002/jsfa.1685

De Vita, P., Di Paolo, E., Fecondo, G., Di Fonzo, N., and Pisante, M., 2007. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. Soil and Tillage Research 92: 69-78. 10.1016/j.still.2006.01.012

Emam, Y., Kheradnam, M., Bahrani, M.J., Asas, M.T., and Ghadiri, H., 2000. The effect of residus management on the grain yield and its components of winter wheat in continuous irrigated wheat cropping. Iranian Journal of Agricultural Science 31: 839-850. (In Persian with English Summary)

Fagbenro, O.A., 2005. Soybean meal substitution with Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seed meal in dry practical diets for fingerlings of the African catfish, Clarias gariepinus. Journal of Animals and Veterinary Advances (4): 473-477.

Faraji, M., and Tarkhani, A., 1999. The effect of sour tea (*Hibiscus sabdariffa* L.) on essential hypertention. Journal of Ethnopharmacology 65: 231-236.

Ferancis, F.J., 1989. Food colorants: anthocyanin crit rev. Food Science and Nutrition 28(4): 273-314.

Gadermaier, F., Berner, A., Fliebach, A., Friedel, J.K., and Mader, P., 2011. Impact of reduced tillage on soil organic carbon and nutrient budgets under organic farming. Renew Agriculture and Food Systems 1-13.

Ganjali, H., Kamali Deljo, A., and Aziziyan Sherme, A., 2016. Growth characteristics and performance of roselle at different levels nitrogen, phosphor and potassium in Saravan weather conditions. Ecology of Plants 13(1): 29-37. (In Persian with English Summary)

Ghahramanyan, G.R., Ayvazi, A.R., and Noorjo, A., 2010. Effects of tillage systems and wheat residue management on the impact on water, soil physical characteristics, quality and quantity of sugar beet. Journal of Engineering Research Agriculture 11(1): 35-48. (In Persian with English Summary)

Ghanbaryan Alavijeh, H.Z., Chenarbon, H.A., Zand, B., and Hamidi, M., 2014. Effects of different tillage methods on soil physical properties, grain and forage yield of two cultivars maize. Academia Journal of Agricultural Research 2(1): 008-015.

Horvath, E., Szalai, G., and Janda, T., 2007. Induction of Abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. Plant Agronomy 26: 290 -300.

Houdiani Mehr, A., Dahmardeh, M., Khamari, A., and Asgharipour, M.R., 2016. Evaluation of tillage systems on agronomic aspects of mixed cultivation of sour roselle (*Hibiscus Sabdariffa* L.) and mung bean (*Vigna radiate*) in replacement series. Iranian Crop Science 47(2): 265-276.

Ibramhim, R.S., Miko, H., and Altheac, M., 1998. Effect of N.P.K fertilization on the yield of roselle in *Glycine max*, *Glycine soja* cross. Canadian Journal of Plant Science 62: 293-298.

Jat, R.A., Wani, S.P., and Sahrawat, K.L., 2012. Conservation agriculture in the semi-arid tropics: Prospects and problems. Advances in Agronomy 117: 191-237.

Katsvairo, T., Cox, W.J., and Van, E.H., 2002. Tillage and rotation effects on soil physical characteristics. Agronomy Journal 94: 299-304. https://doi.org/10.2134/agronj2002.2990

Khan, M.G., Silberbush, M., and Lips, S.H., 1995. Physiological studies on salinity and nitrogen interaction in alfalfa plants: III. Nitrate reductase activity. Journal of Plant Nutrition 18: 2495-2500. https://doi.org/10.1080/01904169509365079

Kumar, A., and Singh, A., 2012. Review on (*Hibiscus rosa*) sinensis. International Journal of Research in Pharmaceutical and Biomedical Sciences 3(2): 533-538.

Kumar, J., Arya, K.C., and Sidduqe, M.Z., 2011. Effect of foliar application of KNO_3 on growth, yield attributes, yield and economics of hirsutum cotton. Journal of Cotton Research Development 25(1): 122-123.

LaI, R., and Bruce, J.P., 1999. The potential of world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. Environmental Science and Policy 2: 177-185.

Larson, W.E., Pierce, F.J., and Dowdy, R.H., 1983. The threat of soil erosion to long-term. Crop Production Science, 219: 458-465.

Miranda, M., Vega-Gálvez, A., Martinez, E., López, J., Rodríguez, M. J., Henríquez, K., and Fuentes, F., 2012. Genetic diversity and comparison of physicochemical and nutritional characteristics of six quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) genotypes cultivated in Chile. Ciênc. Tecnol. Aliment., 32 (4): 835-843.

Mohammadi, K., Nabi Allahi, K., Aghaalikhani, M., and Khoormali, F., 2009. Study on the effect of different tillage methods on the soil physical properties, yield and yield components of rainfed wheat. Journal of Plant Production 16 (4): 77-91. (In Persian with English Summary)

Montemuro, F., Maiorana, M., Ferri, D., and Convertini, G., 2006. Nitrogen indicators, uptake and utilization efficiency in a maize and barley rotation cropped at different levels and source of N fertilization. Field Crops Research 99: 114-124. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.04.001

Morrison, M., Mcretty, P., and Scarth, R., 2000. Effect of altering plant density on growth characteristics of summer

rape. Can. Journal Plant Science 70: 139-149. https://doi.org/10.04144/cjps90-016
Morton, J.F., 1987. Fruits of Warm Climates. Technology and Engineering, 505 p.
Mukhtar, M.A., 2007. The effect of feeding Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) seed on broiler chick`s performance. Research Journal of Animal and Veterinary Sciences 2(13): 21-23.
Nguyen, P.M., Kwee, E.M., and Niemeyer, E.D., 2010. Potassium rate alters the antioxidant capacity and phenolic concenteration of basil (*Ocimum basilicum* L.) Leaves. Food Chemistry 123: 1235-1241.
Pahlavan, M., Forghani, A., and Kiekha, A., 2006. Preparation of Sistan plain partiality numerical map annual. Final Project Report, Agricultural and Natural Resources Research Center of Sistan: Zabol, Iran. (In Persian with English Summary)
Parsa Motlagh, B., Rezvani Moghadam, P., Ghorbani, R., and Azami Sardooei, Z., 2016. Studying of ecophysiological, morphological, phytochemical, nutritional and agronomical aspects of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as a medicinal plant in Jiroft area. Ph.D. Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. 36 p. (In Persian with English Summary)
Perry, L.M., 1980. Medicinal plants of east and Southeast Asia: Attributed Properties and Uses. MIT Press, Cambridge, 620 p.
Piggin, C., Haddad, A., and Khalil, Y., 2011. Development and promotion of zero tillage in Iraq and Syria. 5thWorld Congress of Conservation Agriculture incorporating 3rd Farming Systems Design Conference, September 2011 Brisbane, Australia. www.wcca2011.org.
Prtokhazemi, A., Delkhosh, B., and Mohseni, M., 2011. Effect of different tillage methods and plant density on quantitative and qualitative characteristics of varieties of corn. Journal of Plants and Ecosystems 33(8): 105-115. (In Persian)
Pushpa, D., Aggarwal, A., and Gupta, S.R., 2014. Carbon, accumulation, nitrogen uptake and mycorrhizal root colonization in a tropical rice-wheat system in Northern India. India Journal Science 11: 21-31.
Rashki, P., and Piri, H., 2021. The effect of different levels of potassium fertilizer and irrigation water on physiological characteristics and yield of sour roselle (*Hibiscus Sabdariffa* L.). Iranian Journal of Irrigation and Drainage 14(6): 2136-2147.
Sabeghi Nejad, F., Dahmardeh, M., Asgharipour, M.R., Khamari, A., and Nezami, Z., 2019. Evaluation of the effect of tillage systems on crop rotations of late cultivation of sour roselle (*Hibiscus Sabdariffa* L.) and soybean (*Glycine max* L.). Agricultural Ecology 11(3): 1085-1104.
Safari, A., Asoder, M., Ghaseminejad, M., and Ebdali Mashhadi, A., 2013. The effect of redidus, various methods of tillage system and pon soil characteristics and yield of wheat. Journal of Agricultural Knowledge Sustainable Production 23(2): 50-59. (In Persian with English Summary)
Sakinejad, T., 2003. Study of effect of water deficit on the trend of uptake of N, P, K and Na at different growth stages considering the morphological and physiological traits of maize in Ahvaz climate. Ph.D. Thesis on Crop Physiology, Science and Research Branch, Ahvaz, Iran. pp. 288. (In Persian with English Summary)
Sathishkumar, T., Baskar, R., Shanmugam, S., Rajasekaran, P., Sadasivam, S., and Manikandan, V., 2008. Optimization of flavonoids extraction from the leaves of *Tabernaemontana heyneana* wall using L16 orthogonal design. Nature and Science 6(3): 10-21.
Thrugnanavel, A., Amutha, R., Baby Rani, W., Indira, K., Mareeswari, P., Muthulaksmi, S., and Parthiban, S., 2007. Studies regulation of flowering in acid lime (*Citrus aurantifoila* swingle.). Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 3(4): 239-241.
Wagner, G.J., 1979. Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutralsugars, free amino acids and anthocyanins in protoplasts. Plant Physiology 64: 88-93.
Wozniak, A., Wesolowski, M., Soroka, M., 2015. Effect of long-term reduced tillage on grain yield, grain quality and weed infestation of spring wheat. Journal of Agriculture Science and Technology 17: 899-908.
Yalcin, I., Unay, A., and Ucucu, R., 2004. Effects of reduced tillage and planting systems on seed cotton yield and quality. Turk. J. Agric. For. 29: 401-407.
Zakeri, H., and Kazemi, N., 2006. Tillage systems in sustainable agriculture (Translation). University of Ilam Press, Iran. 243 p. (In Persian)

Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

CC BY

Research Article
Vol. 14, No. 4, Winter 2023, p. 649-669

Effect of Biochar, Nitrogen Fertilizer and *Azospirillum lipofrom* on Nitrogen Use Efficiency Indices of Rice Plant in Flooded and Alternation Irrigation

Mohammad Kaveh[1], Mohammad Ali Esmaeli[2], Hematollah Pirdashti[3*] and Mohammad Reza Ardakani[4]

Received: 17-10-2020
Revised: 16-07-2021
Accepted: 24-07-2021
Available Online: 24-07-2021

How to cite this article:
Kaveh, M., Esmaeli, M.A., Pirdashti, H.A., and Ardakani, M.R., 2023. Effect of biochar, nitrogen fertilizer and *Azospirillum lipofrom* on nitrogen use efficiency indices of rice plant in flooded and alternation irrigation. Journal of Agroecology 14(4): 649-669.
DOI: 10.22067/agry.2021.20321.0

Introduction

Nitrogen (N), an essential nutrient for growth and development of plants, is added to agricultural fields to boost crop yields, however, its applications limited in the aquatic ecosystems due to leaching. Accordingly, accelerated surface water eutrophication, and public health issues due to consumption of contaminated groundwater have been linked to enrichment of excess use of N that can be lost to the environment through leaching to the groundwater. These losses can be reduced by adoption of appropriate methods or best management practices, that increase the accessibility of N for plant use, enhance plants' N uptake ability, and match nutrient applications with agronomic needs. Thus, improving N use efficiency through a combination of agronomic and soil management methods is critical for crop profitability and environmental management.

One way to improve the efficiency of nitrogen fertilizer application and reduce its losses is the simultaneous use of organic and biological fertilizers along with chemical fertilizers. There are several ways to increase soil organic matter, but the most of these materials are not resistant to microbial decomposition and decompose quickly and lost from the soil. Biochar is one of the types of organic fertilizers, which is resistant to microbial decomposition.

Biochar can affect chemical and biological N reactions in the soils. Biochar increase nitrogen use efficiency (NUE), influence nitrification rates and adsorption of ammonia, and improve NH^{+} accumulation by enhancing cation exchange capacity in soils.

Nitration of groundwater due to improper use of chemical fertilizers and high leaching of nitrogen fertilizers and also low efficiency of nitrogen application in flood irrigation of rice, indicates the need for alternate management methods in rice cultivation, including changing irrigation methods and fertilizers types. The use of biochar fertilizer along with nitrogen-fixing bacteria in rice irrigation rotation can be a good solution to reduce the mentioned problems.

Materials and Methods

This research was conducted at the research fields of the Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU) in 2017. The experimental site is located at 36º 39′42″ N latitude and 53º03′54″ E longitude with -11 m above sea level. Soil samples were taken from depths of 0-30 cm before land preparation. The

---

1- Ph.D. Student of Agronomy, Department of Agriculture, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran.
2- Associate Professor of Agronomy, Department of Agriculture, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran.
3- Professor of Agronomy, Department of Agriculture, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran.
4- Professor of Agronomy, Department of Agronomy, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.
(*- Corresponding author's Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir)

experiment was done in split split plot arrangement based a complete randomized blocks design with three replications. Two irrigation regimes (flooding and irrigation regimes) was the main plot. Nine fertilizers levels (100% of recommended nitrogen or N100, N100+ 10 ton biochar or biochar 10, N100+ biochar 20, N75, N75+ biochar 10, N100+ biochar 20, N50, N50+ biochar 10 and N100+ biochar 20) and seedling inoculation with *Azospirillum lipoferum* (without inoculation was also included as control) were sub and sub sub plots, respectively.

Results and Discussion

Results showed that biochar and nitrogen fertilizers, irrigation methods and also seedling inoculation with bacteria had significant effects on NUE, the amount of nitrogen and protein in the rice grains. Mean comparison of combination effects showed that consumption of 20 tons of biochar along with N50 or N75 had the greatest effect on NUE and the amount of nitrogen and protein in the grain, and the lowest amount of these traits was recorded in plots with N100 and no application of biochar. On the other hand, the highest level of nitrogen efficiency indices was obtained when 20 tons of biochar applied with N50 or N75 while the lowest amount of nitrogen use efficiency indices was obtained by using N100 and no biochar consumption.

Conclusion

It seems that biochar improves nitrogen uptake by the rice plant by maintaining nitrogen in the soil and consequently increases the concentration of nitrogen in the grains and rice plants organs. There was no similar trend for effect of biochar on nitrogen uptake when fertilizer application rates increased.

Keywords: Agronomical management, Grain nitrogen concentration, Nitrogen productivity, Organic and biological fertilizers.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

اثر بایوچار،کود نیتروژن و باکتری *آزوسپیریلوم لیپوفروم* بر شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن گیاه برنج در شرایط آبیاری غرقاب و متناوب

محمد کاوه[1]، محمدعلی اسماعیلی[2]، همت‌الله پیردشتی[3*] و محمدرضا اردکانی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۲

کاوه، م.، اسماعیلی، م.ع.، پیردشتی، ه.ا.، و اردکانی، م.ر. ۱۴۰۱. اثر بایوچار،کود نیتروژن و باکتری *آزوسپیریلوم لیپوفروم* بر شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن گیاه برنج در شرایط آبیاری غرقاب و متناوب. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۴): ۶۶۹-۶۴۹.

چکیده

نیتروژن، یک عنصر ضروری برای گیاهان می‌باشد، به‌منظور بررسی شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن برنج در تلفیق با بایوچار، باکتری *آزوسپیریلوم لیپوفروم* و نیتروژن در شرایط آبیاری غرقابی و تناوبی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در شهر ساری در سال ۱۳۹۶ انجام گرفت. عامل اصلی، روش آبیاری در دو سطح آبیاری غرقاب و تناوبی و عامل فرعی تیمار کودی در نه سطح، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیتروژن به‌همراه صفر، ۱۰ و ۲۰ تن بایوچار در هکتار و عامل فرعی-فرعی، باکتری *آزوسپیریلوم لیپوفروم* در دو سطح بدون مایه‌زنی و مایه‌زنی با گیاهچه بود. نتایج نشان داد، بایوچار و نیتروژن، روش‌های آبیاری و باکتری تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن داشتند. کاربرد ۲۰ تن بایوچار به‌همراه ۵۰ درصد نیتروژن و با مصرف باکتری توانست موجب افزایش معنی دار بهره‌وری نسبی نیتروژن (به‌ترتیب ۸۴/۵۴ و ۶۸/۵ کیلوگرم دانه بیشتری در ازای مصرف نیتروژن در آبیاری غرقاب و تناوبی) نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن + بدون مصرف بایوچار و باکتری شود. در نتیجه مصرف هم‌زمان کود آلی و زیستی همراه با کود نیتروژن، قابلیت دسترسی و جذب نیتروژن را در مراحل مختلف رشد گیاه افزایش داده و در پی آن، سبب بهبود شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن می‌شود. امّا، این اثر بایوچار بر حفظ نیتروژن در خاک، با میزان مصرف کود نیتروژن با یک نرخ افزایش نمی‌یابد. در مقایسه با شرایط غرقابی، به‌کارگیری باکتری در آبیاری تناوبی تأثیر معنی‌داری بر جذب و بهبود شاخص‌های کارایی نیتروژن نداشت.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری نیتروژن، غلظت نیتروژن دانه، کودهای آلی و زیستی، مدیریت زراعی

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران.
۲- دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران.
۳- استاد گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران.
۴- استاد گروه زراعت، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2021.20321.0

مقدمه

برآورد شده است که تا سال ۲۰۵۰، تقاضای جهانی برای برنج (*Oryza sativa* L.) دو برابر خواهد شد، در نتیجه میزان تولید فعلی باید سالیانه ۲/۴ درصد افزایش یابد تا نیاز غذایی جمعیت رو به رشد تأمین شود (Ray et al., 2013). نیتروژن یکی از مهم‌ترین عوامل کلیدی در تولید برنج است و نقش مهمی در افزایش عملکرد دانه ایفا می‌کند (Hofmeier et al., 2015). نیتروژن مهم‌ترین عنصر محدودکننده تولیدات زراعی است و به‌همین علت نیز به‌صورت کودهای شیمیایی در سطح وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرد (Semenov, 2007). در طول پنج دهه گذشته، مصرف جهانی نیتروژن تقریباً هشت برابر افزایش پیدا کرده است (Wu et al., 2016)و پیش‌بینی می‌شود که مصرف کودهای نیتروژنی در سراسر جهان تا سال ۲۰۳۰ به حدود ۱۴۲ میلیون تن (۳۷/۵ درصد افزایش نسبت به حال حاضر) برسد (Motesharezadeh et al., 2017). در ایران متأسفانه اطلاعات چندانی درباره میزان کارایی مصرف نیتروژن در مقیاس بزرگ برای غلات مانند گندم (*Triticum aestivum* L.)، جو، ذرت (*Zea mays* L.) و برنج (*Oryza sativa* L.) وجود ندارد، امّا از میزان متوسط عملکرد غلات به متوسط کود نیتروژنی مصرفی در ایران، بهره‌وری ناخالص نیتروژن طی ۱۰ سال مورد مطالعه، ۳۸ کیلوگرم در کیلوگرم بوده که از میانگین جهانی کمتراست - (Keshavarz, 2013).

تولید روز افزون کودهای شیمیایی در سراسر جهان از مهم‌ترین منابع افزایش نیتروژن در زمین است. منابع آلی و غیر آلی نیتروژن طی فرآیندهای معدنی شدن، هیدرولیز و نیتریفیکاسیون به نیترات تبدیل می‌شوند (Fields, 2004). در یک گزارش، میزان هدررفت نیتروژن از شالیزاری برنج بین ۲۷ تا ۳۵ کیلوگرم در هکتار عنوان شده است (Moallim et al., 2018). تحقیقات نشان داده است که در مناطق با ورودی نیتروژن بالا و خاک‌های با زه‌کشی خوب، آب‌های زیرزمینی در معرض خطر تجمع نیترات می‌باشند Nolan et al., 2002(Ri-Feng et al., 2014 ;). آب‌شویی و هدررفت املاح مختلف نیتروژن‌دار منجر به پایین آمدن کارایی کودهای نیتروژنی در تولید محصولات زراعی می‌شود، بهبود کارآیی مصرف نیتروژن یک راهبرد کلیدی جهت پیشرفت سیستم‌های کشاورزی پایدار است که منجر به رسیدن به حداکثر عمل‌کرد در ازای مصرف حداقل نهاده‌ها و هدررفت نیتروژن می‌شود (Sharpe, 2001). افزایش مصرف کود نیتروژن با کاهش کارایی مصرف نیتروژن[1] همراه خواهد بود (Hussain et al., 2018). بخش زیادی از نیتروژن مصرف شده از طریق کود شیمیایی در سیستم خاک–گیاه تلف می‌شود. کارایی پایین مصرف نیتروژن در برنج غرقابی به تلفات نیتروژن در اثر آب‌شویی، تصعید آمونیاک و دنیتریفیکاسیون مربوط است. این موضوع نه تنها هزینه‌های تولید محصول را افزایش می‌دهد، بلکه باعث تهدید سلامتی انسان و پایداری زیست‌بوم‌های طبیعی می‌شود. بنابراین، بهبود مصرف نیتروژن در تولید برنج، مزایای اقتصادی و زیست محیطی قابل‌توجهی برای کشاورزی درپی خواهد داشت (Fageria & Santos, 2018).

کارایی مصرف نیتروژن در برنج عموماً پایین و در گستره جهانی بین ۲۵ تا ۴۵ درصد و به‌طور متوسط حدود ۳۵ درصد است (Guang et al., 2017) رویکردهای مدیریت نیتروژن مانند مقدار و زمان مناسب مصرف کود (Roberts, 2008) روش مناسب مصرف کود، جای‌گذاری عمقی کودهای نیتروژنی (Redfern et al., 2013) و استفاده از انواع اصلاح شده کود اوره و کودهای کندرها (Xina et al., 2017)، کودهای نانو (Agrawal & Rathore, 2014)، استفاده از قابلیت باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (Ghaffari et al., 2018) و راهبردهای مبتنی بر ماده آلی خاک و گیاه (Prasad & Mailapalli, 2018)از جمله گزینه‌های افزایش کارایی مصرف نیتروژن هستند.

یکی از راه‌های بهبود کارآیی مصرف کودهای نیتروژنه و کاهش تلفات آن، مصرف همزمان کودهای آلی و زیستی با کودهای شیمیایی است. کودهای آلی قادرند علاوه‌بر تأمین بخشی از مواد غذایی مورد نیاز گیاه (Turgut et al., 2005) سبب بهبود رشد و عملکرد گیاه شوند (Kramer et al., 2002). کود دامی حاوی مقادیر قابل‌توجهی عناصر غذایی است که حفظ این عناصر غذایی از هنگام تولید تا زیر خاک بردن آن‌ها، هم از جهت زیست‌محیطی (Moradi & Aminian, 2012) و هم از جهت اقتصادی مهم است. کاربرد کودهای آلی در نظام‌های زراعی می‌تواند ماده آلی خاک را افزایش دهد که خود ممکن است سبب افزایش کارآیی مصرف نیتروژن برای گیاهان زراعی شود (Kamkar et al., 2011). به‌منظور حل این

1- Nitrogen Use Efficiency, NUE

مشکل، ایجاد شرایطی برای حفظ نیتروژن در لایه سطحی خاک، استفاده از کودهای کنترل‌رهش (کنترل‌کننده رهایش) (Gentile et al., 2009) و یا افزایش سطوح جاذب املاح در خاک (Moradi & Aminian, 2012) مورد توجه پژوهش‌گران می‌باشد. چگونگی تأثیر کودهای کنترل‌رهش[1] بر کاهش آبشویی در شرایط آبشویی شدید به‌خوبی شناخته شده نیست، ولی استفاده از بایوچار به‌عنوان افزایش دهنده سطوح جاذب می‌تواند نقش به‌سزایی در این زمینه ایفا کند (Hollister et al., 2013; Zhang et al., 2014).

بایوچار ماده جامد سیاه‌رنگ غنی از کربن پایدار می‌باشد که در نتیجه سوزاندن مواد آلی در شرایط بدون اکسیژن و یا اکسیژن کم، در دمای کمتر از ۷۰۰ درجه سلسیوس تولید می‌شود (Lehmann et al., 2003). افزودن بایوچار به خاک به‌دلیل داشتن کربن آلی و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه باعث بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک (Busscher et al., 2007) و در پی آن، منجر به افزایش تولید محصول می‌شود (Lehmann, 2007). بایوچار نسبت به سایر مواد آلی خاک دارای سطح ویژه و بار منفی بیش‌تری می‌باشد که منجر به ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) زیاد و افزایش جذب و نگه‌داری انواع ترکیب‌های آلی و معدنی می‌شود (Liang et al., 2006)، به‌طوری که مطالعات نشان می‌دهد بایوچار می‌تواند CEC را تا ۵۰ درصد افزایش (Lehmann et al., 2003) و با افزایش CEC خاک از شستشوی عناصر غذایی جلوگیری کرده و فراهمی آن‌ها را برای گیاه افزایش دهد. بایوچار با تأثیر مثبت بر کارایی مصرف منابع و نهاده‌های کشاورزی و عملکرد گیاهان زراعی به‌دلیل چگالی سطحی بالا در بهبود کارایی تولیدات زراعی (Chan et al., 2008) و کاهش هدررفت نیتروژن (دنیتریفیکاسیون) و در نتیجه، جذب بیشتر نیتروژن تأثیر به‌سزایی دارد (Van Zwieten et al., 2009). تحقیقات نشان می‌دهد که با افزودن بایوچار در مقادیر زیاد (۱۰ یا ۲۰ درصد جرمی) به خاک، می‌توان به‌طور مؤثر از آبشویی یون‌هایی مانند آمونیوم از خاک جلوگیری کرد، امّا این اثر، به نوع بایوچار و خاک و هم‌چنین زمان تماس آن دو بستگی دارد (Lehmann et al., 2003). در تحقیقی، تأثیر بایوچار بر خصوصیات خاک و جذب عناصر غذایی توسط کاهو را مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد، بایوچار موجب افزایش pH، قابلیت هدایت الکتریکی، کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس، ظرفیت تبادل کاتیونی و بازهای تبادلی می‌گردد (Nigussie, 2012).

بایوچار، همانند دیگر اصلاح‌کننده‌های آلی خاک، با تغییر شرایط فیزیکی و فرآیندهای شیمیایی خاک (Herath et al., 2013; Eastman, 2011) موجب بهبود خصوصیات و رفتارهای جانداران خاک (Mastoet et al., 2013) و در نتیجه، بهتر شدن و رشد و عمل‌کرد گیاه می‌شود (Paz-Ferreiro et al., 2014)، تحقیقات مختلف نشان داده است که افزودن بایوچار به خاک باعث بهبود فعالیت میکروبی خاک می‌شود (Pietikainen et al., 2000; Krull et al., 2009). بایوچار به‌عنوان ماده‌ی اضافه‌شده به خاک، توانایی تحریک ریزجانداران مفید و بهبود فعالیت میکروبی خاک را داراست - (Warnock et al., 2007; Lehmann & Joseph, 2009)، سطوح بایوچار به‌علت جذب عناصر غذایی می‌تواند محیط مناسبی برای ریزجانداران خاک‌زی باشد (Pietikainen et al., 2000).

کودهای زیستی، کودهای طبیعی هستند که شامل باکتری‌ها (*آزوسپیریلوم و ازتوباکتر*)، قارچها (میکوریزا)، جلبک‌ها (جلبک‌های سبز- آبی) و غیره می‌باشند که نقش مهمی را در تغذیه گیاه و سلامت خاک بر عهده دارند (Board, 2004). از جمله این کودهای زیستی، باکتری‌های *آزوسپیریلوم* می‌باشند که به‌دلیل پراکنش وسیع جغرافیایی، گستردگی دامنه گیاهان میزبان و به‌ویژه توان برقراری ارتباط همیاری با گیاهان مهم زراعی مانند برنج و گندم توجه بیشتری را به خود جلب نموده است (Bashan & Holguin, 1997). نتایج بسیاری از مطالعه‌ها نشان می‌دهد که حضور باکتری در ریزوسفر و اندوریزوسفر گیاه میزبان، آثار معنی‌داری در بهبود شاخص‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه و در نتیجه، ازدیاد محصول پدید می‌آورد (Egamberdiyeva et al., 2004). مطالعات نشان داده که باکتری‌های محرک رشد به‌طور مستقیم از طریق تثبیت بیولوژیک نیتروژن، تولید هورمون‌های رشد (Pedraza et al.,2009) و افزایش میزان جذب و دسترسی به مواد غذایی (Turan et al., 2006) مؤثر می‌باشند و حتی به‌عنوان مکمل و جایگزین کودهای شیمیایی شناخته می‌شوند (Nezarat & Gholami, 2009; Eidizadeh et al., 2010).

نیتراته‌شدن آب‌های زیرزمینی به‌دلیل مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و آبشویی بالای کودهای نیتروژنه و همچنین پایین بودن کارایی مصرف نیتروژن در آبیاری غرقابی برنج، بیان‌گر نیاز مبرم به سایر روش‌های مدیریتی در زراعت برنج اعم از تغییر روش آبیاری و

1- Controlled-release fertilizers

استفاده از کودهای آلی و زیستی است. استفاده از کود بایوچار به‌همراه باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در کشت با تناوب آبیاری برنج می‌تواند راهکار مناسبی برای کاهش مشکلات ذکر شده باشد. لذا، پژوهش حاضر با هدف بررسی شاخص‌های کارایی کود نیتروژن در دو شیوه آبیاری غرقاب و تناوبی همراه با سطوح بایوچار و کود نیتروژن و تلقیح با باکتری *آزوسپیریلوم لیپوفروم* انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۱ متر پایین‌تر از سطح دریا، در سال زراعی ۱۳۹۶، به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده[1] در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. رقم مورد استفاده در این پژوهش، برنج هاشمی بود. عامل اصلی، شیوه آبیاری در دو سطح آبیاری غرقاب و آبیاری تناوبی و عامل فرعی تیمار کودی در نه سطح، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیتروژن توصیه شده (به‌میزان به‌ترتیب ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به‌صورت سرک در سه مرحله به خاک داده شد) بر اساس آزمون خاک (جدول ۱) به‌همراه صفر، ۱۰ و ۲۰ تن بایوچار در هکتار بود، عامل فرعی-فرعی نیز جدایه خالص باکتری *آزوسپریلیوم لیپوفروم*[2] (مایه تلقیحی میکروبی با غلظت نهایی $CFU\ ml^{-1}$ ۱۰^۹) که از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج تهیه شد، در دو سطح بدون مایه‌زنی و مایه‌زنی با گیاهچه بود. همچنین یک کرت بدون مصرف نیتروژن برای محاسبه شاخص‌های کارایی نیتروژن در کنار طرح آزمایشی در نظر گرفته شد.

روش تهیه بایوچار

برای تولید بایوچار از روش تجزیه حرارتی استوانه‌ای استفاده شد (Lehmann & Joseph, 2009). در ابتدا برای تولید بایوچار مواد اولیه سلولزی شامل بقایای چوب و گیاهان زراعی تهیه و دسته‌بندی شدند. سپس جهت تبدیل مواد سلولزی به کربن در شرایط بی‌هوازی، مواد سلولزی ابتدا در درجه حرارت ۱۱۰ درجه سلسیوس جهت تبخیر آب موجود به‌مدت دو ساعت قرار گرفتند. سپس به‌مدت سه ساعت در درجه حرارت ۲۸۰ درجه سلسیوس برای بیرون رفتن مواد فرار قرار داده شدند. واکنش بعدی که مرحله کربونیزاسیون و تشکیل شبکه متخلخل بود، گرمازا بود که دو ساعت به‌طول انجامید و در گام پایانی کربن‌های تولید شده به دمای محیط رسیدند (Lehmann & Joseph, 2009) (جدول ۲).

در اواخر اردیبهشت ماه، عملیات کامل شخم بهاره، ماله‌کشی و تسطیح زمین انجام گردید و همزمان با آماده سازی زمین و پیش از نشاکاری، کود بایوچار، اوره، سوپرفسفات تریپل (۵۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (۷۵ کیلوگرم در هکتار) بر اساس آزمون خاک (جدول ۱) به خاک اضافه و خوب مخلوط شدند (Malekotti, 2000). برای اطمینان از عدم ترکیب آب کرت‌ها با هم و همچنین برای جلوگیری از نشت آب، کود و باکتری‌ها، مرز کرت‌ها تا عمق ۵۰ سانتی‌متری پوشش نایلونی کشیده و مرزبندی شد. سپس برای تکرار-های با آبیاری تناوبی از روش ایری (Nie et al, 2011) استفاده گردید. در این روش، در لوله‌های پی‌وی‌سی به ارتفاع ۲۰ و قطر پنج سانتی‌متر، با مته برقی سوراخ‌های زیاد ایجاد شد و لوله‌ها برای نفوذ آب به درون لوله، به‌صورت مشبک درآمدند و در کرت‌ها مستقر شدند. لوله‌ها به‌صورت روزانه بازبینی و در صورت نیاز، آبیاری انجام شد. برای مایه‌زنی باکتری، ریشه گیاهچه‌ها در مرحله سه تا چهار برگی در یک لیتر باکتری *آزوسپریلیوم لیپوفروم* به‌همراه ۱۵ گرم از ماده کربوکسی‌متیل‌سلولز (CMC) برای افزایش چسبندگی (Khorramjah, 2015) به‌مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شدند. تعداد گیاهچه در هر کپه دو عدد و فاصله هر گیاهچه از گیاهچه‌های مجاور از هر سمت ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. مبارزه با آفات و علف-های هرز به‌صورت مکانیکی و یا دستی صورت گرفت و در طی انجام طرح کشاورزی هیچ گونه علف‌کش و یا سمومی استفاده نشد. در این پژوهش اجزای متفاوت کارایی نیتروژن به صورت زیر محاسبه شدند:

عملکرد عامل بهره‌وری نسبی نیتروژن (PFP_N)

$$PFP_N = GY_{+N}/FN \quad \text{(۱) معادله}$$

کارایی زراعی کود نیتروژن (AE)

$$AE_N = (GY_{+N}-GY_{0N})/FN \quad \text{(۲) معادله}$$

کارایی بازیافت کود نیتروژن (RE)

$$RE_N = (UN_{+N} - UN_{0N})/FN \quad \text{(۳) معادله}$$

کارایی فیزیولوژیک کود نیتروژن (PE)

$$PE_N = (GY_{+N} - GY_{0N})/(UN_{+N} - UN_{0N}) \quad \text{(۴) معادله}$$

کارایی داخلی کود نیتروژن (IE)

1- Split split plot
2- *A. lipoferum*

معادله (۵) $IE_N = GY/UN$

که در این معادله‌ها، GY_{+N}: عملکرد دانه در تیمار با مصرف کـود (کیلوگرم در هکتار)، GY_{0N}: عملکرد دانه در تیمار عدم کـاربرد کـود، UN_{+N} و UN_{0N}: به‌ترتیب میزان جذب کل نیتـروژن در زیسـت‌تـوده اندام‌های هوایی در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک در کرت‌هایی که کود نیتروژن دریافت کرده‌اند و کرت بدون مصرف کود نیتروژن بر حسب کیلوگرم در هکتار، FN: مقدار کود نیتروژن مصرف شده (کیلـوگرم در هکتار) می‌باشند. در کارایی داخلی،GY: عملکـرد دانـه هـر تیمـار بـر حسب کیلوگرم در هکتـار و UN: جـذب کـل نیتـروژن (کیلـوگرم در هکتار) برای هر تیمار هستند (Dobermann & Fairhurst, 2000)

جدول ۱- برخی از خصوصیات خاک مزرعه محل اجرای آزمایش

Table 1- Some soil charactristics at the studied field

پتاسیم قابل جذب K	فسفر قابل جذب P	نیتروژن (N)	هدایت الکتریکی (EC)	اسیدیته اشباع saturated acidity	ماده آلی Organic matter	کربن آلی Organic C	بافت Texture	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand
($Mg.kg^{-1}$)		(%)	($dS.m^{-1}$)		(%)			(%)		
186	5	0.19	0.6	8.4	3.39	1.96	لومی رسی (loam clay)	31	28	41

جدول ۲- ویژگی‌های بایوچار مورد استفاده

Table 2- Biochar properties used

ویژگی‌های بایوچار Biochar properties	عدد ید Iodine number ($mg.g^{-1}$)	مساحت سطح بر اساس استاندارد ASTM Surface area according to standard ASTM ($m^2.g^{-1}$)	عدد متیلن بلو Methylene blue number ($mg.g^{-1}$)	محتوای رطوبت Moisture content (%)	pH	درصد خاکستر Ash (%)	درصد کربن C (%)	نیتروژن N ($g.kg^{-1}$)	دانه بندی Grading
	950-1100	950-1100	150-250	3-4	5.8	4-5	48-50	18-20	0.1≥

همچنین شاخص برداشت نیتروژن، غلظت نیتروژن دانه و غلظت پروتئین دانه از معادله‌های زیر حاصل شد (Huggins et al., 1993).

شاخص برداشت نیتروژن (HI)

معادله (۶) $HI_N = (Ng/Nt) \times 100$

غلظت نیتروژن دانه (GNS)

معادله (۷) $GNC= (Ng/GY) \times 100$

غلظت پروتئین دانه (GPC)

معادله (۸) $GPC = GNC \times 5.7$

که در این معادله‌ها، Ng: نیتروزن دانه، Nt: نیتروژن کل گیـاه و GY: عملکرد دانه می‌باشند.

تجزیه داده‌ها، به‌صورت آنالیز واریـانس طـرح کـرت‌هـای دو بـار خردشده و با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ انجام شد. آزمون F برای هر منبع تغییر، بر مبنای امید ریاضی میـانگین مربعـات (EMS) انجام شد. در صورت معنی‌دار بودن اثر F در جـدول آنـالیز واریـانس، اقدام به مقایسه میانگین‌هـا، بـا اسـتفاده از آزمـون LSD شـد. بـرای مقایسه میانگین اثرات متقابل، برش (Slice) بر مبنای شـیوه آبیـاری انجام گرفت. سطح خطا برای مقایسه میانگین برای تمام صفات پـنج درصد در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

نیتروژن و پروتئین دانه

میزان نیتروژن و پروتئین دانه تحت تأثیر تیمارهای کود، باکتری، شیوه آبیاری و هم‌چنین اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه آن‌ها در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند (جدول ۳).

مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه داده‌ها نشـان مـی‌دهـد، در آبیاری غرقابی بیشترین درصـد نیتـروژن (۲/۱۵) و پـروتئین (۱۲/۲۷) دانه با مصرف ۲۰ تن بایوچار در هکتار + ۱۰۰ درصد نیتروژن توصیه-شـده و کـاربرد بـاکتری حاصـل و کمتـرین درصـد نیتـروژن (۰/۵) و

پروتئین (۲/۸۳) دانه در شاهد ۵۰ درصد نیتروژن مشاهده شد (جدول ۴). همچنین در شیوه آبیاری تناوبی تیمار ۲۰ تن بایوچار + ۱۰۰ درصد نیتروژن توصیه شده، بیشترین درصد نیتروژن (۲/۲) و پروتئین (۱۲/۵۴) دانه را موجب شد. کمترین درصد نیتروژن (۰/۳۸) و پروتئین (۲/۱۴) دانه در آبیاری تناوبی، در شاهد ۵۰ درصد نیتروژن توصیه شده به‌دست آمد (جدول ۵).

همان‌طور که مشاهده می‌شود کاربرد ۲۰ تن بایوچار به‌همراه ۱۰۰ درصد نیتروژن توصیه شده (همراه با مصرف باکتری در غرقاب و بدون مصرف باکتری در تناوبی) توانست موجب افزایش ۱/۶۵ درصدی نیتروژن و ۹/۴۴ درصدی پروتئین دانه در روش آبیاری غرقابی و ۱/۸۲ درصدی نیتروژن و ۱۰/۴ درصدی پروتئین دانه در روش آبیاری تناوبی شود.

نیتروژن در زیست‌توده گیاهی به‌شکل اسیدهای آمینه، آمین و قندهای آمینه می‌باشد و هنگامی که زیست‌توده گیاهی برای تولید بایوچار تحت عمل پرولیز قرار می‌گیرد، میزان زیادی از این ساختارهای هتروسیکلیک نیتروژن به‌فرم فشرده تبدیل شده (Cao & Harris, 2010; Koutcheiko et al., 2006) که ممکن است برای گیاه قابل دسترس نباشد (Gaskin et al., 2010) در نتیجه، مقداری از نیتروژن باقی‌مانده که به‌فرم فشرده درنیامده در بایوچار برای گیاه قابل دسترس می‌باشد (Ca & Harris, 2010; Novak et al., 2009). تحقیقات نشان می‌دهد که با افزودن بایوچار در مقادیر زیاد (۱۰یا ۲۰ درصد جرمی) به خاک، می‌توان به‌طور مؤثر از آب‌شویی یون‌هایی مانند آمونیوم از خاک جلوگیری کرد، امّا این اثر، به نوع بایوچار و خاک و همچنین مدت زمان تماس بایوچار و خاک بستگی دارد (Lehmann et al., 2003). در بررسی‌های چان و همکاران (Chan et al., 2008) گزارش شد که در هنگام مصرف بایوچار به-همراه کود نیتروژنه بر میزان نیتروژن گیاه اثر مثبتی مشاهده شد. هم-چنین نتایج مشابهی توسط استاینر و همکاران (Steiner et al., 2008) گزارش شد. بنابراین، بایوچار دارای پتانسیل بالایی در بهره-وری بهتر از عناصر معدنی و کود نیتروژن می‌باشد و می‌تواند موجب افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه گردد.

در آبیاری غرقاب بیشترین درصد نیتروژن و پروتئین دانه همراه با مصرف باکتری به‌دست آمد. مصرف تلفیقی کودهای شیمیایی، آلی و زیستی به‌دلیل فراهمی نیتروژن در مرحله زایشی سبب افزایش محتوای نیتروژن دانه می‌شود، به‌طوری‌که در مرحله زایشی، نیتروژن موجود در ساقه و برگ به‌سرعت به‌سمت خوشه و دانه‌های در حال نمو حرکت می‌کنند. در بررسی‌های (Pedraza et al., 2009) عنوان شد که بالاترین مقدار نیتروژن دانه زمانی حاصل شد که از تلقیح بذور با باکتری *آزوسپیریلوم* استفاده گردید. این محققان، دلیل این افزایش را، قابلیت دسترسی بیشتر به عناصر غذایی توسط باکتری *آزوسپیریلوم* دانستند. از طرفی دیگر، همان‌طور که مشاهده می‌شود، در شرایط آبیاری تناوبی به‌دلیل خشک شدن متوالی زمین شرایط مساعد برای رشد فعالیت باکتری مهیا نبوده و باکتری نتوانسته تأثیر مثبتی بر میزان جذب نیتروژن و افزایش پروتئین دانه برنج داشته باشد. مقدار رطوبت موجود در خاک از عوامل مؤثر بر مقدار تثبیت نیتروژن توسط باکتری است. نقش اولیه کمبود رطوبت خاک به کاهش تولید آسیمیلات و انتقال آن به ریشه و نقش ثانویه آن به اثر مستقیم بر باکتری‌های همزیست موجود در ریشه برمی‌گردد (Peoples et al., 2002). قدرت ارتباط گیاه با باکتری از عوامل تعیین‌کننده در مقدار تثبیت نیتروژن توسط باکتری است. عوامل محیطی در این امر نقش به‌سزایی دارند و تنش‌های محیطی می‌توانند باعث کاهش همزیستی و فعالیت باکتری شوند (Unkovich & Pate, 2000).

میزان جذب نیتروژن دانه، کاه و کل گیاه

بررسی داده‌های مربوط به تجزیه واریانس نشان داد که تمامی اثرات ساده و متقابل تیمارهای اعمال شده به‌غیر از اثر متقابل شیوه آبیاری و باکتری در سطح احتمال یک درصد بر میزان جذب نیتروژن در دانه و کل گیاه معنی‌دار بود. اثر متقابل شیوه آبیاری و کود نیز در سطح احتمال پنج درصد بر میزان جذب نیتروژن کاه معنی‌دار بود (جدول ۳)

مطابق جداول ۴ و ۵ در بررسی اثر متقابل سه‌گانه آبیاری × کود × باکتری مشخص شد که در آبیاری غرقاب بیشترین (۱۰۲/۸۴ کیلوگرم در هکتار) جذب نیتروژن دانه با مصرف ۲۰ تن بایوچار و ۷۵ درصد از نیتروژن توصیه شده همراه با مصرف باکتری به‌دست آمد و کمترین (۱۲/۸۷ کیلوگرم در هکتار) جذب نیتروژن دانه در شاهد ۵۰ درصد نیتروژن مشاهده شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر بایوچار،کود نیتروژن و باکتری *آزوسپیریلوم لیپوفروم* بر شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن گیاه برنج در شرایط آبیاری متناوب و غرقاب

Table 3- Analysis of variance of the effect of biochar, nitrogen fertilizer and *Azospirillum lipofrom* bacteria on nitrogen use efficiency indices of rice plant in intermittent and flooded irrigation conditions

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares										
		جذب نیتروژن کل Total N uptake ($kg.ha^{-1}$)	جذب نیتروژن دانه Grain N uptake ($kg.ha^{-1}$)	جذب نیتروژن کاه Straw N uptake ($kg.ha^{-1}$)	بهره‌وری نسبی نیتروژن PFP_N ($kg.kg^{-1}$)	کارایی زراعی کود نیتروژن AE_N ($kg.kg^{-1}$)	کارایی بازیافت کود نیتروژن RE_N ($kg.kg^{-1}$)	کارایی فیزیولوژیکی کود نیتروژن PE_N ($kg.kg^{-1}$)	کارایی داخلی کود نیتروژن IE_N ($kg.kg^{-1}$)	شاخص برداشت نیتروژن NHI (%)	نیتروژن دانه Grain N (%)	پروتیین دانه Grain protein (%)
بلوک Block	2	30.46^{ns}	28.51^{ns}	3.21^{ns}	14.81^{ns}	14.81^{ns}	0.009^{ns}	114.62^{ns}	45.77^{ns}	5.99^{ns}	0.006^{ns}	0.21^{ns}
شیوه آبیاری Irrigation method	1	4855.32**	3458.21**	112.04**	4379.85**	9.58^{ns}	0.416**	8737.48*	1963.85*	178.74*	0.179**	5.8**
خطای a Error a	2	16.12	16.49	0.003	37.01	37.01	0.003	148.23	34.97	6.35	0.002	0.05
کود Fertilizer	8	12611.87**	6974.26**	971.88**	4464.07**	2079.05**	1.443**	8211.1**	8237.18**	324.17**	2.111**	68.57**
شیوه آبیاری × کود Irrigation method× fertilizer	8	503.09**	490.45**	9.52*	309.06**	149.41**	0.141**	2029.08**	1563.83**	109.27**	0.189**	6.15**
خطای b Error b	32	24.35	16.75	3.37	37.07	37.07	0.005	113.21	38.89	7.81	0.004	0.14
باکتری Bactria	1	14879.94**	6853.35**	1559.23**	703.53**	703.53**	3.392**	43568.4**	37733.3**	15.61^{ns}	3.977**	129.21**
شیوه آبیاری × باکتری Irrigation method× bactria	1	71.98^{ns}	21.83^{ns}	180.76**	46.85^{ns}	46.85^{ns}	0.001^{ns}	5200.2**	2267.57**	610.36**	0.285**	9.27**
کود × باکتری Fertilizer× bactria	8	436.48**	490.95**	103.18**	708.86**	708.86**	0.17**	4055.6**	1861.59**	234.99**	0.161**	5.24**
شیوه آبیاری × کود × باکتری Irrigation method× fertilizer× bactria	8	781.01**	742.23**	14.52**	283.26**	283.26**	0.135**	1480.53**	1399. 99**	157.07**	0.241**	7.83**
خطای آزمایش Error	36	23.98	20.04	3.94	21.86	21.86	0.005	93.96	32.61	6.14	0.002	0.05
ضریب تغییرات (درصد) C.V		7.76	9.17	13.96	8.06	14.04	10.27	15.11	7.07	3.22	3.39	3.39

* و **: به‌ترتیب نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد و ns بیانگر غیرمعنی‌داری است

* and **: significant at 5 and 1% levels of probability, respectively; ns: not significan

جدول ٤- مقایسه میانگین برهم‌کنش اثر سطوح کودی و باکتری *آزوسپیریلیوم لیپوفروم* در شیوه آبیاری غرقاب بر شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن گیاه برنج

Table 4- Mean comparison of the interaction effect of fertilizer levels and *Azospirillium lipofrom* bacteria in flood irrigation method on nitrogen use efficiency indices of rice plants

کود Fertilizer	باکتری Bacteria	جذب نیتروژن کل Total N uptake (kg.ha^{-1})	جذب نیتروژن دانه Grain N uptake (kg.ha^{-1})	جذب نیتروژن کاه Straw N uptake (kg.ha^{-1})	بهره‌وری نسبی نیتروژن PFP_N (kg.kg^{-1})	کارایی زراعی کود نیتروژن AE_N (kg.kg^{-1})	کارایی بازیافت کود نیتروژن RE_N (kg.kg^{-1})	کارایی فیزیولوژیکی کود نیتروژن PE_N (kg.kg^{-1})	کارایی داخلی کود نیتروژن IE_N (kg.kg^{-1})	شاخص برداشت نیتروژن NHI (%)	نیتروژن دانه Grain N (%)	پروتیین دانه Grain protein (%)
نیتروژن۱۰۰+بایوچار۰ Nitrogen 100+ 0 biochar	بدون باکتری No bacteria	27.48^{h}	22.11^{k}	5.37^{ij}	25.94^{j}	4.23^{k}	0.06^{j}	70.18^{d}	124.46^{b}	80.52^{de}	0.77^{i}	4.38^{i}
	با باکتری With bacteria	63.05^{e}	48.03^{gh}	15.03^{e}	49.22^{hi}	27.51^{gh}	0.48^{h}	56.9^{de}	78.02^{d}	76.08^{f}	1.26^{ef}	7.21^{ef}
نیتروژن۱۰۰+بایوچار۱۰ Nitrogen 100+ 10 biochar	بدون باکتری No bacteria	46.36^{f}	33.14^{j}	13.22^{ef}	31.04^{j}	9.33^{jk}	0.32^{i}	29.21^{ghi}	66.9^{ef}	71.52^{gh}	1.07^{g}	6.1^{g}
	با باکتری With bacteria	79.85^{c}	53.96^{fg}	25.89^{c}	48.11^{hi}	26.4^{gh}	0.65^{g}	40.5^{efgh}	60.23^{fgh}	67.56^{h}	1.12^{g}	6.39^{g}
نیتروژن۱۰۰+بایوچار۲۰ Nitrogen 100+ 20 biochar	بدون باکتری No bacteria	117.13^{b}	89.92^{b}	27.21^{c}	49.33^{hi}	27.62^{gh}	1.02^{cd}	26.94^{hi}	42.08^{i}	76.72^{ef}	1.82^{b}	10.4^{b}
	با باکتری With bacteria	137.54^{a}	94.32^{b}	43.22^{a}	43.76^{i}	22.05^{hi}	1.23^{b}	17.91^{i}	31.8^{j}	68.47^{h}	2.15^{a}	12.27^{a}
نیتروژن۷۵+بایوچار۰ Nitrogen 75+ 0 biochar	بدون باکتری No bacteria	35.93^{g}	31.42^{j}	4.51^{j}	54.28^{gh}	25.33^{gh}	0.28^{i}	90.86^{c}	113.85^{c}	84.98^{b}	0.61^{jk}	3.45^{jk}
	با باکتری With bacteria	48.75^{f}	41.61^{hi}	7.14^{hij}	43.99^{i}	15.04^{ij}	0.45^{h}	32.6^{ghi}	67.56^{ef}	83.37^{bc}	1.28^{ef}	7.32^{ef}
نیتروژن۷۵+بایوچار۱۰ Nitrogen 75+ 10 biochar	بدون باکتری No bacteria	76.98^{cd}	67.58^{cd}	9.4^{gh}	72.8^{f}	43.85^{cd}	0.83^{ef}	52.92^{ef}	71^{de}	87.84^{ab}	1.24^{f}	7.06^{f}
	با باکتری With bacteria	76.71^{cd}	57.29^{ef}	19.41^{d}	56.85^{gh}	27.9^{gh}	0.82^{ef}	33.64^{ghi}	55.62^{gh}	74.72^{fg}	1.34^{de}	7.66^{de}
نیتروژن۷۵+بایوچار۲۰ Nitrogen 75+ 20 biochar	بدون باکتری No bacteria	84.66^{c}	74.22^{c}	10.44^{fg}	62.8^{g}	33.85^{efg}	0.93^{de}	36.38^{fgh}	55.69^{gh}	87.68^{ab}	1.58^{c}	8.99^{c}
	با باکتری With bacteria	134.62^{a}	102.84^{a}	31.78^{b}	78.98^{def}	50.04^{bc}	1.6^{a}	31.34^{ghi}	44.02^{i}	76.43^{ef}	1.74^{b}	9.9^{b}
نیتروژن۵۰+بایوچار۰ Nitrogen 50+ 0 biochar	بدون باکتری No bacteria	20.9^{h}	12.87^{l}	7.02^{hij}	73.42^{ef}	30^{fgh}	0.25^{i}	117.5^{b}	133.37^{b}	61.87^{i}	0.5^{l}	2.83^{l}
	با باکتری With bacteria	69.9^{de}	59.32^{ef}	10.58^{fg}	92.26^{bc}	48.84^{bc}	1.1^{c}	44.19^{efg}	66.02^{ef}	84.8^{bc}	0.98^{h}	5.57^{h}
نیتروژن۵۰+بایوچار۱۰ Nitrogen 50+ 10 biochar	بدون باکتری No bacteria	76.95^{cd}	69^{cd}	7.94^{ghi}	98.59^{b}	55.17^{b}	1.24^{b}	44.41^{efg}	64.11^{efg}	89.61^{a}	1.4^{d}	7.98^{d}
	با باکتری With bacteria	77.35^{cd}	63.13^{de}	14.22^{e}	84.58^{cd}	41.16^{cde}	1.25^{b}	32.86^{ghi}	54.64^{h}	81.6^{cd}	1.49^{c}	8.52^{c}
نیتروژن۵۰+بایوچار۲۰ Nitrogen 50+ 20 biochar	بدون باکتری No bacteria	28.77^{gh}	22.6^{k}	6.17^{ij}	82.25^{de}	38.83^{def}	0.28^{i}	146.25^{a}	144.58^{a}	78.53^{def}	0.6^{k}	3.42^{k}
	با باکتری With bacteria	53.35^{f}	37.66^{ij}	15.69^{e}	110.48^{a}	67.06^{a}	0.77^{f}	88.06^{c}	104.16^{c}	70.7^{gh}	0.68^{ij}	3.89^{ij}

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد است.

Means with similar letters in each column, are not significantly different at $P<0.05$ level of probability.

جدول ۵- مقایسه میانگین برهم‌کنش اثر سطوح کودی و باکتری *آزوسپریلیوم لیپوفروم* در شیوه آبیاری تناوبی بر شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن گیاه برنج

Table 5 - Mean comparison of the interaction effect of fertilizer levels and *Azospirillium lipofrom* bacteria in intermittent irrigation method on nitrogen use efficiency indices of rice plants

کود Fertilizer	باکتری Bacteria	جذب نیتروژن کل Total N uptake (kg.ha^{-1})	جذب نیتروژن دانه Grain N uptake (kg.ha^{-1})	جذب نیتروژن کاه Straw N uptake (kg.ha^{-1})	بهره‌وری نسبی نیتروژن PFP_N (kg.kg^{-1})	کارایی زراعی کود نیتروژن AE_N (kg.kg^{-1})	کارایی بازیافت کود نیتروژن RE_N (kg.kg^{-1})	کارایی فیزیولوژیک کود نیتروژن PE_N (kg.kg^{-1})	کارایی داخلی کود نیتروژن IE_N (kg.kg^{-1})	شاخص برداشت نیتروژن NHI (%)	نیتروژن دانه Grain N (%)	پروتیین دانه Grain protein (%)
نیتروژن۱۰۰+بایوچار۰ Nitrogen 100+ 0 biochar	بدون باکتری No bacteria	38.77^{hi}	26.75^{fg}	12.02^{ef}	23.12^{j}	10.64^{i}	0.3^{fg}	34.93^{hi}	59.65^{fgh}	68.19^{fg}	1.16^{g}	6.58^{g}
	با باکتری With bacteria	36.5^{ij}	29.29^{f}	7.2^{hi}	30.93^{hi}	18.45^{h}	0.28^{fg}	65.64^{de}	84.98^{d}	80.17^{de}	0.94^{i}	5.38^{i}
نیتروژن۱۰۰+بایوچار۱۰ Nitrogen 100+ 10 biochar	بدون باکتری No bacteria	45.93^{gh}	31.77^{f}	14.17^{cde}	39.1^{gh}	26.62^{gh}	0.38^{ef}	71^{d}	85.17^{d}	69.17^{fg}	0.81^{j}	4.63^{j}
	با باکتری With bacteria	69.67^{e}	54.17^{d}	15.5^{cd}	38.13^{gh}	25.65^{gh}	0.61^{d}	41.66^{ghi}	54.63^{gh}	77.73^{e}	1.42^{e}	8.12^{e}
نیتروژن۱۰۰+بایوچار۲۰ Nitrogen 100+ 20 biochar	بدون باکتری No bacteria	138.09^{a}	110.73^{a}	27.36^{b}	50.33^{ef}	37.85^{de}	1.3^{a}	29.24^{i}	36.5^{i}	80.19^{de}	2.2^{a}	12.54^{a}
	با باکتری With bacteria	128.88^{b}	88.47^{b}	40.41^{a}	45.28^{fg}	32.8^{efg}	1.2^{a}	27.25^{i}	35.19^{i}	68.73^{fg}	1.95^{b}	11.13^{b}
نیتروژن۷۵+بایوچار۰ Nitrogen 75+ 0 biochar	بدون باکتری No bacteria	20.01^{l}	17.04^{hi}	2.97^{j}	45^{fg}	28.36^{fg}	0.15^{hi}	183.52^{a}	168.72^{a}	85.25^{bc}	0.51^{kl}	2.88^{kl}
	با باکتری With bacteria	25.14^{kl}	20.62^{gh}	4.52^{ij}	25.76^{ij}	9.12^{i}	0.22^{gh}	40.04^{ghi}	76.77^{de}	81.79^{cde}	1.07^{h}	6.07^{h}
نیتروژن۷۵+بایوچار۱۰ Nitrogen 75+ 10 biochar	بدون باکتری No bacteria	22.88^{kl}	12.78^{ij}	10.1^{fgh}	45.02^{fg}	28.38^{fg}	0.19^{gh}	149.39^{b}	148.51^{b}	55.51^{h}	0.51^{kl}	2.9^{kl}
	با باکتری With bacteria	83.66^{d}	70^{c}	13.66^{de}	58.33^{de}	41.69^{cde}	1^{b}	41.56^{ghi}	52.33^{h}	83.55^{bcd}	1.6^{d}	9.11^{d}
نیتروژن۷۵+بایوچار۲۰ Nitrogen 75+ 20 biochar	بدون باکتری No bacteria	79.27^{d}	68.92^{c}	10.35^{fgh}	72.54^{bc}	55.9^{b}	0.94^{b}	59.17^{def}	68.64^{ef}	86.94^{ab}	1.27^{f}	7.22^{f}
	با باکتری With bacteria	99.06^{c}	72.3^{c}	26.76^{b}	53.48^{ef}	36.84^{def}	1.21^{a}	30.44^{i}	40.46^{i}	72.94^{f}	1.8^{c}	10.28^{c}
نیتروژن۵۰+بایوچار۰ Nitrogen 50+ 0 biochar	بدون باکتری No bacteria	11.65^{m}	8.37^{j}	3.28^{j}	32.96^{hi}	8^{i}	0.06^{i}	122^{c}	141.35^{b}	71.84^{f}	0.38^{m}	2.14^{m}
	با باکتری With bacteria	49.45^{fg}	45.04^{e}	4.41^{ij}	67.59^{bc}	42.63^{cd}	0.82^{c}	51.9^{efg}	68.45^{ef}	91.14^{a}	1.33^{f}	7.59^{f}
نیتروژن۵۰+بایوچار۱۰ Nitrogen 50+ 10 biochar	بدون باکتری No bacteria	29.75^{jk}	21.08^{gh}	8.67^{gh}	75.15^{b}	50.19^{bc}	0.43^{e}	118.11^{c}	126.59^{c}	70.82^{fg}	0.57^{k}	3.23^{k}
	با باکتری With bacteria	55.86^{f}	44.11^{e}	11.75^{efg}	70.64^{bc}	45.68^{cd}	0.95^{b}	48.68^{fgh}	63.85^{fg}	78.97^{e}	1.25^{f}	7.11^{f}
نیتروژن۵۰+بایوچار۲۰ Nitrogen 50+ 20 biochar	بدون باکتری No bacteria	22.8^{kl}	15.48^{hi}	7.31^{hi}	64.44^{cd}	39.48^{de}	0.29^{fg}	134.09^{bc}	140.13^{b}	71.12^{f}	0.48^{l}	2.73^{l}
	با باکتری With bacteria	57.53f	40.4e	17.13c	91.62a	66.66a	0.98b	67.84de	79.68d	70.35fg	0.88ij	5.03ij

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون، نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد است.

Means with similar letters in each column, are not significantly different at $P<0.05$ level of probability.

در آبیاری تناوبی نیز بالاترین نیتروژن جذب شده در دانه (۱۱۰/۷۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۲۰ تن بایوچار و ۱۰۰ درصد نیتروژن توصیه شده و بدون مصرف باکتری حاصل شد و پایین‌ترین (۸/۳۷ کیلوگرم در هکتار) مقدار صفت مذکور در این شیوه آبیاری مربوط به شاهد ۵۰ درصد نیتروژن توصیه شده بود. بیشترین جذب نیتروژن کاه در هر دو شیوه آبیاری غرقاب (۴۳/۲۲ کیلوگرم در هکتار) و تناوبی (۴۰/۴۱ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و به همراه مصرف باکتری بود. و کمترین جذب نیتروژن کاه در هر دو شیوه آبیاری غرقاب (۴/۵۱ کیلوگرم در هکتار) و تناوبی (۲/۹۷ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۷۵ درصد نیتروژن و بدون مصرف بایوچار و باکتری حاصل شد (جدول ۴ و ۵).

بالاترین جذب نیتروژن کل گیاه نیز در هر دو شیوه آبیاری مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و به‌همراه مصرف باکتری در غرقاب (۱۳۷/۵۴ کیلوگرم در هکتار) و بدون مصرف باکتری در تناوبی (۱۳۸/۰۹ کیلوگرم در هکتار) بود، و پایین‌ترین جذب نیتروژن کل گیاه در هر دو شیوه آبیاری غرقاب (۲۰/۹ کیلوگرم در هکتار) و تناوبی (۱۱/۶۵ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + بدون مصرف بایوچار، بدون باکتری بود (جدول ۴ و ۵). همان‌طور که مشاهده شد بیشترین میزان نیتروژن دانه، کاه و کل گیاه در سطح ۲۰ تن بایوچار در هکتار به‌همراه ۷۵ تا ۱۰۰ درصد نیتروژن توصیه شده و کمترین میزان نیتروژن دانه، کاه و کل گیاه در عدم حضور بایوچار به‌دست آمد، در واقع بایوچار با سطح ویژه بالا، بار سطحی منفی، چگالی بالا و ساختار متخلخل موجب بهبود خواص شیمیایی خاک مثل pH، ظرفیت تبادل کاتیونی و عناصر غذایی قابل دسترس می‌شود (Gaskin et al., 2010). همچنین با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک منجربه جذب عناصر غذایی روی سطوح خاک و افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه و کاهش آبشویی عناصر غذایی می‌شود (Lehmann et al., 2003). در همین راستا، در آزمایشی روی گیاه ذرت مشاهده شده که مقدار ماده خشک ذرت در زمان کاربرد بایوچار و در غیاب کود نیتروژن در تمام تیمارها افزایش چشم‌گیری نداشت. ولی، افزایش میزان بایوچار (۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار) به‌همراه ۱۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار منجر به افزایش عملکرد قابل توجهی در گیاه شد. بنابراین، مشاهده شد که بایوچار به‌همراه کود نیتروژنه تأثیر بیشتری در افزایش میزان نیتروژن گیاه دارد (Gaskin et al., 2010; Cheng et al., 2008).

در شرایط آبیاری غرقابی باکتری *آزوسپریلیوم* با تثبیت نیتروژن برای گیاه موجب افزایش جذب و در پی آن میزان نیتروژن موجود در دانه و اندام‌های هوایی برنج شد، در همین راستا عموآقایی و همکاران (Amou-Aghai et al., 2003) اظهار داشتند که کاربرد سویه‌های باکتری *آزوسپیلوم*، محتوای نیتروژن دانه و اندام‌های هوایی را نسبت به شاهد افزایش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، فعالیت باکتری در آبیاری تناوبی به‌دلیل کاهش رطوبت خاک و تر و خشک کردن متوالی زمین کاهش یافته و لذا، باکتری نتوانسته تأثیر معنی‌داری بر میزان جذب نیتروژن و کاه برنج داشته باشد. محققان با بررسی میزان تحمل خشکی، تعدادی از سویه‌های باکتری‌های محرک رشد (PGPR) اذعان داشتند که تنش خشکی موجب تأثیر معنی‌دار کاهش رشد و فعالیت جدایه‌های انتخابی باکتری‌های محرک رشد شد (Sarcheshmehpour et al., 2009). درنهایت، می‌توان گفت میزان جمعیت باکتری‌های محرک رشد با افزایش میزان خشکی کاهش می‌یابد، ولی با بهبود رطوبت خاک مجدداً افزایش می‌یابد (Worrall & Roughly, 1976).

شاخص برداشت نیتروژن (HI_N)

تفاوت سطوح کودی مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد و شیوه آبیاری در سطح پنج درصد آماری از لحاظ میزان شاخص برداشت نیتروژن معنی‌دار و تیمار باکتری بی‌معنی بود. تمامی اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه نیز در این شاخص اثر معنی‌داری نشان داد (جدول ۳).

همچنین نتایج گویای این مطلب بود که در اثرات متقابل کود، باکتری و شیوه آبیاری که بیشترین (۸۹/۶۱ درصد) میزان شاخص برداشت نیتروژن در شیوه آبیاری غرقاب در تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + ۱۰ تن بایوچار و بدون مصرف باکتری و کمترین (۶۱/۸۷ درصد) میزان شاخص برداشت نیتروژن در تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن + بدون مصرف بایوچار و باکتری اتفاق افتاد، که نشان‌دهنده کاهش ۲۷/۸ درصدی شاخص برداشت نیتروژن نسبت به تیمار حداکثری (تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + ۱۰ تن بایوچار و بدون مصرف باکتری) می‌باشد (جدول ۴). در آبیاری تناوبی بالاترین (۹۱/۱۴ درصد) درصد شاخص برداشت نیتروژن در تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + بدون مصرف بایوچار و

با مصرف باکتری و پایین‌ترین (۶۸/۱۹ درصد) میزان شاخص برداشت نیتروژن در تیمار۱۰۰ درصد نیتروژن + بدون مصرف بایوچار و باکتری اتفاق افتاد (جدول ۵). در واقع، می‌توان گفت تیمارهای مذکور تأثیر یکسانی بر میزان نیتروژن دانه و کاه داشته است و هر دو را به یک نسبت افزایش داده و یا تأثیر بیشتری بر میزان نیتروژن کاه گذاشته است. در گزارشی نشان داده شد که شاخص برداشت نیتروژن ژنوتیپ‌های برنج با افزایش مصرف نیتروژن به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. نتایج آزمایش حاضر با نتایج آزمایش طایفه و همکاران (Tayefe et al., 2014) مطابقت دارد. شاخص برداشت نیتروژن یک شاخص مهم در تقسیم و توزیع نیتروژن بین اندام‌های مختلف در گیاهان زراعی است و نشان می‌دهد گیاه تا چه اندازه از نیتروژن جذب شده برای تولید دانه استفاده کرده است (Fageria et al., 2008).

با توجه به نتایج این آزمایش، به‌نظر می‌رسد که سطوح بالای کاربرد کود نیتروژن نسبت به سطوح پایین‌تر منجر به کاهش معنی‌داری در این شاخص شده است. علت این روند را می‌توان چنین بیان داشت که با افزایش کاربرد نیتروژن، در یک محدوده خاص انتقال نیتروژن به دانه‌ها مشابه با جذب بیشتر نیتروژن از خاک، متوقف خواهد شد. در آزمایشی در رابطه با ارقام گندم و جو به‌طور مشابه مشخص شد که افزایش مصرف نیتروژن منجر به کاهش معنی‌دار در شاخص برداشت نیتروژن شد. همچنین در همان آزمایش بین تمام سطوح کودی، تفاوت معنی‌داری برای این شاخص مشاهده شد (Bouman.2005,).

کارایی بازیافت کود نیتروژن (RE_N)

نتایج تجزیه واریانس مبین این مطلب بود که پیامدهای ساده شیوه آبیاری، کود و باکتری و برهم‌کنش دوگانه شیوه آبیاری × کود و کود × باکتری و برهم‌کنش سه‌گانه شیوه آبیاری × کود × باکتری در سطح احتمال یک درصد بر کارایی بازیافت کود نیتروژن معنی‌دار شد، و تنها برهم‌کنش دوگانه شیوه آبیاری × باکتری اثر معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳).

در کارایی بازیافت کود نیتروژن تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و به‌همراه مصرف باکتری در آبیاری غرقاب حداکثر کارایی بازیافت کود نیتروژن (۱/۶) را نشان داد؛ و حداقل کارایی بازیافت کود نیتروژن در آبیاری غرقاب (۰/۰۶) مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن و بدون مصرف بایوچار و باکتری بود. درحالی‌که بیشینه این شاخص در آبیاری تناوبی (۱/۳) مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و بدون مصرف باکتری به‌دست آمد؛ که البته تفاوت معنی‌داری با تیمارهای ۱۰۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و به‌همراه مصرف باکتری و ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و با مصرف باکتری نشان نداد؛ و کمینه آن در آبیاری تناوبی (۰/۰۶) مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری بود (جدول ۴ و ۵). کارایی بازیافت کود نیتروژن در واقع نشان‌دهنده کیلوگرم افزایش جذب نیتروژن به‌ازای کیلوگرم نیتروژن مصرفی است، این شاخص بستگی به تطابق نیاز گیاه و رهاسازی نیتروژن از کود و خاک دارد، تحت تأثیر مدیریت مصرف (مقدار، زمان، جای‌گذاری، شکل نیتروژن) و عواملی است که مقدار مصرف نیتروژن را تعیین می‌کند (ژنوتیپ گیاه، آب و هوا، تراکم گیاه، تنش‌های زنده و غیر زنده) قرار می‌گیرد. به‌طور کلی، با افزایش مصرف کود از میزان کارایی جذب نیتروژن کاسته می‌شود که به‌نظر می‌رسد، علت آن افزایش تلفات نیتروژن و به‌تبع آن کاهش فراهمی و از دسترس خارج شدن این عنصر تحت تأثیر دلایل مختلف ازجمله آب‌شویی مربوط باشد. در گزارشی، علت کاهش کارایی جذب نیتروژن در گندم آزاد شدن سریع نیتروژن در کود اوره ذکر گردید (Yang et al., 2011) در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که کارایی جذب نیتروژن با افزایش سطوح کودی کاهش پیدا کرد و این کاهش در شرایط بدون مالچ در مقایسه با کاربرد مالچ شدیدتر بود. دلیل این موضوع آب‌شویی بیشتر کود در شرایط عدم استفاده از مالچ ذکر گردید (Singh, 2012). نتایج آزمایشی نشان داد که کارایی جذب نیتروژن با مقدار مصرف کود نیتروژن رابطه عکس داشت، به‌طوری‌که با افزایش مصرف کود بر اساس قانون بازده نزولی کارایی جذب نیتروژن کاهش یافت. در آزمایش حاضر بهترین کارایی بازیافت کود در هر دو شیوه آبیاری با مصرف ۲۰ تن بایوچار به‌همراه ۷۵ تا ۱۰۰ درصد نیتروژن توصیه‌شده حاصل شد، و اگر بایوچار استفاده نشود در آبیاری غرقاب کمترین کارایی بازیافت، در ۱۰۰ درصد نیتروژن توصیه شده به‌دست آمد که این امر نشان می‌دهد در صورت عدم مصرف بایوچار (به‌دلیل آب‌شویی زیاد در این شیوه آبیاری) نباید مقدار کود نیتروژن مصرفی افزایش پیدا کند، ولی در آبیاری تناوبی کمترین کارایی بازیافت در نیتروژن ۵۰ درصد توصیه‌شده حاصل شد که نشان می‌دهد در آبیاری تناوبی در صورت عدم استفاده از بایوچار بهتر است مصرف کود نیتروژن افزایش پیدا کند. بایوچار به خاطر سطح ویژه زیاد و تراکم بار سطحی بالا توانایی خاک

برای نگه‌داری عناصر غـذایی و آب قابـل‌اسـتفاده گیـاه را افـزایش و شستشوی عناصر غذایی و کودها را کاهش مـی‌دهـد (Laird et al., 2010). در آبیاری غرقاب اختلاف بین کم‌ترین (۱۰۰ درصد نیتـروژن + بدون بایوچار و بدون باکتری) و بیشترین (۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و با باکتری) کارایی بازیافت کود نیتروژن ۱/۵۴ کیلوگرم بر کیلوگرم می‌باشد. از طرفی، در آبیاری تناوبی تفاوت بین کمتـرین (۵۰ درصد نیتروژن + بـدون بایوچـار و بـدون بـاکتری) و بیشـترین (۱۰۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و بدون مصرف باکتری) این شاخص ۱/۲۴ کیلوگرم بر کیلوگرم بود.

کارایی بازیافت کود نیتروژن در واقع نشان‌دهنده کیلوگرم افزایش جذب نیتروژن به‌ازای کیلوگرم نیتـروژن مصـرفی اسـت. در واقـع بـا اعمال تیمار کودی ۲۰ تن بایوچار به‌ازای هر یـک کیلـوگرم افـزایش کود نیتروژن در حضور بایوچـار بـه‌میـزان ۱/۵۴ کیلـوگرم در آبیـاری غرقاب و ۱/۲۴ کیلوگرم در آبیـاری تـاوبی جـذب نیتـروژن از خـاک افزایش یافت. همان‌گونه که نشان داده شد، در هـر دو شـیوه آبیـاری تیمار کودی توانست موجب افزایش کارایی بازیافت کود نیتروژن شود، ولی میزان تأثیر تیمار کودی مذکور در افزایش کـارایی بازیافـت کـود نیتروژن در شرایط آبیاری غرقاب بیشتر از تناوبی بوده اسـت؛ و مـی‌توان دلیل آن را به جذب و نگه‌داری بیشتر نیتروژن توسط بایوچـار در آبیاری غرقاب و جلوگیری از آب‌شویی کمتـر نیتـروژن در ایـن شـیوه آبیاری نسبت داد (جدول ۵). بایوچار می‌تواند ظرفیت تبـادل کـاتیونی خاک را تا ۵۰ درصد افزایش دهد و با افزایش ظرفیت تبادل کـاتیونی خاک از شستشوی عناصر غذایی جلوگیری کـرده و فراهمـی آن‌هـا را برای گیاه افزایش دهد (Lehmann et al., 2003). در همـین راسـتا، محققان تأثیر بایوچار بر خصوصیات خاک و جذب عناصرغذایی توسط کاهو را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیـق نشـان داد، بایوچـار موجب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی، کـربن آلـی، نیتـروژن کـل، فسفر قابل دسترس، ظرفیت تبادل کاتیونی مـی‌گـردد (Nigussie, 2012).

کارایی فیزیولوژیک کود نیتروژن (PE_N)

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) بیانگر این مطلب بـود کـه تمـام اثرات ساده و برهم‌کنش دوگانـه آبیـاری × کـود و کـود × بـاکتری و برهم‌کنش سه‌گانه آبیاری × کـود × بـاکتری در سـطح احتمـال یـک درصد بر کارایی فیزیولوژیک کود نیتروژن معنی‌دار گردید.

اثر متقابل سه‌گانه آبیاری × کود × باکتری (جدول ۴ و ۵) حـاکی از آن است که در شیوه آبیاری غرقـاب بیشـترین (۱۴۶/۲۵ کیلـوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن جذب شـده) کـارایی فیزیولوژیـک کـود نیتروژن مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و بـدون مصرف باکتری بود و کمترین میزان ایـن شـاخص (۱۷/۹۱ کیلـوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن جذب شده) در همـین شـیوه آبیـاری در تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و به‌همراه مصرف باکتری مشاهده شد در آبیاری تناوبی بیشترین (۱۸۳/۵۲ کیلوگرم دانه بـه‌ازای کیلوگرم نیتروژن جذب شده) مقدار این شـاخص در تیمـار ۷۵ درصـد نیتروژن + بدون مصرف بایوچار و بـاکتری بـه‌دسـت آمـد و کمتـرین میزان کارایی فیزیولوژیک کـود نیتـروژن در آبیـاری تنـاوبی (۲۷/۲۵ کیلوگرم دانه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن جذب شـده) مربـوط بـه تیمـار ۱۰۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و با مصرف باکتری بود. کارایی فیزیولوژیک کـود نیتـروژن در واقـع نشـان‌دهنـده کیلـوگرم افـزایش عملکرد به‌ازای کیلوگرم افزایش جذب نیتروژن از کود را نشـان مـی‌دهد. کارایی فیزیولوژیک کود نیتروژن یا توانـایی گیـاه بـرای تبـدیل نیتروژن جذب شده از کـود بـه عملکـرد اقتصـادی (دانـه) بیشـتر بـه ژنوتیپ گیاه، و کمتر به مدیریت و محیط بستگی دارد، به‌همین دلیـل مشاهده می‌شود، در هر دو شیوه آبیاری کمترین مقدار این شاخص بـا مصرف ۲۰ تن بایوچار و ۱۰۰ درصد نیتروژن توصیه‌شده حاصل شـد. در واقع می‌توان اظهار داشت که بایوچار موجب افـزایش جـذب کـود نیتروژن توسط گیاه شده، ولی گیاه به همان نسبت نتوانسته نیتـروژن جذب شده را تبـدیل بـه عملکـرد اقتصـادی کنـد. در همـین راسـتا، محققان گزارش کردند که کارایی فیزیولوژیـک نیتـروژن بـا افـزایش مقدار نیتروژن از ۵۰ به ۱۵۰ کیلوگرم نیتـروژن در هکتـار بـه صـورت خطی کاهش یافت (Ameri et al., 2007). در تحقیقی، چنین عنوان شد که کارایی فیزیولوژیک نیتروژن با افزایش مصرف نیتروژن کاهش می‌یابد. آنان نتیجه گرفتند که مصرف زیـاد کـود نیتـروژن از طریـق تحریک افزایش جذب نیترات و اشباع فرآیندهای متابولیسم نیتـروژن باعث کاهش نسبت کربن بـه نیتـروژن و در نتیجـه، کـاهش کـارایی فیزیولوژیک نیتروژن می‌شود (Jiang & Hull, 1988).

کارایی داخلی کود نیتروژن (IE_N)

با توجه به نتایج (جدول ۳) به‌دست آمده مشخص شد کـه میـزان کارایی داخلی کود نیتروژن تحت تأثیر اثر ساده کود، بـاکتری و همـه

برهم‌کنش‌های دوگانه و سه‌گانه عوامل فوق در سطح احتمال یک درصد و شیوه آبیاری در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت و تأثیر معنی‌داری را از خود نشان داد.

در بررسی اثر متقابل بین تیمارهای آزمایش مشخص شد (جدول ۴ و ۵) که بیشترین کارایی داخلی کود نیتروژن در شیوه آبیاری غرقاب (۱۴۴/۵۸) مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و بدون مصرف باکتری و تناوب (۱۶۸/۷۲) در تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + بدون مصرف بایوچار و باکتری است. کمترین کارایی داخلی کود نیتروژن در هر دو شیوه آبیاری غرقاب (۳۱/۸) و تناوبی (۳۵/۱۹) در تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و با مصرف باکتری به‌دست آمد. کارایی داخلی کود نیتروژن در واقع نشان‌دهنده کیلوگرم عملکرد به‌ازای کیلوگرم نیتروژن جذب شده است. و در واقع، توانایی گیاه برای تبدیل نیتروژن جذب شده از تمام منابع (خاک و کود) به عملکرد اقتصادی (دانه) می‌باشد. کارایی داخلی نیتروژن تا حد زیادی به ژنوتیپ، شاخص برداشت، محیط، تأثیر متقابل با سایر عناصر غذایی و عوامل دیگری که گل‌دهی و پرشدن دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهند، بستگی دارد (Dobermann & Fairhurst, 2000).

با توجه به نتایج حاصله، مشاهده می‌شود که کارآیی داخلی نیتروژن روندی مشابه با شاخص کارآیی فیزیولوژیک نیتروژن دارد. با این تفاوت که در کارایی داخلی منبع نیتروژن هم خاک و هم کود محسوب می‌شود، امّا در کارایی فیزیولوژیک تنها نیتروژن کود مدنظر است، در نتیجه در این شاخص نیز در هر دو شیوه آبیاری کمترین مقدار با مصرف ۲۰ تن بایوچار و ۱۰۰ درصد نیتروژن توصیه مشاهده شد، در واقع، می‌توان اظهار داشت که بایوچار موجب افزایش جذب نیتروژن کود و خاک توسط گیاه شده، ولی گیاه به همان نسبت نتوانسته نیتروژن جذب‌شده را تبدیل به عملکرد اقتصادی کند. در حقیقت در سطوح بالای کاربرد نیتروژن، نیتروژن تجمع‌یافته در اندام‌ها هم راستا با مصرف آن نیست. در مقابل وجود برخی خصوصیات زراعی و ژنتیکی بین ارقام مورد مطالعه می‌تواند تفاوت موجود در کارآیی داخلی نیتروژن را بین آن‌ها توجیه کند. کارایی داخلی نیتروژن با افزایش مقدار مصرف نیتروژن به‌طور نمایی کاهش یافته و ۲۴/۸ درصد از تغییر در کارایی داخلی نیتروژن را می‌توان با مقدار مصرف نیتروژن تفسیر کرد (Sheng-guo et al., 2015).

کارایی زراعی کود نیتروژن (AE_N)

با استناد به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) مشخص شد که تمام اثرات ساده و برهم‌کنش دوگانه آبیاری × کود و کود × باکتری و برهم‌کنش سه‌گانه آبیاری × کود × باکتری در سطح احتمال یک درصد بر کارایی زراعی کود نیتروژن معنی‌دار گردید؛ و تنها برهم‌کنش دوگانه شیوه آبیاری × باکتری اثر معنی‌داری نشان نداد.

با مقایسه میانگین‌ها (جدول۴ و ۵) در هر دو شیوه آبیاری غرقاب (۶۷/۰۶ کیلوگرم دانه به کیلوگرم کود نیتروژن مصرف شده) و تناوبی (۶۶/۶۶ کیلوگرم دانه به کیلوگرم کود نیتروژن مصرف شده) معلوم شد که بیشترین کارایی زراعی کود نیتروژن مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و به‌همراه مصرف باکتری بود کمترین میزان کارایی زراعی کود نیتروژن در هر دو روش آبیاری غرقاب (۴/۲۳ کیلوگرم دانه به کیلوگرم کود نیتروژن مصرف شده) و تناوبی (۱۰/۶۴ کیلوگرم دانه به کیلوگرم کود نیتروژن مصرف شده) مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری بود. جدول ۴ حاکی از آن است که در آبیاری غرقاب اختلاف بین کمترین (۱۰۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون باکتری) و بیشترین (۵۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و با باکتری) عملکرد کاه ۶۲/۸۳ کیلوگرم دانه به کیلوگرم کود نیتروژن مصرف شده می‌باشد. از طرفی، در آبیاری تناوبی تفاوت بین حداقل (۱۰۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون باکتری) و حداکثر (۵۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و با باکتری) این شاخص ۵۶/۰۲ کیلوگرم دانه به کیلوگرم کود نیتروژن مصرف شده بود (جدول ۳). همان‌گونه که نشان داده شد، در هر دو شیوه آبیاری، تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و با مصرف باکتری توانسته موجب افزایش کارایی زراعی کود نیتروژن شود، ولی میزان این تأثیر در شرایط آبیاری تناوبی بیشتر از غرقاب بوده است. در واقع، در هر دو شیوه آبیاری بیشترین میزان کارایی زراعی نیتروژن در پایین‌ترین میزان کود نیتروژن و بالاترین میزان بایوچار به‌دست آمد و کمترین میزان کارایی زراعی در بالاترین مقدار کود نیتروژن و عدم مصرف بایوچار به‌دست آمد، کارایی زراعی کود نیتروژن در واقع نشان‌دهنده کیلوگرم افزایش عملکرد به‌ازای کیلوگرم نیتروژن مصرف شده است، این شاخص حاصل بازیافت عنصر از کود آلی و معدنی و کارایی که با آن گیاه از هر واحد اضافی عنصر استفاده می‌کند، بستگی دارد. با توجه به قانون بازده نزولی در مورد مصرف عناصر غذایی مبنی بر اینکه واحدهای اولیه کود مصرفی تأثیر

بیشتری بر عملکرد دارند، هرقدر مصرف نیتروژن افزایش یابد، کارایی استفاده از آن کاهش می‌یابد (Liang et al., 2006) در گزارش محققان دیگری نیز به کاهش کارایی زراعی نیتروژن در اثر افزایش مصرف نیتروژن اشاره شده است (Aref et al., 2012; Malviya et al., 2012).

محققان گزارش کردند که با افزایش مقدار نیتروژن، کارایی زراعی نیتروژن در گل همیشه بهار کاهش یافته و از ۱۴ گرم گل خشک بر گرم نیتروژن در سطح ۵۰ به ۶ گرم گل خشک در گرم نیتروژن در سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، کاهش یافت (Ameri et al., 2007). نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش مقدار مصرف کود نیتروژن، کارایی زراعی کاهش یافت. این موضوع نشان می‌دهد که قابلیت افزایش عملکرد در هر کیلوگرم نیتروژن با افزایش مصرف کود نیتروژن به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد (Tayefe et al., 2011). در یک آزمایش که بیشتر از ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در زراعت برنج مصرف شد، کارایی زراعی مصرف نیتروژن کمتر از ۱۰ کیلوگرم بر کیلوگرم بود. کارایی زراعی مصرف نیتروژن منفی زمانی مشاهده شد که عملکرد دانه با مصرف کود نیتروژن کاهش یافت (Peng et al., 2011).

بهره‌وری نسبی نیتروژن (PEP_N)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) گویای این مطلب بود که تفاوت معنی‌دار بین شیوه‌های آبیاری، مصرف باکتری و سطوح مختلف کودی در سطح یک درصد از نظر کارآیی بهره‌وری نیتروژن وجود دارد، همچنین کلیه اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه به‌غیر از اثر متقابل شیوه آبیاری با مصرف باکتری بر این صفت تفاوت معنی‌دار نشان داد.

در اثر متقابل سه‌گانه شیوه آبیاری × کود × باکتری بیشترین کارایی بهره‌وری نیتروژن در هر دو شیوه آبیاری غرقاب (۱۱۰/۴۸ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن) و تناوبی (۹۱/۶۲ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن) مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و به‌همراه مصرف باکتری بود. همچنین کمترین مقدار این شاخص در هر دو شیوه آبیاری غرقاب (۲۵/۹۴ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن) و تناوبی (۲۳/۱۲ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن) در تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن به‌دست آمد (جدول ۴ و ۵). بهره‌وری نسبی نیتروژن در واقع نشان‌دهنده کیلوگرم عملکرد برداشت شده به‌ازای کیلوگرم نیتروژن مصرف شده است، این شاخص مهم‌ترین شاخص برای کشاورزان می‌باشد، تلفیقی ازکارایی نیتروژن مصرفی و بومی خاک است، عرضه زیاد نیتروژن بومی خاک و کارایی زراعی بالا اهمیت یکسانی در آن دارد. با بررسی جداول ۴ و ۵ تجزیه واریانس می‌توان اظهار داشت که کاربرد ۲۰ تن بایوچار به‌همراه ۵۰ درصد نیتروژن و با مصرف باکتری توانست موجب افزایش معنی‌دار بهره‌وری نسبی نیتروژن (۸۴/۵۴ کیلوگرم در آبیاری غرقاب و ۶۸/۵ کیلوگرم در آبیاری تناوبی دانه بیشتری در ازای مصرف نیتروژن کمتری) نسبت به شاهد ۱۰۰ درصد نیتروژن شود. در واقع با مصرف ۵۰ درصد نیتروژن توصیه شده همراه با ۲۰ تن بایوچار به‌میزان دانه بیشتری در برابر مصرف ۱۰۰ درصد نیتروژن توصیه شده و بدون مصرف بایوچار دست پیدا کردیم.

با توجه به نتایج حاصله، به نظر می‌رسد که مشابه با دو شاخص کارآیی مصرف نیتروژن و کارآیی جذب نیتروژن، شاخص کارآیی بهره‌وری نیتروژن نیز مستقیماً تابعی از عملکرد دانه برنج می‌باشد. در این آزمایش، با افزایش مصرف کود نیتروژن مقدار این شاخص کاهش یافت که این کاهش را می‌توان به‌دلیل وجود رابطه‌ی غیرخطی بین افزایش مصرف نیتروژن و بهبود عملکرد دانه مرتبط دانست. لازم به ذکر است که شاخص کارآیی مصرف نیتروژن حاصل‌ضرب شاخص‌های کارآیی بهره‌وری نیتروژن و کارآیی جذب نیتروژن می‌باشد. این اجزا حالت موازنه با یکدیگر را دارند. لذا، افزایش دریکی از این اجزاء با کاهش در جزء دیگر همراه خواهد شد (Fallah Talae Kalaei et al., 2014). در بسیاری از مطالعات گزارش شده است که کارآیی بهره‌وری نیتروژن با افزایش در مقدار نیتروژن مصرفی علی‌رغم افزایش در، عملکرد دانه، کاهش یافت (Bouman et al., 2005; Egamberdiyeva et al., 2004) به دلایل ذکر شده، با افزایش مصرف کود کاهش بهره‌وری نیتروژن امری اجتناب‌ناپذیر است، ولی با توجه جداول ۴ و ۵ مشاهده می‌شود با افزایش سطوح کود نیتروژن همراه با افزایش مصرف بایوچار بهره‌وری نیتروژن با شیب کم‌تری کاهش پیدا می‌کند و این امر نشان‌دهنده تأثیر بایوچار بر افزایش بهره‌وری کود نیتروژن می‌باشد. علاوه‌براین، بایوچار از لحاظ اقتصادی قابل توصیه می‌باشد، زیرا مصرف کودهای معدنی تجاری را کاهش می‌دهد (Steiner et al., 2006). تحقیقات نشان داده است که بایوچار موجب تغییرات پویایی نیتروژن در خاک می‌شود (Lehmann, 2007). محققان گزارش کردند که هوازدگی

بایوچار در خاک منجر به تثبیت نیتروژن می‌شود. همچنین، بسته به نوع مواد اولیه بایوچار و مدت زمان تماس آن با خاک، در سطوح بالای کاربرد بایوچار بین ۱۰ تا ۲۰ درصد وزنی آبشویی آمونیوم کاهش می‌یابد (Singh, 2012). علاوه‌براین محققان مشاهده کردند، در سطوح بالای مصرف بایوچار جذب نیتروژن افزایش یافت. از آنجا که نیتروژن جذب شده توسط گیاهان به‌شکل نیترات می‌باشد، بنابراین جذب آن به‌همراه کاتیون‌های اساسی به‌منظور حفظ تعادل الکتریکی ضروری می‌باشد. نیتروژن به فرم‌های نیترات و آمونیوم به‌میزان کمی در بایوچار یافت می‌شود. بنابراین، در دسترس بودن و سرعت معدنی شدن نیتروژن آلی موجود در بایوچار به‌کار رفته در خاک، نشان‌دهنده توانایی بایوچار در آزادسازی تدریجی نیتروژن موجود در کود می‌باشد (Chan et al., 2008).

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌ها، مصرف ۲۰ تن بایوچار به همراه ۷۵ تا ۱۰۰ درصد نیتروژن توصیه شده همراه با مصرف باکتری در شیوه آبیاری غرقاب و بدون مصرف باکتری در آبیاری تناوبی بیشترین تأثیر را بر میزان جذب و غلظت نیتروژن و پروتئین دانه برنج داشته است و متقابلاً کمترین میزان صفات مذکور در عدم مصرف بایوچار و باکتری و ۵۰ درصد نیتروژن توصیه شده به‌دست آمد. بالاترین میزان شاخص‌های کارایی نیتروژن با مصرف ۲۰ تن بایوچار به همراه ۵۰ تا ۷۵ درصد نیتروژن توصیه‌شده، همراه با مصرف باکتری در شیوه آبیاری غرقاب و بدون مصرف باکتری در آبیاری تناوبی حاصل شده است و کمترین اندازه شاخص‌های کارایی نیتروژن با استفاده از ۱۰۰ درصد نیتروژن توصیه‌شده و عدم مصرف بایوچار و باکتری به‌دست آمد. در نهایت می‌توان این‌طور اذعان داشت که مصرف هم‌زمان کود آلی و زیستی همراه با کود نیتروژن، قابلیت دسترسی و جذب نیتروژن را در مراحل مختلف رشد گیاه افزایش داده و در پی آن سبب بهبود شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن می‌شود، امّا در این رابطه دو نکته حائز اهمیت است: ۱- هرچند بایوچار با حفظ و نگه‌داری نیتروژن در خاک توانست جذب نیتروژن توسط گیاه و در پی آن، افزایش غلظت نیتروژن در دانه و اندام‌های گیاه برنج را افزایش دهد، امّا این میزان تأثیرگذاری بایوچار بر جذب نیتروژن با اندازه مصرف کود با یک نرخ افزایش نمی‌یابد. به عبارتی دیگر، در شرایط کاربرد مقدار زیاد کود نیتروژن یا وجود نیتروژن بالا در خاک، بایوچار تا حد زیادی موجب بیشتر و بهتر در دسترس قرار گرفتن کود نیتروژن برای گیاه می‌شود، ولی شیب افزایش میزان این تأثیرگذاری با بالا رفتن مصرف کود نیتروژن کاهش پیدا می‌کند. ۲- به‌کارگیری باکتری در شرایط غرقاب توانست موجب افزایش جذب و بهره‌وری نیتروژن توسط گیاه برنج شود، امّا در شرایط آبیاری تناوبی، به‌دلیل تر و خشک کردن متوالی زمین زراعی و در نتیجه، مهیا نبودن شرایط محیطی و رطوبت خاک برای فعالیت و رشد باکتری جذب و بهبود شاخص‌های کارایی نیتروژن برنج توسط باکتری *آزوسپریلیوم* به‌طور معنی‌داری بهبود نیافت.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و همچنین از تمام افرادی که ما را در انجام این طرح پژوهشی یاری نمودند، تشکر و قدردانی به‌عمل آورند.

Refrences

Agrawal, S., and Rathore, P., 2014. Nanotechnology pros and cons to agriculture: A review. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 3: 43-55. DOI: 10.13140/2.1.3352.1283

Ameri, A., Nassiri Mahallati, M., and Rezvani, P., 2007. Effects of different nitrogen levels and plant density on flower, essential oils and extract production and nitrogen use efficiency of Marigold (*Calendula officinalis* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 5 (2): 15-325. DOI: 10.22067/GSC.V5I2.1153 (In Persian with English Summary)

Amou-Aghai, R., Mostajeran, A., and Emtiyazi, G., 2003. The effect of *Azospirillum* on some growth and yield indices three wheat cultivars. Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources 127-138: (2)7. (In Persian with English Summary) https://doi.org/ 10.13140/2.1.3352.1283

Aref, M., Ali, A., Umair, M., Munsif, F., Ali, K., Inamullah, M.S., and Ayub, G., 2012. Effect of biochar FYM and mineral nitrogen alone and in combination on yield and yield components of maize. Sarhad Journal of Agriculture 28(2): 191-195.

Bashan, Y., and Holguin, G., 1997. *Azospirillum*–plant relationships: Environmental and physiological advances (1990–

1996). Canadian Journal of Microbiology 43(2): 103-121. DOI: 10.1139/m97-015
Basso, B., and Ritchie, J.T., 2005. Impact of compost, manure and inorganic fertilizer on nitrate leaching and yield for a 6-year maize-alfaalfa rotation in Michigan Agriculture Ecosystem and Enviroment 108: 329-341. DOI: 10.1016/j.agee.2005.01.011
Board, N., 2004.The complete technology book on bio-fertilizer and organic farming National Institute of Industrial Research (NIIR). pp: 620.
Bouman, B.A.M., Peng, S., Castaneda, A.R., and Visperas, R.M., 2005. Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. Agricultural Water Management 74: 87–105. DOI: 10.1016/j.agwat.2004.11.007
Busscher, W.J., Novak, J.M., Caesar-TonThat, T., and Sojka, R.E., 2007. Amendments to increase aggregation in United States southeastern coastal plain soils. Soil Science 172: 651–658. DOI: 10.1097/ss.0b013e3180601266
Cao, X., and Harris, W., 2010. Properties of dairy-manure-derived biochar pertinent to its potential use in remediation. Bioresource Technology 101: 5222-5228. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.02.052
Chan, K.Y., and Xu, Z.H., 2009. Biochar: Nutrient Properties and Their Enhancement. In: J. Lehmann, and S. Joseph (Eds.), Biochar for Environmental Management: Science and Technology (5 Ed., pp. 67-84). Earthscan.
Chan, K., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., and Joseph, S., 2008. Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment. Soil Research 45: 629-634. DOI: 10.1071/SR07109
Cheng, C.H., Lehmann, J., and Engelhard, M.H., 2008. Natural oxidation of black carbon in soils: Changes in molecular form and surface charge along a climosequence. Journal of Geochimica ET Cosmochimica Acta 72: 1598-1610. DOI: 10.1016/j.gca.2008.01.010
Ding, Y., Liu, Y.X., Wu, W.X., Shi, D.Z., Yang, M., and Zhong, Z.K., 2010. Evaluation of biochar effects on nitrogen retention and leaching in multi-layered soil columns. Water, Air, and Soil Pollution 213: 47-55. DOI: 10.1007/s11270-010-0366-4
Dobermann, A., and Fairhurst, T., 2000. Rice nutrient disorders and nutrient management. IRRI, Philippines, PPI, USA and PPIC, Canada, pp. 31-40.
Eastman, C.M., 2011. Soil Physical Characteristics of an Aeric Ochraqualf amended with Biochar. M.Sc. Thesis Ohio State University. Available online at: https://etd.ohiolink.edu/ap:10:0::NO:10:P10_ETD_SUBID:75152. Accessed 23 January 2014.
Egamberdiyeva, D., Juraeva, D., Poberejskaya, S., Myachina, O., Teryuhova, P Seydalieva, L., and Aliev, A., 2004. Improvement of wheat and cotton growth and nutrient uptake by phosphate solubilizing bacteria. Proceedings of the 26th Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture. Raleigh, North Carolina, 8 June, p. 58-66
Eidizadeh, M.K., Damghani, A.M., Sabahi, H., and Sufizadeh, S., 2010. Effects of biological fertilizer application in combination with chemical fertilizer on the growth of maize (*Zea mays* L.) in Shushtar. Journal of Agroecology 2(12): 292-301. (In Persian with English Summary). DOI: 10.22067/JAG.V2I2.7636
Emami, A., 1996. Plant Analytical MethodsSoil and Water Research Institute, Technical Bullten, No. 982. pp. 128. (In Persian)
Fageria, N.K., and Santos, A.B., 2018. Comparative efficiency of nitrogen sources for lowland rice production. Commun. Soil Science and Plant Analysis 49(5): 515-525. DOI: 10.1080/00103624.2018.1424892
Fageria, N.K. and Santos, A.B., 2008. Yield physiology of dry Bean. Journal of Plant Nutrition 31: 983-1004. DOI: 10.1080/01904160802096815
Fallah Talae-Kalaei, S., Bahmanyar, M.A., Sadeghzadeh, F., and Emadi, S.M., 2014. The impact of biochar application and urban waste compost on the status of soil sood nutrition under rice cultivation, 4th International Conference on Environmental Challenges and Tree Chronology, Sari, Caspian Ecosystems Research Institute, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. (In Persian)
Fields, S., 2004. Global nitrogen: cycling out of control. Environ. Health Perspect 112: 557-563. DOI: 10.1289/ehp.112-a556
Gaskin, J.W., Speir, R.A., Harris, K., Das, K.C., Lee, R.D., Morris, L.A., and Fisher, D.S., 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. Journal of Agronomy 102: 623-633. DOI: 10.2134/agronj2009.0083
Gentile, R., Vanlauwe, B., Van Kessel, C., Six, J., 2009. Managing N availability and losses by combining fertilizer-N with different quality residues in Kenya. Agriculture, Ecosystems and Environment 131: 308 314.

DOI: 10.1016/j.agee.2009.02.003

Ghaffari, H., Gholizadeh, A., Biabani, A., Fallah, A., and Mohammadian, M., 2018. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) application with different nitrogen fertilizer levels in rice (*Oryza sativa* L.). Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science 41: 701-714. (In Persian)

Guang, C., Tingting, C., Song, C., Chunmei, X., Xiufu, Z., and Danying, W., 2017. Polymer-coated urea application could produce more grain yield in super rice. Agronomy Journal 110: 246–259. DOI: 10.2134/agronj2017.07.0400

Herath, H.M., Arbestain, M.C., and Hedley, M., 2013. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: An Alfisol and an Andisol. Geoderma 209-210: 188–197. DOI: 10.1016/j.geoderma.2013.06.016

Hofmeier, M., Roelcke, M., Han, Y., Lan, T., Bergmann, H., and Bohm, D., 2015. Nitrogen management in a rice-wheat system in the Taihu region: Recommendations based on field experiments and surveys. Agriculture, Ecosystems and Environment 209: 60–73. DOI: 10.1016/j.agee.2015.03.032

Hollister, C.C., Bisogni, J.J., Lehmann, J., 2013. Ammonium, nitrate, and phosphate sorption to and solute leaching from biochars prepared from corn stover and oak wood. Journal of Environmental Quality 42: 137-144. DOI: 10.2134/jeq2012.0033

Hussain, M., Cheema, S.A., Abbas, R.Q., Ashraf, M.F., Shahzad, M., Farooq, M., and Jabran, K., 2018. Choice of nitrogen fertilizer affects grain yield and agronomic nitrogen use efficiency of wheat cultivars. Journal of Plant Nutrition 41: 2330-2343. DOI: 10.1080/01904167.2018.1509998

Jiang, Z., and Hull, R.J., 1998. Interrelationships of nitrate uptake, nitrate reductase, and nitrogen use efficiency in selected Kentucky bluegrass cultivars. Crop Science 38: 1623-1632. DOI: 10.2135/cropsci1998.0011183X003800060035x

Kamkar, B., Safahani-Langroudi, A., and Mohammadi, R., 2011. The use of minerals in crop nutrition (translation). Jihad University of Mashhad Publications. First Edition, Iran. 500 p. (In Persian).

Keshavarz, P., 2013. Management Strategies to Increase Nitrogen Consumption Efficiency in Agriculture. Land Management 1(1): 47-54.

Khorramjah, F., 2015. Introduction to Carboxymethylcellulose CMC and its applications in various industries, the first national conference on new techniques in laboratory equipment and materials of the Iranian oil industry, Tehran, https://civilica.com/doc/404011. (In Persian)

Koutcheiko, S., Monreal, C.M., Kodama, H., McCracken, T., and Kotlyar, L., 2006. Preparation and characterization of activated carbon derived from the thermo-chemical conversion of chicken manure. Bioresource Technology 98: 2459-2464. DOI: 10.1016/j.biortech.2006.09.038

Kramer, A.W., Doane, T.A., Horwath, W.R., and Van Kessel, C., 2002. Combining fertilizer and organic inputs to synchronize N supply in alternative cropping systems in California. Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment 91: 233-243. DOI: 10.1016/S0167-8809(01)00226-2

Krull, E.S., Baldock, J.A., Skjemstad, J.O., and Smernik, R.S., 2009. Characteristics ofbiochar: Organo-chemical properties. In Lehmann J. and S. Joseph (Eds.). Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earthscan: London, UK.

Laird, D.A., Fleming, P.D., Karlen, D.L., Wang, B., and Horton R., 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. Geoderma 158:436–442. DOI: 10.1016/j.geoderma.2010.05.012

Lehmann, J., and Joseph, S., 2015. Biochar for environmental management: Science, Technology and Implementation. Earthscan Press, London.

Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C., and Crowley, D., 2011. Biochar effects on soil biota- A review. Soil Biology and Biochemistry 43: 1812–1836. DOI: 10.1016/j.soilbio.2011.04.022

Lehmann, J., 2007. Bio-energy in the black. Frontiers in Ecology and the Environment. 5: 381-387. DOI: 10.1890/1540-9295(2007)5[381:BITB]2.0.CO;2

Lehmann, J., and Joseph, S., 2009. Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earthscan Publications Limited, London. DOI: 10.1021/es902266r

Lehmann, J., Gaunt, J., and Rondon, M., 2006. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems-A review. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 11(2): 403–427. DOI: 10.1007/s11027-005-9006-5

Lehmann, J., Da Silva, J.P., Steiner, C.J., Nehls, T., Zech, W., and Glaser, B., 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. Plant and Soil 249: 343–357. DOI: DOI: 10.1023/A:1022833116184#citeas

Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J.O., Theis, J., Luizao, F.J., Peterson, J., and Neves, E.G., 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. Soil Science Society of America Journal 70: 1719–1730. DOI: 10.2136/sssaj2005.0383

Malekotti, M.J., and Ghayibi, M.N., 2000. Determining the critical level of effective nutrients in soil, plants and fruits in order to increase the quality and quantity performance of strategic products of the country. Second edition. Agricultural Education Publication. 92 p.

Malviya, P., Jha, A.K., and Upadhyay, V.B., 2012. Effect of different proportions of vermicompost and fertilizers on growth and yield of scented rice and soil properties. Annals of Agricultural Research 33(4): 228-234.

Masto, R.E., Ansari, M.A., George, J., Selvi, V.A., and Ram, L.C., 2013. Coapplication of biochar and lignite fly ash on soil nutrients and biological parameters at different crop growth stages of *Zea mays* L. Ecological Engineering, 58: 314–322. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.07.011

Moallim, A.A., Kamal, M.R., Muhammed, H.H., Mohd Soom, M.A., Zawawi M.A.M., Wayayok A., Che Man, H.B., 2018. Assessment of nutrient leaching in flooded paddy rice field experiment using Hydrus-1D. Water 10(6):785-803. DOI: 10.3390/w10060785

Moradi, A., and Aminian, M., 2012. Inventory of Iran greenhouse gas emissions in 2010. Science Cultivation 3(1): 55-59. DOI: 20.1001.1.2008935.1391.03.1.7.0

Motesharezadeh, B., Valizadeh-Rad, K., Dadrasnia, A., and Amir-Mokri, H., 2017. Trend of fertilizer application during the last three decades (Case study: America, Australia, Iran and Malaysia). Journal of Plant Nutrition 40(4): 532-542. DOI: 10.1080/01904167.2016.1250909

Nezarat, S., and Gholami, A., 2009. The role of double inoculation of *Azospirillum* and *Pseudomonas* bacteria in improving nutrient uptake. Journal of Agricultural Ecology 1(1): 32-25. DOI: 10.22067/JAG.V1I1.2651 (In Persian)

Nie, L., Peng, S., Chen, M., Shah, F., Huang, J., Cui, K., and Xiang, J. (2011). Aerobic rice for water-saving agriculture. A review. Agronomy for Sustainable Development, 32: 411-418. DOI: 10.1007/s13593-011-0055-8

Nigussie, A., 2012. Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (*Lactuca sativa* L.) grown in chromium polluted soils. Journal of Agricultural and Environmental 12(3): 369-376. DOI:

Nolan, B.T., Hitt, K.J., and Ruddy, B.C., 2002. Probability of nitrate contamination of recently recharged groundwaters in the conterminous United States. Environmental Science and Technology 36: 2138-2145. DOI: 10.1021/es0113854

Novak, J.M., Busscher, W.J., Laird, D.L., Ahmedna, M., Watts, D.W., and Niandou, M.A.S., 2009. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. Soil Science 174: 105-112. DOI: 10.1097/SS.0b013e3181981d9a

Paz-Ferreiro, J., Fu, S., Mendez, A., and Gasco, G., 2014. Interactive effects of biochar and the earthworm (*Pontoscolex corethrurus* L.) on plant productivity and soil enzyme activities. Journal of Soils and Sediments 14: 483–494. DOI: 10.1007/s11368-013-0806-z

Pedraza, R.O., Bellone, C.H., Bellone, S.C.D., Sorte, P.M.F.B., and Teixeira, K.R.D.S., 2009. *Azospirillum* inoculation and nitrogen fertilization effect on grain yield and on the diversity of endophytic becteria in the phyllosphere of rice rainfed crop. European Journal of Soil Biology 36-43. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2008.09.007

Peng, S., Buresh, R.J., Huang, J., Yang, J., Zou, Y., Zhong, X., Zou, Y., Yong, J., Wang, G., Liu, Y., Hu, R., Tang, Q., and Cui, K., 2011. Improving nitrogen fertilization in rice by site-specific N management. Journal of Sustainable Agriculture 2: 943-952. DOI: 10.1051/agro/2010002

Peoples, M.B., Gault, R.R., Scammell, G.J., Dear, B.S., Virgona, J., Sandral, G.A., Paul, J., Wolfe, E.C., and Angus, J.F., 2002. Effect of pasture management on the contributions of fixed N to the N economy of ley-farming systems. Australian Journal of Agricultural Research 49: 459-474. DOI: 10.1071/A97014

Pietikainen, J., Kiikkila, O., and Fritze, H., 2000. Charcoal as a habitat for microbes and its effect on the microbial community of the underlying humus. Oikos 89: 231-242. DOI: 10.1034/j.1600-0706.2000.890203.x

Prasad, L.R.V., and Mailapalli, D.R., 2018. Evaluation of nitrogen fertilization patterns using DSSAT for enhancing grain yield and nitrogen use efficiency in rice. Communications Soil Science and Plant Analysis 1-17. DOI: 10.1080/00103624.2018.1464180

Ray, D.K., Mueller, N.D., West, P.C., and Foley, J.A., 2013. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. PloS One 8(6): 1-8. DOI: 10.1371/journal.pone.0066428

Redfern, S.K., Azzu, N., and Binamira, J.S., 2013. Rice in southeast Asia: Facing risks and vulnerabilities to respond to

climate change. In Proceedings of a Joint FAO/OECD Workshop, Rome, Italy, 23-24 April 2012, p.295-314.

Ri-Feng, K., Zhang, N.M., Jing, S., Li, B., and Zhang, C.G., 2014. Effect of biochar-based fertilizer on soil fertility, wheat growth and nutrient absorption. Soil and fertilizers 6: 33-38.

Roberts, T.L., 2008. Improving nutrient use efficiency. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 32: 177-182.

Sarcheshmehpour, M., Sawaghebi, G., Saleh-Rastin, N., Alikhani, H.A., and Pourbabaei, A., 2009. Isolation, screening, relative identification and determination of salinity and drought tolerance of superior isolates of growth-promoting rhizosphere bacteria (PGPR) of pistachio trees. Iranian Soil and Water Research 40(2). DOI: 20.1001.1.2008479.1388.40.2.10.4 (In Persian with English Summary)

Semenov, M.A., Jamieson, P.D., and Martre, P., 2007. Deconvoluting nitrogen use efficiency in wheat: A simulation study. European Journal of Agronomy 26: 283-294. DOI: 10.1016/j.eja.2006.10.009

Sharpe, R.R., Harper, L.A., Giddens, J.E., and Langdale, G.W., 2001. Nitrogen use efficiency and nitrogen budget for conservation tilled wheat. Soil Science Society of America Journal.52: 1349-1398. DOI: 10.2136/sssaj1988.03615995005200050035x

Sheng-guo, C., Bing-qiang, Z., Yan-ting, L., Liang, Y., Wei, L., Zhian, L., Shu-wen, H., and Bing, S., 2015. Review grain yield and nitrogen use efficiency in rice production regions in China. Journal of Integrative Agriculture 14(12): 2456–2466. DOI: 10.1016/S2095-3119(15)61228-X

Singh, M., 2012. Influence of organic mulching and nitrogen application on essential oil yield and nitrogen use efficiency of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). Archives of Agronomy and Soil Science 59: 273-279. DOI: 10.1080/03650340.2011.608157

Steiner, C., Glaser, B., Teixeira, W.G., Lehmann, J., Blum, W.E.H., and Zech, W., 2008. Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 171: 893-899. DOI: 10.1002/jpln.200625199

Tayefe, M., Gerayzade, A., Amiri, E., and Nasrollahzadeh, A., 2014. Effect of nitrogen on rice yield, yield components and quality parameters. African Journal of Biotechnology 13(1): 91-105. DOI: 10.5897/AJB11.2298

Turan, M., Ataoglu, N., and Sahin, F., 2006. Evaluation of the capacity of phosphate solubilizing bacteria and fungi on different forms of phosphorus in liquid culture. Journal of Sustainable Agriculture 28: 99-108. DOI: 10.1300/J064v28n03_08

Turgut, I., Bilgili, U., Duman, A., and Acikgoz, E., 2005. Effect of green manuring on the yield of sweet corn. Journal of Agronomy for Sustainable Development 25(4): 433-438. DOI: 10.1051/agro:2005044

Unkovich, M.J., and Pate, J.S., 2000. An appraisal of recent field measurements of symbiotic N_2 fixation by annual legumes. Field Crops Research 65: 211-228. DOI: 10.1016/S0378-4290(99)00088-X

Van Zwieten, V.L., Singh, B., Joseph, S., Kimber, S., Cowie, A., Chan, Y.K., 2009. Biochar and emissions of non-CO_2 greenhouse gases from soil. In: J. Lehmann and Joseph S. (Eds.), Biochar for Environmental Management Science and Technology. Earthscan Press, London, pp. 227-249.

Warnock, D.D., Lehmann, J., Kuyper, T.W., and Rillig, M.C., 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil–concepts and mechanisms. Plant and Soil 300: 9-20. DOI: 10.1007/s11104-007-9391-5

Worrall, V.S. and Roughly, R.J., 1976. The effects of moisture stress on infection of *Trifolium subteerraneum* L. by *Rhizobioum trifoli* Dang. Journal of Experimental Botany 27: 1233-1241. DOI: 10.1093/jxb/27.6.1233

Wu, L., Yuan, Huang, S.L., Sun, F., Zhu, G., Li, G., Fahad, S., Peng, S., and Wang, F., 2016. Physiological mechanisms underlying the high-grain yield and high-nitrogen use efficiency of elite rice varieties under a low rate of nitrogen application in China. Frontiers in Plant Science 7: 1-12. DOI: 10.3389/fpls.2016.01024

Xina, Y., Wenhaia, M., Shaofub, W., Lianghuana, W., and Jianqiuc, C., 2017. Rice responses to single application of coated urea on yield, dry matter accumulation and nitrogen uptake in Southern China. Journal of Plant Nutrition 40(15): 2181-191. DOI: 10.1080/01904167.2017.1346675

Yang, Y.C., Zhang, M., Zheng, L., Cheng, D.D., Liu, M., and Geng, Y.Q., 2011. Controlled release urea improved nitrogen use efficiency, yield, and quality of wheat. Agronomy Journal 103(2): 479-485. DOI: 10.2134/agronj2010.0343

Zhang, A.P., Liu, R.L., Gao, J., Zhang, Q.W., Xiao, J.N., Chen, Z., Yang, S.Q., Hui, J.Z., and Yang, L.Z., 2014. Effects of biochar on nitrogen losses and rice yield in anthropogenic alluvial soil irrigated with NingxiaYellow river water. Journal of Agro-Environment Science 33: 2395-2403.

Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

CC BY

Research Article
Vol. 14, No. 4, Winter 2023, p. 671-691

Investigation of the Effect of Different Amounts of Nitrogen Fertilizer on Yield, Yield Components and Nitrogen Use Efficiency of Two Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) Cultivars in Southern Khuzestan Province

Payvand Papan[1], Ali Mokhtaran[2*] and Sajjad Ansari ardali[3]

Received: 28-10-2020
Revised: 24-07-2021
Accepted: 27-07-2021
Available Online: 27-07-2021

How to cite this article:
Papan, P., Mokhtaran, A., and Ansari Ardali, S., 2023. Investigation of the effect of different amounts of nitrogen fertilizer on yield, yield components and nitrogen use efficiency of two quinoa *(Chenopodium quinoa Willd.)* cultivars in southern Khuzestan province. Journal of Agroecology 14(4): 671-691.
DOI: 10.22067/agry.2021.20327.0

Introduction

Salinity is one of the most important environmental stresses that affect crop production. In all areas where irrigation is essential for crop production, soil salinity is inevitable . This phenomenon has gradually become a major problem in arid and semi-arid regions of Iran. Among the strategies to deal with abiotic stresses are the development of salinity tolerant cultivars, crop rotation, genetic modification, use of appropriate organic and chemical fertilizers.

Quinoa is a promising species of halophyte that has the potential to become a crop. Quinoa, scientifically known as Chenopodium quinoa willd, is a dicotyledonous plant belonging to the Chenopodiaceae family of spinach and is often self-pollinating. Salinity stress has great effects on plant growth, seed quality and grain yield even in saline plants such as quinoa. Due to plant growth salinity, total grain yield, number of seeds, fresh and dry weight of seeds are reduced. Nitrogen is one of the essential nutrients for plant growth. Nitrogen fertilizers play an essential role in increasing yield as well as improving grain quality. Quinoa needs a lot of soil nitrogen and the use of nitrogen fertilizer is very important for crop growth during the vegetative growth period of quinoa.

Quinoa cultivation, especially by using drainage in the southern regions of Iran as a salinity-resistant crop, will lead to diversification of crops, sustainable production, and increase farmers' incomes and food security. Considering that agriculture and supply of nitrogen required by the plant is very important in order to increase crop production with optimal yield, the amount of fertilizer used and also the appropriate cultivar need to be investigated and a step to determine the best cultivar and the best level of nitrogen fertilizer and its effect on yield, yield components, grain protein concentration and efficiency of nitrogen application under irrigation conditions of sugarcane fields in the south of Khuzestan province.

Materials and Methods

This research was carried out in field conditions in the 97th crop year in Mirza Kuchak Khan Sugarcane Cultivation and Industry Company in the form of split plots in a randomized complete block design with three replications. Factors include urea fertilizer at four levels: 0 (control), 75, 150, 225 kg / ha) as the main factor and two quinoa cultivars (Titi Kaka: V1 and Gizavan: V2) as the secondary factor in Was considered.

Results and Discussion

1- Ph.D. of Soil Science, Expert of Khuzestan Water and Electricity Organization, Iran.
2- Ph.D. of Irrigation and Drainage, Assistant Professor of Agricultural Technical and Engineering Research, Khuzestan Agricultural Research and Training Center and Natural Resources, Agricultural Education and Extension Research Organization of Iran, Iran.
3- Ph.D. of Crop Physiology, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
(*- Corresponding author's Email: alimokhtaran@gmail.com)

The results showed that the interaction of nitrogen and cultivar on leaf area index, number of inflorescences per plant, grain yield, biological yield and grain protein were significant. The highest plant height, stem diameter and leaf area index belonged to 225 kg N / ha. The highest grain yield in Gizavan cultivar (2363 kg / ha) was obtained at the level of 150 kg N / ha and then decreased, but in Titi Kaka cultivar the highest grain yield (2372 kg / ha) was obtained at the level of 225 kg N / ha. Obtained and the reaction was linearly reduced to the highest level of nitrogen fertilizer. The highest amount of grain protein was observed in Gizavan cultivar with application of 150 kg N / ha, which was 138% higher than the control treatment. Based on the obtained results, Gizavan Quinoa cultivar can be a very suitable choice for saline and low-yield fields in the south of Khuzestan province.

Conclusion

According to the results of the study, increasing the application of nitrogen fertilizer increased the yield and yield components and grain nitrogen. Application of 150 kg nitrogen per hectare in Gizavan cultivar with an average yield of 2.36 tons per hectare in the climate of southern Khuzestan province along with the application of drainage from sugarcane cultivation produced the highest grain yield. Quinoa due to its high genetic diversity and adaptation to different climates, high nutritional value and high efficiency of resource use, can be a suitable plant for the use of unconventional soil and water resources in the south of Khuzestan province. It is recommended that future tests be performed on quinoa at different locations with different cropping methods and other fertilizer levels to ensure that the results are relatively consistent over time.

Keywords: leaf area index, Gizavan, grain protein, Titi Kaka.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

بررسی اثر مقادیر مختلف کود نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن دو رقم کینوا (*Chenopodium quinoa Willd.*) در استان خوزستان

پیوند پاپن[1]، علی مختاران[2]* و سجاد انصاری اردلی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۰۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۵/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۵

پاپن، پ.، مختاران، ع.، و انصاری اردلی، س.، ۱۴۰۱. بررسی اثر مقادیر مختلف کود نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن دو رقم کینوا (*Chenopodium quinoa Willd.*) در استان خوزستان. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۴): ۶۹۱-۶۷۱.

چکیده

یکی از راه‌های استفاده و بهره‌برداری از آب و اراضی شور استفاده از گیاهان متحمل به شوری مانند کینوا است. مدیریت عناصر غذایی مانند نیتروژن در خاک‌های شور می‌تواند اثرات منفی شوری بر رشد و عملکرد گیاهان را کاهش دهد. به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد، پروتئین دانه و کارایی مصرف نیتروژن دو رقم کینوا (*Chenopodium quinoa Willd.*) در شرایط آبیاری با زه‌آب مزارع نیشکر، آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۹۸- ۱۳۹۷در شرکت کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان در جنوب غرب خوزستان به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. چهار سطح کود نیتروژن شامل صفر (شاهد)، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار از منبع کود اوره به‌عنوان فاکتورکرت اصلی و دو رقم کینوا شامل تیتی‌کاکا و گیزاوان به‌عنوان فاکتورکرت فرعی در نظر گرفته شد. صفات مورد مطالعه شامل:ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد گل‌آذین، وزن هزار دانه، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، کارایی مصرف نیتروژن و محتوی پروتئین دانه بود. نتایج نشان داد که برهم‌کنش نیتروژن و رقم بر شاخص سطح برگ، تعداد گل‌آذین در بوته، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و پروتئین دانه معنی‌دار بود. بیشترین ارتفاع گیاه، قطر ساقه و شاخص سطح برگ در نتیجه کاربرد تیمار ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد. بیشترین عملکرد دانه در رقم گیزاوان (۲۳۶۳ کیلوگرم در هکتار) در سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد و پس از آن کاهش یافت، امّا در رقم تیتی‌کاکا بیشترین عملکرد دانه (۲۳۷۲ کیلوگرم در هکتار) در سطح ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد و واکنش آن تا بالاترین سطح کود نیتروژن به‌صورت خطی بود. بیشترین مقدار پروتئین دانه در رقم گیزاوان با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد که ۱۳۸ درصد بیشتر از شاهد بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده، رقم گیزاوان کینوا می‌تواند انتخاب بسیار مناسبی برای زمین‌های شور و کم بازده در جنوب استان خوزستان باشد.

واژه‌های کلیدی: پروتئین دانه، تیتی‌کاکا، شاخص سطح برگ، گیزاوان

۱- دکترای خاکشناسی، کارشناس سازمان آب و برق خوزستان، ایران.
۲- دکتری آبیاری و زهکشی، استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی ایران، ایران.
۳- دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: alimokhtaran@gmail.com)

DOI: 10.22067/agry.2021.20327.0

مقدمه

شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که تولید محصولات زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در تمام مناطقی که آبیاری برای تولید محصولات زراعی ضروری است، شور شدن خاک نیز امری غیرقابل اجتناب است (Flowers& Flowers, 2005). این پدیده به‌تدریج به یک مشکل عمده در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران تبدیل شده است. از جمله راهکارهای مقابله با تنش‌های غیرزیستی می‌توان به توسعه ارقام متحمل به شوری، تناوب کشت محصول، اصلاح ژنتیکی، استفاده از کودهای آلی و شیمیایی مناسب اشاره کرد (Chakraborty et al., 2011).

یک گونه امیدبخش هالوفیت که قابلیت بالایی جهت تبدیل به یک محصول زراعی دارد، کینوا می‌باشد. کینوا با نام علمی *Chenopodium quinoa Wild.* یک گیاه دولپه‌ای متعلق به خانواده اسفناج Chenopodiaceae و غالباً خودگشن است. دانه کینوا یک منبع غنی از پروتئین، فیبر، آهن، اسیدهای آمینه ضروری می‌باشد (Bhargava et al., 2006). سازمان خواروبار جهانی علاوه‌بر نام‌گذاری سال ۲۰۱۳ میلادی به‌نام کینوا، این گیاه را یک محصول راهبردی برای امنیت غذایی دنیا معرفی کرده است، در ۳۰ سال گذشته سطح زیر کشت کینوا افزایش سریعی داشت، به‌طوری‌که در جنوب آمریکا از ۳۶ هزار هکتار در سال ۱۹۸۰ به ۸۳ هزار هکتار در سال ۲۰۰۹ رسید.در حال حاضر کینوا در بیش از ۱۰۰ کشورکشت می شود. عملکرد کینوا بسته به رقم بین ۱۱۲۰ تا ۶۰۰۰ کیلو گرم در هکتار است (FAO, 2012).

تنش شوری تأثیرات زیادی بر رشد گیاه، کیفیت بذر و عملکرد دانه حتی در گیاهان شورزی مانند گیاه کینوا دارد. در اثر شوری رشد گیاه، عملکرد کل دانه، تعداد دانه، وزن تر و خشک دانه کاهش می‌یابد (Koyro & Eisa, 2008). تحقیقات در رابطه با عکس‌العمل کینوا نسبت به شوری نمک‌های مختلف و صفات متأثر از آن انجام گرفته (Wu et al., 2016) و پیشنهاد شده است که در تحقیقات مزرعه‌ای، پاسخ ارقام مختلف کینوا به تنش‌های غیرزنده بررسی شود. پترسون و مورفی (Murphy&Peterson, 2015) علاوه‌بر اینکه تنوع قابل توجه ارقام کینوا در تحمل به شوری را نشان دادند، کاهش ۴۳ تا ۷۳ درصد عملکرد در بین ارقام، کاهش شاخص سبزینگی برگ و کاهش ارتفاع گیاه در شرایط شور را گزارش کردند. شابالا و همکاران (Shabala et al., 2013) نیز تفاوت‌های ژنوتیپی تحمل به شوری در کینوا را گزارش کردند.

کینوا بهترین گیاه برای کشت در خاک‌هایی که شوری ۱۹ دسی‌زیمنس بر متر و بالاتر از آن دارند، می‌باشد (Wilson et al., 2002). کاهش عملکرد مشخصی در برخی ژنوتیپ‌ها کینوا رشد کرده در خاک شور با شوری ۴۰-۵۰ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده نشده است. جالب است که افزایش ناچیزی در عملکرد دانه کینوا رشد کرده در خاک شور با شوری ۱۵-۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شده است. جمالی و همکاران (Jamal et al., 2016) تأثیر سطوح مختلف شوری را بر جوانه‌زنی و شاخص‌های رشد دو رقم گیاه کینوا بررسی کردند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که گیاه کینوا به سطوح بالای شوری در مرحله جوانه‌زنی مقاوم بوده و می توان با اعمال مدیریت مناسب درمزرعه، استقرار این گیاه را در شرایط وجود آب و خاک شور تضمین نمود. تحقیق مزرعه‌ای با هدف بررسی تأثیر کیفیت آب آبیاری با شوری شامل ۱/۵، ۴، ۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر نشان داد که بیشترین و کم‌ترین عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به شوری ۴ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر بود (Algosaibi et al., 2015).

نیتروژن از جمله عناصری است که کمبود آن در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک قابل توجه است، زیرا مقدار مواد آلی که عمده ترین منبع ذخیره نیتروژن هستند در این مناطق خیلی کم بوده و در صورت وجود، سریع تجزیه می‌شود (Mengel, 1992). نیتروژن یکی از عناصر غذایی ضروری برای رشد گیاه است. کودهای نیتروژنی نقش اساسی در افزایش عملکرد و همچنین بالا بردن کیفیت دانه ایفا می‌کنند (Lotfollahi, 2012). نیاز کینوا به نیتروژن خاک زیاد بوده و مصرف کود نیتروژن برای رشد محصول در طول دوره رشد رویشی کینوا بسیار مهم است (Erley et al., 2005). از سوی دیگر، نیاز کودی کینوا به‌دلیل تنوع شرایط اکولوژیکی در سرتاسر دنیا هنوز تحت مطالعه است. برای مثال ایرلی و همکاران (Erley et al., 2005) گزارش دادند که کینوا به‌شدت به کود نیتروژنه پاسخ می‌دهد و کاربرد ۱۲۰کیلوگرم نیتروژن در هکتار در خاک لومی عملکرد بیشتر از ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار را نشان داده است و عملکرد دانه نسبت به شاهد ۹۴ درصد رشد داشته است. بسرا و همکاران (Basra et al., 2014) اظهار داشتند میزان ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بهترین مقدار کود نیتروژن برای رشد و نمو کینوا و دستیابی به حداکثر عملکرد اقتصادی

در شرایط آب و هوایی مصر است. شمس (Shams, 2012) در بررسی واکنش کینوا به سطوح مختلف کود نیتروژن (۳۶۰،۲۷۰،۱۸۰، ۹۰ و ۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار) دریافت که با افزایش سطوح نیتروژن تا بالاترین سطح، عملکرد بیولوژیکی کینوا افزایش یافت و افزایش مقادیر نیتروژن نه تنها منجر به افزایش رشد محصول و تولید زیست‌توده کل گردید، بلکه کیفیت دانه را تحت تأثیر قرار داد.

با توجه به افزایش وسعت زمین‌های شور و کمبود منابع آبی در کشور، استفاده از منابع موجود به‌صورت صحیح و کاربرد آب‌های نامتعارف مانند آب زهکش‌ها، آب‌های شور و پساب‌ها یکی از مهم‌ترین اهداف در بخش کشاورزی می‌باشد. استفاده مجدد از زه‌آب کشاورزی، یکی از روش‌های مدیریت زه‌آب می‌باشد (Yazar et al., 2015). به‌طور معمول، زه‌آب در مقایسه با آب آبیاری ازکیفیت پایین‌تری برخوردار است. برای به حداقل رساندن اثرات مخرب‌کوتاه‌مدت و بلندمدت زه‌آب‌ها بر محیط زیست، تولیدات گیاهی، حاصلخیزی خاک و کیفیت منابع آب، توجه به مسائل مدیریتی در پروژه‌ها و حوضه‌های آبریز حائز اهمیت است. به‌علاوه با استفاده از زه‌آب برای آبیاری، مشکلات ناشی از تخلیه زه‌آب‌ها به حداقل رسیده و احتمال آلودگی منابع آب نیز کاهش می‌یابد (Hassan Aghli, 2005). خانعلی و همکاران (Khanali et al., 2016) نشان دادندکه استفاده از زه‌آب در صورت مدیریت صحیح، علاوه‌بر اینکه از هدر رفتن مقادیر زیاد آب جلوگیری کرد، در مواردی باعث بهبود کمّی وکیفی خاک و گیاه گردید.

مطالعات انجام شده در ایالات متحده آمریکا نشان داد که زه‌آب حاصل از فعالیت‌های کشاورزی، مهم‌ترین منبع آلودگی آب دریاچه‌ها در این کشور است (United Statets Environmental Protection Agency, 1990). بهداروندی و هوشمند (Behdarvandi & Hooshmand, 2007) کیفیت زه‌آب‌های کشاورزی کشت و صنعت‌کارون در استان خوزستان را برای استفاده مجدد درکشاورزی با استانداردهایی نظیر طبقه‌بندی ویلکاکس مطالعه کردند. نتایج نشان داد که آب برخی از زه‌آب‌ها در کلاس سه (شوری زیاد) که برای مصارف کشاورزی قابل قبول و برخی دیگر از نظر شوری در کلاس چهار (شوری خیلی زیاد) که برای مصارف کشاورزی غیرقابل قبول می‌باشند، قرار داشتند. طبق جدول ویلکاکس، از نظر درصد سدیم کلیه زهکش‌ها در گروه یک (عالی تا خوب) و از نظر اسیدیته مطلوب بودند. در تولید محصولات‌کشاورزی، کیفیت زه‌آب تعیین‌کننده نوع گیاه مناسب کشت از نظر آبیاری است. اگر ویژگی‌های آب، خاک و گیاهان مورد نظر شناخته شده باشد، امکان استفاده مجدد از زه‌آب زراعی وجود دارد و می‌توان آن را از لحاظ اقتصادی مدیریت نمود (Yazar et al., 2017).

در استان خوزستان تولید زه‌آب از فعالیت‌های مختلف به‌ویژه کشاورزی، یکی از مشکلات جدی است. در این استان در مجموع، نزدیک چهار میلیارد مترمکعب زه‌آب در سال تولید می‌گردد (KWPA Report, 2011). کشت کینوا به‌ویژه با استفاده از زه‌آب در مناطق جنوبی ایران به‌عنوان یک گیاه زراعی مقاوم به شوری موجب ایجاد تنوع در محصولات زراعی، تولید پایدار و ایجاد افزایش درآمد کشاورزان و امنیت غذایی خواهد شد. با توجه به اینکه به‌زراعی و تامین نیتروژن مورد نیاز گیاه در جهت افزایش تولید محصول با عملکرد مطلوب بسیار با اهمیت است، بنابراین نیاز است تا میزان کود مصرفی و همچنین رقم مناسب بررسی گردیده و گامی در جهت تعیین رقم برتر و بهترین سطح کود نیتروژن و تاثیر آن بر عملکرد، اجزای عملکرد، غلظت پروتئین دانه و کارایی مصرف نیتروژن در شرایط آبیاری با زه‌آب مزارع نیشکر(*Saccharum officinarum*) جنوب استان خوزستان برداشته شود.

مواد وروش‌ها

این تحقیق در شرایط مزرعه‌ای در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در شرکت کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان (طول جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲ دقیقه شمالی وعرض جغرافیایی ۶۲ درجه و ۲۹ دقیقه شرقی) با ارتفاع ۴۵ متر از سطح دریا انجام گردید، بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی آبادان و خرمشهر میانگین بارندگی سالانه ۱۶۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۲۵/۴ درجه سانتی‌گراد (میانگین دمای دوره رشد ۱۷ درجه سانتی‌گراد) و رطوبت نسبی ۴۷/۱ درصد می‌باشد. خاک‌های منطقه دارای رژیم رطوبتی اریدیک و رژیم حرارتی مزیک می‌باشند. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ و کیفیت آب آبیاری در جدول ۲ نشان داده شده است.

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورها شامل کود اوره در چهار سطح: N_{1-4} (۰ (شاهد)، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار) به‌عنوان فاکتور اصلی و دو رقم کینوا (تیتی‌کاکا: V_1 و گیزاوان: V_2) به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (عمق ۷۵-۰ سانتی‌متری)

Table 1- Some physical and chemical properties of the soil (depth 0-75 cm)

عمق Depth (cm)	بافت Texture	شوری EC ($dS.m^{-1}$)	واکنش pH	نیتروژن Total. N (%)	سدیم Na^+ ($meq.l^{-1}$)	پتاسیم K^+ ($meq.l^{-1}$)	کلر Cl^- ($meq.l^{-1}$)	فسفر P (ava) (mg.kg)	ظرفیت زراعی FC (%)	نقطه پژمردگی PWP (%)
0-25	Clay loamy رسی لومی	5.25	7.98	0.026	28.93	0.45	26.25	4.35	40.83	19.97
25-50	Clay رسی	2.55	8	0.014	13.25	0.16	16.25	4.15	33.5	15.09
50-75	Silty clay loam سیلتی رسی لومی	2	8.01	0.012	11.57	0.14	12.5	3.71	46.98	17.22

جدول ۲- ویژگیهای آب استفاده شده

Table 2- Properties of the water used

منبع آب Source of water	شوری EC ($dS.m^{-1}$)	واکنش pH	کل املاح محلول TDS ($meq.l^{-1}$)	نسبت جذب سدیم SAR	کلر Cl^- ($meq.l^{-1}$)	کلسیم Ca^{2+} ($meq.l^{-1}$)	منیزیم Mg^{2+} ($meq.l^{-1}$)	سدیم Na^+ ($meq.l^{-1}$)
Karun کارون	2.72	8.50	1792.89	8.96	18.83	4.39	4.10	18.34
Sugar-cane drainage زهاب نیشکر	7.75	7.88	5225.62	10.20	42.37	16.70	17.35	42.60

عملیات تهیه زمین توسط گاوآهن برگردان‌دار و دو دیسک عمود برهم و ماله (تسطیح زمین) انجام گردید. بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه کودی، کود پتاس به‌میزان ۷۵ کیلوگرم از منبع سولفات پتاسیم و فسفر به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار ازمنبع سوپر فسفات تریپل مورد استفاده قرار گرفت. تیمارکودی نیتروژن در سه نوبت به‌صورت پایه و دو نوبت سرک در ابتدای مراحل چهار تا شش برگی و شروع گل‌دهی بر اساس تیمارهای آزمایش اعمال گردید. کاشت بذر (رقم تیتی‌کاکا و گیزاوان تهیه شده از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر-کرج) در ۱۵ آبان ماه سال ۱۳۹۷ به‌صورت جوی و پشته‌ای (بر روی خط داغاب) و با دست انجام شد. هرکرت شامل شش خط کشت به‌طول چهار متر بود. فاصله دو بوته حدود۱۰-۷ سانتی‌متر و فاصله خطوط ۵۰ سانتی‌متر (تراکم ۳۳ بوته در مترمربع) در نظر گرفته شد. دو آبیاری اول کرت‌ها با آب کارون بفاصله پنج روز، در جهت مقابله با سله خاک و جوانه‌زنی بهتر بذرها انجام گردید. سپس جهت آبیاری، از زه‌آب حاصل از زهکش‌های کشت و صنعت میرزا کوچک خان استفاده گردید. آبیاری بر اساس کمبود رطوبت خاک صورت گرفت. قبل از آبیاری نمونه رطوبت خاک گرفته شده و رطوبت خاک به‌صورت وزنی در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد و با توجه به حداکثر تخلیه مجاز که با توجه به مقاوم بودن گیاه به خشکی و شوری معادل ۷۰ درصد ظرفیت نگهداری آب در خاک در نظر گرفته شد تا عمق مؤثر ریشه (۵۰ سانتی‌متر) انجام شد (Algosaibi et al., 2015). برداشت نهایی در اواخر بهمن ماه در زمان رسیدگی فیزیولوژیک صورت گرفت. صفات مورفولوژیک کینوا شامل ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد گل‌آذین (خوشه) در بوته در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک اندازه-گیری شد. به این منظور پنج بوته از خطوط نمونه‌برداری با احتساب حاشیه و به‌طور تصادفی هر کرت انتخاب شد. ارتفاع بوته با متر از محل طوقه تا قسمت بالای ساقه اصلی اندازه‌گیری شد و میانگین هر کرت به‌دست آمد. قطر ساقه به‌وسیله کولیس و با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر برای پنج بوته اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها محاسبه گردید. تعداد خوشه‌های کینوا نیز شمارش شد.

جهت تعیین عملکرد دانه، بوته‌های موجود در سطحی معادل پنج مترمربع از هر کرت آزمایشی برداشت شد و جهت خشک شدن، به‌مدت یک هفته در هوای آزاد قرار گرفت. دانه‌های برداشت شده از هر کرت، به‌طور جداگانه با ترازوی دقیق آزمایشگاهی توزین گردیدند و با تعمیم دادن به هکتار، عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. برای تعیین عملکرد کل، در هر کرت از مساحت برداشت پنج مترمربع، تمام قسمت‌های گیاه کف‌بر شده و با ترازوی دقیق و با دقت یک گرم اندازه‌گیری شد. با تقسیم عملکرد دانه با رطوبت ۱۴ درصد بر عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت محاسبه شد.

برای محاسبه وزن هزار دانه از میان دانه‌های برداشت شده مربوط به هر کرت ۱۰ نمونه صدتایی انتخاب و وزن دانه‌ها تعیین گردید. برای تعیین شاخص سطح برگ در مرحله گل‌دهی از خطوط نمونه بطور تصادفی پنج بوته را انتخاب کرده و پس از جدا کردن برگ‌ها، سطح برگ هر نمونه توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ اندازه-گیری شد و سپس شاخص سطح برگ محاسبه گردید (Hunt et al., 1978). غلظت نیتروژن به‌روش کجلدال (Bremner & Mulvaney, 1982) اندازه‌گیری شد. میزان پروتئین دانه کینوا با استفاده از درصد نیتروژن با ضریب تبدیل ۶/۲۵ تعیین شد. کارآیی زراعی مصرف نیتروژن از معادله ۱ برآورد گردید (Craswell et al., 1984).

معادله (۱)   NUE=(Ydf- Yef)/F

که در آن، NUE: کارآیی زراعی مصرف نیتروژن (کیلوگرم در کیلوگرم)، Ydf: مقدار ماده خشک تولید شده توسط گیاهی که کود دریافت کرده است (کیلوگرم در هکتار)، Yef: مقدار ماده خشک تولید شده توسط گیاهی که کود دریافت نکرده (کیلوگرم در هکتار) و F: مقدار کود اوره مصرف شده (کیلوگرم در هکتار) است. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام گردید. مقایسه میانگین-ها به‌روش LSD در سطوح احتمال پنج و یک درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع گیاه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ارتفاع بوته کینوا تحت تأثیر رقم و سطوح کود نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، امّا برهم‌کنش کود نیتروژن و رقم بر ارتفاع گیاه معنی‌دار نبود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ارتفاع کینوا به‌طور قابل توجهی با افزایش کود نیتروژنه افزایش یافت. بالاترین ارتفاع بوته در تیمار ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌میزان ۹۳/۰۸ سانتی‌متر و کمترین ارتفاع بوته به‌میزان ۳۶/۹۶ سانتی‌متر به شاهد تعلق داشت. نیتروژن نقش اساسی در ساختمان کلروفیل دارا بوده شوری ضمن کاهش نفوذپذیری غشای پلاسمایی سلول‌های ریشه (ناشی از افزایش غلظت آبسیزیک اسید در بافت‌های گیاهی)، فعالیت آنزیم‌های گیاهی را نیز کاهش داده و مستقیماً جذب و متابولیسم بعضی از عناصر غذایی را محدود می‌کند. ولی مصرف نیتروژن با کاهش نسبت اسید آبسیزیک به جیبرلین باعث افزایش رشد رویشی گیاهان در شرایط شور می‌گردد (Kholdebarin, 2003). افزایش ارتفاع بوته در اثر مصرف نیتروژن به‌علت تأثیر مطلوبی است که نیتروژن بر رشد گیاه دارد. افزایش سطوح نیتروژن باعث افزایش تقسیم سلولی می‌شود و در نهایت، ارتفاع گیاه افزایش می‌یابد. به‌طور معمول، ارتفاع بوته با کاربرد کود نیتروژن افزایش می‌یابد که این امر ممکن است به‌دلیل افزایش طول میان‌گره در گیاه باشد. افزایش ارتفاع کینوا با افزایش سطح نیتروژن، اساساً به‌دلیل نقش نیتروژن در فعالیت‌های متابولیکی است (Gomaa, 2013; Shams, 2012; Basra et al., 2014 ; Schulte et al., 2005). آذرپور و همکاران (Azarpour et al., 2014) نتیجه گرفتند که در میان سطوح کود نیتروژن حداکثر ارتفاع کینوا ۱۰۴/۶ سانتی‌متر مربوط به تیمار ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود و کمترین ارتفاع بوته در شاهد ۸۴/۱۲ سانتی‌متر بود.

مقایسه میانگین بین ارقام نشان داد که رقم گیزاوان با ۸۵ سانتی‌متر بالاترین و رقم تیتی‌کاکا با ۷۸/۹ سانتی‌متر کمترین ارتفاع بوته را به خود اختصاص داد (جدول ۴). مطالعات نشان می‌دهد در بعضی گیاهان هالوفیت، غلظت‌های کم املاح در مقایسه با عدم حضور آن‌ها می‌تواند به‌علت اثر آن بر رشد سلول و موازنه آب، سبب تحریک رشد گیاهان شود (Alshameri et al., 2017). با این حال، مقدار غلظت املاح آب آبیاری مورد نیاز برای افزایش ارتفاع کینوا مشخص نیست. نتایج یک پژوهش نشان داد که ارتفاع کینوا تا شوری بیشتر از ۱۱ دسی‌زیمنس بر متر،کاهش نیافت (Wilson et al., 2002) و در شوری بیشتر از ۲۵ دسی‌زیمنس بر متر در بعضی گونه-های کینوا ارتفاع کینوا افزایش یافت (Gómez-Pando et al., 2010). این ویژگی نشان می‌دهد که احتمالاً کینوا از سازوکارهای تجمع نمک گیاهان هالوفیت استفاده می‌کند و شرایط تنش شوری پایین باعث تقویت رشد گیاه می‌شود (Long et al..2016,).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات اندازه گیری شده در کینوا

Table 3- Results of analysis of variance (mean of squares) of some traits of quinoa cultivars affected by nitrogen levels

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	ارتفاع گیاه Plant height	قطر ساقه Stem diameter	تعداد گل‌آذین Number of inflorescence	وزن هزار دانه 1000-seed weight	شاخص سطح برگ Leaf area index	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	پروتئین دانه CP content of seed	درجه آزادی d.f	کارایی مصرف نیتروژن NUE
تکرار Replication (R)	2	57.15	0.18	134.67	0.1	0.02	19314	12770	2.68	3.07	2	2.25
نیتروژن N (N)	3	1018**	0.72**	139.70**	2.01**	9.69**	4432048**	14727500**	584**	192**	2	18.14**
خطای اصلی Main error	6	10.27	0.02	4.85	0.05	0.003	12800	35504	2.70	4.07	4	1.54
رقم Variety	1	222.65**	0.08**	8.52**	0.41**	1.35**	52880**	108 ns	17.10**	4.86**	1	3.69 ns
رقم ×نیتروژن V × N	3	16.29 ns	0.006 ns	2.21**	0.03 ns	0.47**	55829**	2476540**	4.51 ns	2.21**	2	1.78 ns
خطای فرعی Sub error	8	5.25	0.009	0.58	0.02	0.001	8723	22259	1.76	0.17	6	0.88
ضریب تغییرات CV (%)		2.79	10.77	4.15	6.39	0.9	5.94	2.53	5.31	2.56		8.97

ns و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

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

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارهای مختلف نیتروژن و رقم کینوا

Table 4- Comparison of the mean of the main effects of quinoa under the influence of different nitrogen and varity treatments

		ارتفاع **Plant height (cm)**	قطر ساقه **Stem diameter (cm)**	تعداد گل‌آذین **Number of inflorescence**	وزن هزار دانه **1000 -seed weight (g)**	شاخص سطح برگ **Leaf area index**	عملکرد دانه **Seed yield (kg.ha^{-1})**	عملکرد بیولوژیک **Biological yield (kg/ha)**	شاخص برداشت **Harvest index (%)**	پروتین دانه **CP content of seed (%)**	کارایی مصرف نیتروژن **NUE (kg.kg^{-1})**
نیتروژن N (kg.ha^{-1})	0	36.96	0.44	12.10	1.74	2.76	474	3612	13.23	8.09	
	75	81.05	0.83	17.05	2.74	3.67	1301	6312	20.6	16.1	11.17
	150	89.75	1.09	21.81	2.97	5.17	2221	6837	32.45	20.3	11.72
	225	93.08	1.24	22.48	2.93	5.45	2290	6756	33.88	19.86	8.45
	$LSD_{0.05}$	4.52	0.23	3.11	0.31	0.07	159	266	2.32	2.85	1.99
رقم Variety	Titicaca	78.91	0.84	17.76	2.46	4.03	1525	5835	24.20	12.29	9.99
	Giza 1	85	0.96	18.95	2.73	4.5	1618	5882	25.88	13.1	10.9
	$LSD_{0.05}$	2.15	0.09	0.71	0.15	0.04	87.92	171	1.25	0.49	1.08

برای هر اثر اصلی، میانگین‌ها با حروف مشابه با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند ($p \leq 0.05$).

Means followed by similar letters are not significantly different at 0.05 probability level .

قطر ساقه

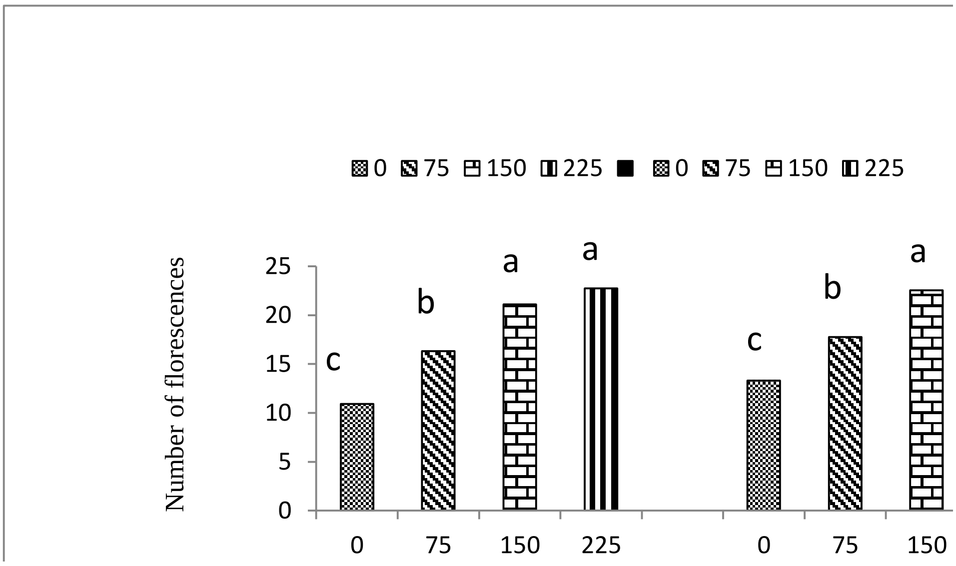
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر سطوح کود نیتروژن و رقم بر قطر ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، امّا برهم‌کنش کود نیتروژن و رقم بر قطر ساقه معنی‌دار نشد (جدول ۳). افزایش مصرف کود نیتروژن موجب افزایش قطر ساقه شد، به‌طوری‌که بالاترین میانگین قطر ساقه ۱/۲۴ سانتی‌متر در تیمار ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد و از نظر آماری با تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در یک سطح قرار داشت و کمترین میانگین قطر ساقه در شاهد حاصل شد. مقایسه میانگین بین ارقام نشان داد رقم گیزاوان با ۰/۹۶ سانتی‌متر بالاترین و رقم تی تی کاکا با ۰/۸۴ سانتی‌متر کمترین قطر ساقه را به خود اختصاص داد (جدول ۴). محققین گزارش کرده‌اند که با افزایش کاربرد نیتروژن، شاخص کلروفیل گیاه و در نتیجه، ویژگی‌هایی رشدی گیاه مانند قطر ساقه افزایش یافت (Harper et al., 1994). نتایج به‌دست آمده در این آزمایش نیز گویای این مطلب بود. مصرف بیش از حد نیتروژن موجب تحریک رشد رویشی بیش از حد گیاه، نازک و دراز شدن ساقه و در نتیجه، خوابیدگی بوته‌ها و همچنین، مصرف بیش از حد آب می‌شود. نتایج مشابهی در خصوص اثر مثبت کود نیتروژن بر افزایش قطر ساقه کینوا توسط سانگوانسک (Sa-Nguansak, 2004)، گوما و همکاران (Gomaa et al., 2013) و بسرا و همکاران (Basra et al., 2014) حاصل شده است.

تعداد گل‌آذین (خوشه) در بوته

اثر نیتروژن، رقم و برهم‌کنش آن‌ها بر تعداد گل‌آذین معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که افزایش مصرف کود اوره موجب افزایش تعداد گل‌آذین (خوشه) در بوته شد، به‌طوری‌که بیشترین تعداد گل‌آذین مربوط به تیمار ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار بود که از نظر آماری با تیمار ۲۲۵ کیلوگرم کود اوره در هکتار در یک سطح قرار داشت و کمترین تعداد گل‌آذین در شاهد حاصل شد. (جدول ۴).

افزایش تعداد خوشه در گیاه به‌دلیل مصرف کود نیتروژن، نشانگر تأثیر نیتروژن در افزایش تولید و توزیع مواد فتوسنتزی از منبع (قسمت رویشی) به‌سمت مخزن (قسمت‌های زایشی) است، در مطالعه حاضر افزایش نیتروژن در گیاه کینوا به‌علت تأثیر در فعالیت‌های متابولیکی، باعث افزایش تعداد خوشه در بوته کینوا و در نتیجه، افزایش تولید دانه در تیمار برتر گردید (جدول ۴). این رابطه منبع و مخزن به‌دلیل توسعه و نگهداری سطح برگ تحت تأثیر نیتروژن است. (Muchow et al., 1998; Arduini et al., 2006) در نتیجه، کارایی فتوسنتزی و همچنین تسهیم ماده خشک در اندام زایشی در شرایط بهینه نیتروژن بهبود یافته است (Prystupa et al., 2004). کود نیتروژن (۱۰۰ و ۱۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) طول خوشه اصلی ارقام کینوا را به‌طور معنی‌داری بهبود بخشید و در نتیجه، بیشترین تعداد دانه کینوا را تولید کرد (Basra et al., 2014). شومن (Shoman, 2018) نشان دادند که با افزایش کود نیتروژن تعداد گل‌آذین، وزن گل‌آذین اصلی و تعداد دانه در گل‌آذین کینوا افزایش یافت. مقایسه میانگین بین ارقام نشان داد، رقم گیزاوان با ۱۸/۹۵ بالاترین و رقم تی تی کاکا با ۱۷/۷۶ کمترین تعداد خوشه در گیاه را به خود اختصاص داد (جدول ۴). بررسی اثر متقابل نیتروژن و رقم بر تعداد گل‌آذین (خوشه) در بوته کینوا نشان داد، بیشترین میانگین تعداد گل‌آذین در رقم گیزاوان با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مقدار ۲۲/۵۳ بود که از نظر آماری با تیمار ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در یک سطح قرار دارند، امّا در رقم تیتی‌کاکا بالاترین تعداد گل‌آذین با کاربرد ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار ۲۲/۷۳ بود (شکل ۱. تیتی‌کاکا:V_1 و گیزاوان: V_2).

به نظر می‌رسد در گیاه شورزیست کینوا به‌دلیل اینکه در محیط‌های شور رشد یافته است، شوری تحریک‌کننده و بهبوددهنده رشد گیاه است (Gomaa, 2013) به عبارت دیگر، یون‌های سدیم و کلر موجود در محیط رشد بر صفات مرفولوژیکی کینوا تأثیر مثبت دارند. لانگ و همکاران (Long et al., 2016) در بررسی تأثیر تیمارهای شوری (۰،۵۰،۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم) بر صفات دو رقم کینوا (سبز و قرمز) مشاهده کردند که تنش شوری به‌طور معنی‌داری تعداد برگ‌های ساقه اصلی و تعداد شاخه‌ها و خوشه‌های روی گیاه را کاهش داد و رقم قرمز نسبت به سبز با ریشه عمیق‌تر و وزن ریشه بالاتر توانست جذب مواد مغذی را افزایش دهد و در نتیجه، باعث افزایش تعداد خوشه‌ها، تعداد دانه و وزن هزار دانه و زیست توده کل گردد.



شکل ۱- مقایسه میانگین تأثیر سطوح نیتروژن و رقم بر تعداد گل‌آذین (خوشه) در بوته کینوا

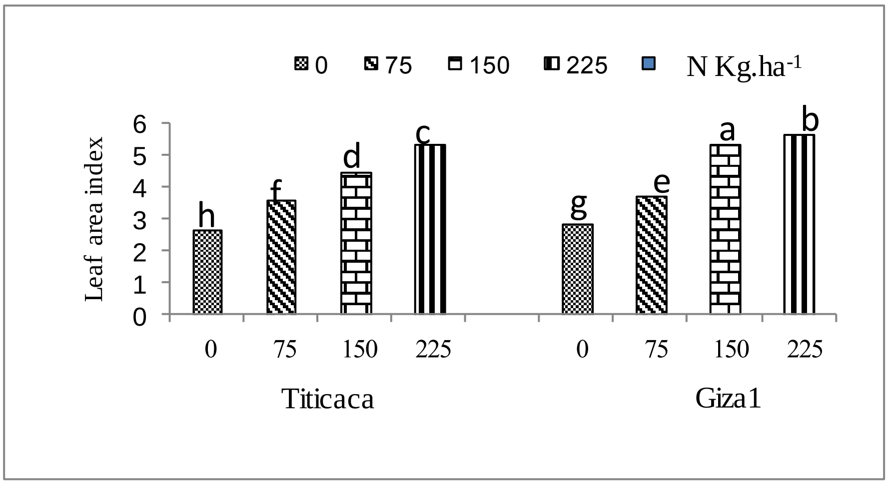
Fig. 1- Mean comparisons for the effect of nitrogen levels and cultivar on the numbers of inflorescences (clusters) in quinoa plant

شاخص سطح برگ

شاخص سطح برگ یک معیار تقریبی از مساحت برگ‌ها در واحد سطح زمین است. این صفت از جمله پارامترهای مهم در ارزیابی رشد یک جامعه گیاهی است که اندازه و پویایی آن به عوامل متعدد بستگی دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص سطح برگ در مرحله گل‌دهی تحت تأثیر معنی‌دار رقم و میزان کود مصرفی و برهم‌کنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳).

با افزایش مصرف نیتروژن رشد گیاه تسریع می‌یابد و در نتیجه، شاخص سطح برگ افزایش یافته و زودتر به حداکثر خود می‌رسد. با افزایش سطوح نیتروژن، شاخص سطح برگ در هر دو رقم مورد بررسی افزایش یافت. بررسی اثر متقابل نیتروژن و رقم بر شاخص سطح برگ نشان داد، بالاترین شاخص سطح برگ در رقم گیزاوان با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مقدار ۵/۸۳ بود و سپس با افزایش کود نیتروژنه در تیمار ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار شاخص سطح برگ به‌مقدار ۵/۵۶ کاهش یافت، امّا در رقم تیتی‌کاکا بالاترین شاخص سطح برگ با کاربرد ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار ۵/۳۴ بود (شکل ۲).

مصرف نیتروژن باعث افزایش مقدار کلروفیل، تشدید سبزینگی برگ و در نتیجه، افزایش شاخص سطح برگ می‌شود، به همین دلیل استفاده از این عنصر در حد مطلوب تأثیر بسیار مثبتی بر شاخص‌های رشد گیاه، از جمله سطح برگ دارد. کاربرد نیتروژن تقسیم و انبساط سلولی (Roggatz et al., 1999) و فتوسنتز و تولید برگ (Zhao et al., 2005) را افزایش می‌دهد. نیتروژن با تأثیر بر مقدار کلروفیل برگ منجر به بهبود کارآیی فتوسنتزی و در نتیجه، باعث بهبود و تکمیل مراحل رشد رویشی گیاه می‌شود (Almaliotis et al., 1996). افزایش سطح برگ کینوا در اثر کاربرد نیتروژن توسط بسرا و همکاران (Basra et al., 2014) نیز گزارش شده است. آمر و همکاران (Aamer et al., 2014) و عمر و همکاران (Omar et al., 2014). اختلاف معنی‌داری بین تمام ژنوتیپ‌های کینوا برای صفات مرفولوژیکی مانند شاخص سطح برگ را گزارش کردند. مقادیر مختلف شاخص سطح برگ در ژنوتیپ‌های مختلف می‌تواند ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی و یا آسیب تنش‌های زنده و یا غیرزنده باشد، تنش شوری بر روی تمام مراحل رشدی کینوا تأثیرگذار بوده و تغییرات فیزیولوژیک در آن ایجاد می‌کند، امّا ارقام کینوای متحمل به شوری می‌توانند در این شرایط زنده بمانند و تولید داشته باشند (Jacobsen et al., 2009).



شکل ۲- مقایسه میانگین تأثیر سطوح نیتروژن و رقم بر شاخص سطح برگ کینوا

Fig. 2- Mean comparisons for the effect of nitrogen levels and cultivar on leaf area index in quinoa plant

وزن هزار دانه

اثر نیتروژن و رقم در سطح احتمال یک درصد بر وزن هزار دانه معنی‌دار شد، امّا برهم‌کنش نیتروژن و رقم بر وزن هزار دانه معنی‌دار نبود (جدول ۳). افزایش مصرف نیتروژن وزن هزار دانه را در دو رقم افزایش داد، امّا رقم گیزاوان بیشتر از رقم تیتی‌کا کا تحت تأثیر قرار گرفت، به‌طوری‌که میانگین وزن هزار دانه رقم گیزاوان ۲/۷۳ گرم و بالاتر از میانگین وزن هزار دانه رقم تیتی‌کاکا ۲/۴۶ گرم بود. از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین سطوح ۷۵ ، ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بر وزن هزار دانه در دو رقم مشاهده نشده است. بیشترین میزان وزن هزار دانه در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار (۲/۹۷ گرم) و کمترین میزان آن در شاهد (۱/۷۴ گرم) مشاهده شد (جدول ۴). افزایش کاربرد نیتروژن به‌دلیل افزایش سطح سبز گیاهی و تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه منجر به افزایش تولید مواد فتوسنتزی، دوره گل‌دهی و باروری گل‌ها و در نتیجه، افزایش تعداد خوشه و وزن هزار دانه می‌شود. بنابراین، به نظر می‌رسد که کمتر بودن وزن هزار دانه در تیمار بدون مصرف نیتروژن به‌علت ضعف گیاه در ساخت و انتقال مواد غذایی به دانه‌هاست.

با افزایش کود نیتروژن وزن هزار دانه کینوا افزایش یافت، به‌طوری‌که حداکثر وزن هزار دانه کینوا با کاربرد ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار ۲/۸۵ گرم بود و از نظر آماری با تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (وزن هزار دانه ۲/۷۱ گرم) تفاوت معنی‌دار نداشت (Azarpour.et al., 2014). نتایج تحقیقی نشان داد که وزن هزار دانه کینوا (۲/۱ گرم) از سطح ۰ تا ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تحت تأثیر کود نیتروژنه قرار نداشت (Basra et al., 2014). مطالعه دیگر نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه ۱/۷۷ گرم با کاربرد ۰/۸ گرم نیتروژن در هر گلدان (دو بوته در هر گلدان) حاصل شد و با افزایش کاربرد کود نیتروژن به‌مقدار ۱/۲ گرم نیتروژن وزن هزار دانه کاهش و به ۱/۵۸ گرم رسید (Awadalla et al., 2008) آواد‌الا و همکاران (Thanapornpoonpong 2017) بیان کردند در دو سال متوالی با افزایش مصرف نیتروژن تا ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در ارقام کینوا مورد بررسی، میانگین وزن هزار دانه افزایش یافت و به‌ترتیب به ۴/۷۵ و ۴/۳۶ گرم رسید. لازم به ذکر است که وزن هزار دانه کینوا در مقایسه با گیاه تاج خروس بالاتر بوده، به‌طوری‌که در بررسی دو رقم تاج خروس در تایلند، میانگین ۰/۷ گرم وزن هزار دانه گزارش شده است (Thanapornpoonpong, 2004)، ولی در مقایسه با بسیاری از غلات از جمله گندم (*Triticum*)، ذرت (*Zea mays*) و برنج (*Oryza sativa*)، وزن دانه کم‌تری دارد (Talebnejad et al., 2015).

عملکرد دانه

عملکرد دانه تحت تأثیر سطوح کود نیتروژن، رقم و برهم‌کنش این دو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). عملکرد دانه کینوا بین ۴۷۴/۳۷ و ۲۲۹۰/۳۳ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب در شاهد و تیمار ۲۲۵ کیلوگرم کود نیتروژن بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش کود مصرفی، عملکرد دانه افزایش یافت. عملکرد

دانه در سطوح کودی ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مشابه و بیشتر از عملکرد در سطح ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. مقایسه میانگین عملکرد دانه در ارقام مختلف، حاکی از افزایش عملکرد بیشتر دانه گیزاوان در مقایسه با تیتی‌کاکا بـود (جـدول ۴) مقایسـه میـانگین سطوح مختلف کود نیتروژنی و رقم نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در رقم گیزاوان با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن و کمترین آن در تیتی‌کاکا بدون مصرف کود نیتروژنه حاصل شد.

برهم‌کنش تیمارها نشان داد در رقم گیـزاوان بیشـترین عملکـرد دانه (۲۳۶۳ کیلوگرم بر هکتـار) در سـطح ۱۵۰ کیلـوگرم نیتـروژن در هکتار به‌دست آمد و پس از آن کاهش یافت، امّا در رقـم تیتـی‌کاکا بیشـترین عملکـرد دانـه (۲۳۷۲ کیلـوگرم بـر هکتـار) در سـطح ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار به‌دست آمد و واکنش آن تا بالاترین سطح کود نیتروژن به‌صورت خطی بردازش شد (شکل ۳).

با توجه به نتایج مطالعه حاضر، می‌توان چنین اسـتنباط کـرد کـه افزایش مصرف نیتـروژن تـا حدی(تیمار ۱۵۰ کیلـوگرم نیتـروژن در هکتار) که مقدار آن در خاک برای رفع نیاز گیاه طـی مراحـل رشـد و نمو کافی باشد، باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود و مقادیر بیشتر آن تأثیر معنی‌داری بر عملکـرد دانـه نخواهـد داشـت، حتـی در مـواردی عملکرد دانه را کاهش می‌دهد. از آنجایی که مصرف کود نیتروژن بـر فعل و انفعالات بیوشیمیایی، فتوسـنتز، افـزایش طـول دوره رویـش و تجمع ماده خشک بیشتر اندام‌های هوایی و اجزای عملکرد دانه مـؤثر است، به نظر می‌آید تاثیر آن بر عملکرد دانه بدیهی باشد (Basra et al., 2014). نتایج مطالعات نشان داد که ارتفاع بوته، مدت رسیدگی و عملکرد کینوا و آمارانت (*Amaranthus tricolor L*)در شرایط بهینه خاک افزایش یافت، امّا در سطوح بالای کود نیتـروژن، عملکـرد دانـه کاهش یافت. این نتایج با افزایش رشد رویشی و کاهش گل‌آذین بـه-دلیل کاربرد نیتروژن قابل توضیح است (Bhargava.et al., 2014).

در برخی گیاهان، نیتروژن اضافی و بیش از ظرفیت گیاه به‌عنوان یک عامل منفی باعث کاهش عملکرد دانه می‌گردد و این امر می‌تواند در اثر کاهش ظرفیت فتوسنتزی برگ‌ها به‌علت افزایش انتقال مجدد زودتر از موعد نیتروژن از برگ‌ها به دانه، احیای کمتر به‌دلیل وارد شدن نیتروژن بیشتر در چرخه احیای نیترات، افزایش رشد رویشی، به‌هم خوردن تعادل جذب عناصر غذایی، ایجاد سمیت در گیاه و در نتیجه، تشکیل یون آمونیوم و کوتاه بودن دوره رشد رویشی نسبت به زایشی در این ارقام باشد (Zangani et al., 2007). گزارش شده است که افزایش عملکرد دانه کینوا با افزایش کاربرد کود نیتروژن از ۹۰ تا ۳۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بسیار متفاوت بود و دلیل آن ممکن است اختلاف شرایط اگرواکولوژیکی و ژنتیکی کینوا باشد (Shams, 2010). رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2021) در بررسی سطوح آبیاری و نیتروژن بر عملکرد دانه کینوا رقم تیتی‌کاکا مشاهده کردند که با افزایش میزان نیتروژن و آبیاری عملکرد دانه افزایش می‌یابد و بیشترین عملکرد دانه کینوا (۳۸۳۵/۴ کیلوگرم در هکتار) با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و ۷۵۰۰ مترمکعب آبیاری در هکتار حاصل گردید. کومایی (Comai, 2007) بیان داشت که کاربرد ۰، ۱۱۹ و ۲۳۸ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با کودهای زیستی منجر به افزایش مداوم عملکرد دانه در هر هکتار کینوا در مقایسه با شاهد شد.

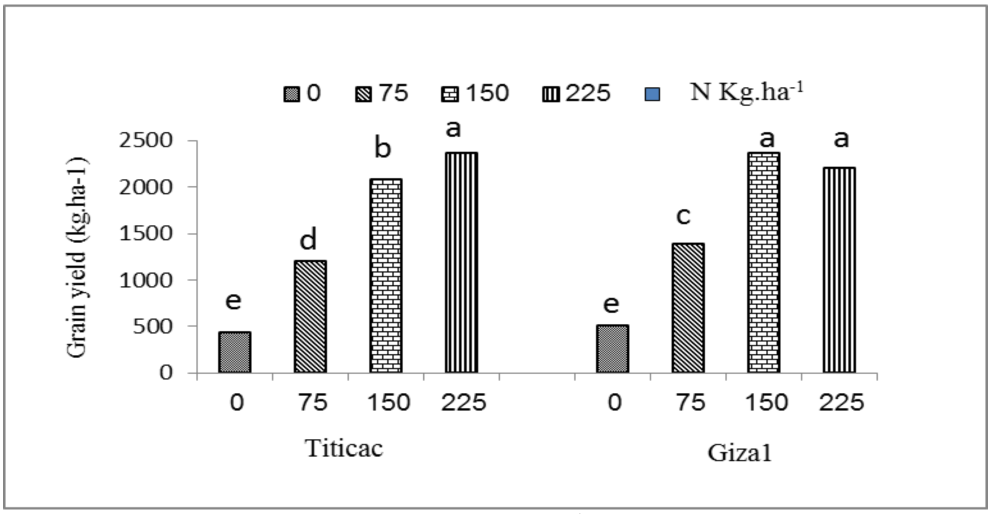
کویرو و همکاران(Koyro et al., 2008) بیان داشتند کـه کینـوا قادر به کامل کردن چرخه زندگی خود و تولید دانه حتی در شوری آب دریا است و عملکرد، تعداد دانه در گیاه، ماده خشک در حضور شـوری زیاد به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد.

عملکرد بیولوژیک

اثر سطوح مختلف کود نیتروژن بـر عملکـرد بیولوژیـک معنـی‌دار بود، امّا بین ارقام اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. برهم‌کنش سطوح نیتروژن و رقم بر عملکرد بیولوژیک در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

مقایسه میـانگین‌هـا نشـان داد کـه تیمـار ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلـوگرم نیتروژن در هکتار به‌ترتیب با عملکرد بیولوژیک ۶۷۵۶/۹۲ و ۶۸۳۷/۸ کیلوگرم در هکتار در یک سطح آماری قرار گرفتنـد و در سـطوح بعـد به‌ترتیب تیمار ۷۵ و شاهد با عملکرد بیولوژیک ۶۳۱۲/۷۵ و ۳۶۱۲/۸۱ کیلوگرم در هکتار واقع شدند. رقم تیتی‌کاکا و رقم گیزاوان به‌ترتیب با عملکرد بیولوژیک ۵۸۳۵/۰۲ و ۵۸۸۲/۱۱ کیلوگرم در هکتار اخـتلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. (جدول ۴).

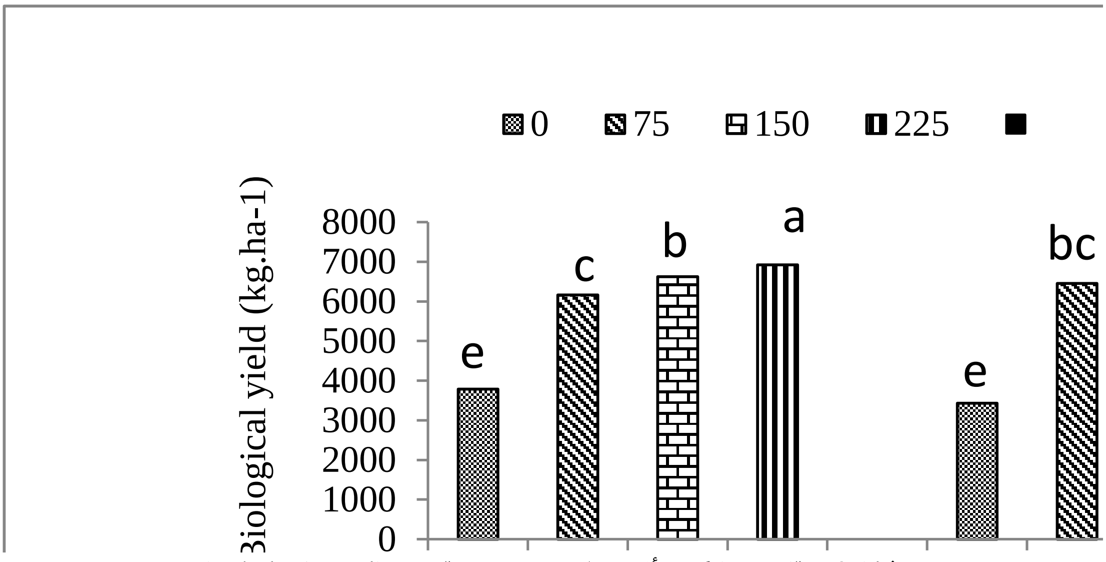
بررسی نتایج اثر متقابل سطوح رقم و نیتروژن نشان داد، بیشترین عملکرد بیولوژیک در رقم تیتی‌کاکا از سطح ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۶۹۲۳ کیلـوگرم در هکتـار) و در رقـم گیـزاوان از سـطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۷۰۴۵ کیلوگرم در هکتار) به‌دسـت آمـد و کمترین آن در هر دو رقم بـدون مصـرف کـود نیتروژنـه حاصـل شـد (شکل۴).



شکل ۳- مقایسه میانگین تأثیر سطوح نیتروژن و رقم بر عملکرد دانه کینوا

Fig. 3- Mean comparisons for the effect of nitrogen levels and cultivar on the grain yield in quinoa plant

افزایش عملکرد بیولوژیک به‌وسیله تیمارهای نیتروژن به بهبود سطح برگ و کارآیی فتوسنتزی نسبت داده شده است، زیرا نیتروژن بخشی از آنزیم روبیسکو دخیل در فرآیند فتوسنتز است و نیتروژن با تسریع رشد سلول‌های مریستم انتهایی گیاه زمینه را برای رشد گیاه فراهم می‌کند (Arduini et al., 2006). شواهد زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد افزایش مصرف نیتروژن موجب افزایش وزن تک‌بوته و در نهایت، عملکرد بیولوژیک می‌گردد. علت آن نیز می‌تواند افزایش سطح سبز گیاه و در نتیجه، افزایش ماده‌سازی باشد (Zangani et al., 2007). آوادالا و همکاران (Awadalla et al., 2017) گزارش دادند که با کاربرد نیتروژن از ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد بیولوژیک کینوا نسبت به شاهد به‌ترتیب ۵۲/۹ و ۵۹/۷ و ۶۳/۴ درصد افزایش پیدا کرد و رقم رگالونا با کاربرد۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌ترتیب در سال اول و دوم به حداکثر عملکرد بیولوژیک ۲۴۲۰/۵و ۲۴۳۲ کیلوگرم در هکتار رسید.



شکل ٤- مقایسه میانگین تأثیر سطوح نیتروژن و رقم برعملکرد بیولوژیک کینوا

Fig. 4- Mean comparisons for the effect of nitrogen levels and cultivar on the biological yield in quinoa plant

شاخص برداشت

اثر نیتروژن بر شاخص برداشت معنی‌دار بود. بالاترین شاخص برداشت (۳۳/۸۸درصد) در تیمار ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار و کمترین (۱۳/۲۳درصد) در شاهد حاصل شد، امّا اثر رقم بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود (جدول ۳). از نظر آماری شاخص برداشت در تیمارهای ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم کود نیتروژن مشابه و بالاتر از تیمار ۷۵ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار بود (جدول ۴).

شاخص برداشت بیان‌کننده نسبت توزیع مواد فتوسنتزی بین عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک است. بالا بودن شاخص برداشت نمایانگر انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر از گیاه به دانه است. مصرف نیتروژن به‌دلیل افزایش بیشتر عملکرد دانه منجر به افزایش شاخص برداشت می‌گردد. در تحقیق حاضر، شاخص برداشت کینوا با افزایش کود نیتروژنه تا سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار افزایش یافت. افزایش شاخص برداشت کینوا با افزایش سطح نیتروژن اساساً به‌دلیل نقش نیتروژن در تحریک فعالیت‌های متابولیکی است که باعث تولید عملکرد و اجزای عملکرد گیاه می‌شود (Shams, 2012). اگرچه افزایش مقدار مصرف نیتروژن تا مقدار مشخصی باعث افزایش عملکرد دانه و بیولوژیک گردید، امّا تولید بافت‌های ساختمانی گیاه را کمتر افزایش داده و بدین ترتیب افزایش مصرف نیتروژن باعث افزایش نسبت دانه به زیست‌توده کل شد. در همین رابطه جودی و همکاران (Jodi et al., 2011) بیان کردند، افزایش شاخص برداشت در اثر افزایش سطوح مصرف نیتروژن، به‌دلیل تأثیر کمتر کود نیتروژن بر افزایش رشد رویشی و عملکرد بیولوژیک، در مقایسه با عملکرد دانه بود.

بسرا و همکاران (Basra et al., 2014) بیان داشتند که شاخص برداشت با افزایش تیمارهای نیتروژنه از ۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار افزایش یافت، امّا در سطح ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار کاهش یافت. ظرفیت تولید هر گیاه زراعی نه تنها به کارآیی فتوسنتزی آن بستگی دارد، بلکه به انتقال مؤثر ترکیبات به دانه‌ها نیز بستگی دارد که با شاخص برداشت اندازه‌گیری می‌شود. این تخصیص مواد فتوسنتزی بین قسمت‌های رویشی و تولید مثل می‌تواند با روش‌های زراعی مانند تاریخ کاشت، تراکم بوته، کود و آبیاری اصلاح شود (Bertero et al., 2007).

در پژوهش حاضر، شاخص برداشت تنوع چشمگیری را نشان داد و از ۱۳/۲۳ تا ۳۳/۸۸ درصد متغیر بود و تحت تأثیر سطح نیتروژن قرار گرفت. با این وجود، این محدوده نسبت به گزارش روجاس و همکاران (Rojas et al., 2003). بسیار نزدیک است که در بررسی ارقام متنوع کینوا در بولیوی شاخص برداشت را در بازه ۶ تا ۸۷ درصد گزارش کردند.

یافته‌های تحقیق حاضر با نتایج بعضی از محققان ایرلی و همکاران (Erley et al., 2005)، شمس (Shams, 2012) و برترو و همکاران (Bertero et al., 2007) مطابقت داشت، نتایج تحقیق حاضر نشان داد که کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار سطح بهینه برای مصرف نیتروژن از خاک برای رشد کینوا در شرایط اکولوژیکی منطقه جنوب استان خوزستان بود. ایرلی و همکاران (Erley et al., 2005) دریافتند که شاخص برداشت برخی از ارقام کینوا (کوچابامبا) با افزایش کاربرد نیتروژن افزایش یافت. سزیلجی و جورنسگارد (Szilagyi & Jornsgard, 2014) گزارش دادند که مقادیر بالا و پایین شاخص برداشت مربوط به رسیدگی زودرس و دیررس ژنوتیپ‌های کینوا می‌باشد. آن‌ها دریافتند، ژنوتیپ‌ها با رسیدگی زودرس شاخص برداشت بالاتر از ژنوتیپ‌های دیررس را ثبت کردند. همچنین مقادیر پایین شاخص برداشت برای ارقام دیررس و مقادیر بالا برای ژنوتیپ‌های زودرس از نتایج مشابه سپهار و همکاران (Spehar et al., 2005) می‌باشد. به نظر می‌رسد که بهبود شاخص برداشت و عملکرد دانه کینوا علاوه‌بر میزان نیتروژن به عوامل مختلفی مانند تنوع ژنوتیپی و شرایط محیطی بستگی دارد.

پروتئین دانه

محتوای پروتئین دانه تحت تأثیر سطوح کود نیتروژن، رقم و برهم کنش این دو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). مقدار پروتئین در دانه به‌تدریج با افزایش سطح نیتروژن افزایش یافت. بیشترین محتوای پروتئین دانه (۲۰/۳ درصد) در سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حاصل شد که از نظر آماری با تیمار ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتاراختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین میزان پروتئین کینوا در شاهد (۸/۰۹ درصد) بود. میانگین پروتئین دانه به‌طور معنی‌داری در رقم گیزاوان بالاتر از رقم تیتی‌کاکا بود (جدول ۴).

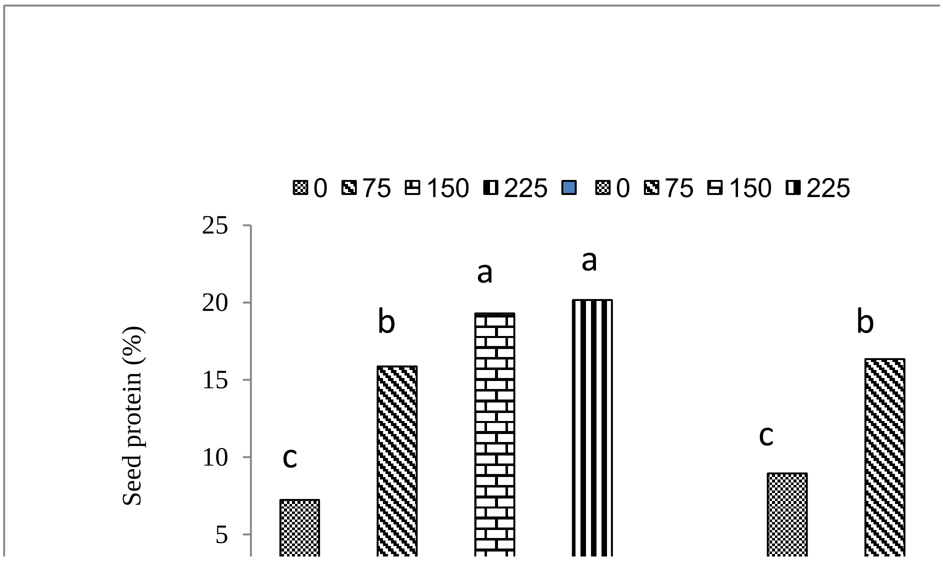
ارقام مورد آزمایش عکس‌العمل متفاوتی نسبت به تنش شوری نشان دادند که این امر ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی بین ارقام گیاه در

تولید وزن خشک و جذب نیتروژن در محیط شور می‌باشد. یکی از عناصر اصلی ساختمان پروتئین، نیتروژن است. افزایش کاربرد کود اوره در تحقیق حاضر باعث بیشتر شدن پروتئین‌های کینوا شد. افزایش میزان پروتئین، ممکن است در اثر سنتز پروتئین تحت تنش شوری در کینوا باشد که می‌تواند به‌عنوان مکانیسمی برای سازش بیشتر در برابر تنش شوری محسوب شود.

بیشترین مقدار پروتئین در دانه در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار مشاهده شد که ۶۰ درصد بیشتر از شاهد بود و در تیمار ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار ۵۹ درصد بالاتر از شاهد بود (جدول ۴). پروتئین بالاتر در سطح نیتروژن بالاتر عمدتاً به‌دلیل نقش ساختاری نیتروژن در ساخت اسیدهای آمینه بود (Hunt, 1978; Roggatz & Schurr, 1999). افزایش تدریجی محتوای پروتئین دانه کینوا با افزایش میزان نیتروژن نیز توسط بسیاری از محققین گزارش شده است (Bhargava et al., 2006; Gomaa. 2013).

بررسی نتایج اثر متقابل سطوح رقم و نیتروژن نشان داد، بیشترین پروتئین دانه در رقم تیتی‌کاکا از سطح ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۲۰/۱۷ درصد) و در رقم گیزاوان از سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (۲۱/۳۷ درصد) به‌دست آمد و کمترین آن در هر دو رقم در شاهد کود نیتروژن حاصل شد (شکل ۵).

ایرلی و همکاران (Erley et al., 2005) گزارش کرده‌اند در دو رقم کینوا (فارو و کوچابامبا) با افزایش سطح نیتروژن از ۰ به ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌طور تدریجی میزان پروتئین به‌ترتیب از ۱۲/۳ درصد به ۱۴/۶ درصد افزایش یافت. میراندا و همکاران (Miranda et al., 2013) بیان داشتند میزان پروتئین در ارقام مقاوم به سرمای بایر، رگالونا و ویلاریکا به‌طور متوسط ۱۸/۸ درصد بود. همچنین کاکابوکی و همکاران (Kakabouki et al., 2014) اظهار داشتند که افزایش سطح نیتروژن باعث افزایش مقدار پروتئین کینوا از ۷ درصد به ۲۷ درصد، تحت سیستم‌های خاک‌ورزی مختلف شد. این نتایج در منابع مختلف اندکی بالاتر از مقادیر اندازه‌گیری شده در این تحقیق در شرایط اکولوژی استان خوزستان می‌باشد که ممکن است به‌دلیل تفاوت در بافت خاک، ارقام زراعی و شرایط محیطی باشد. مهم‌ترین عاملی که میزان پروتئین دانه را تعیین می‌کند در دسترس بودن نیتروژن است و مشخص شده است که کینوا به کود نیتروژن بسیار حساس است و میزان بالاتر پروتئین همراه با عملکرد بالا در این محصول را فقط با کاربرد نیتروژن بالاتر می توان نتیجه گرفت (Bhargava et al., 2007). فرآیندهای حیاتی گیاهان وابسته به حضور میزان مناسبی نیتروژن در بافت‌های آن‌ها دارد. سنتز پروتئین، کلروفیل و سنتز آنزیم‌ها وابسته به نیتروژن است. همچنین می‌توان افزایش میزان پروتئین به‌وسیله تیمارهای نیتروژن را به بهبود سطح برگ و کارآیی فتوسنتزی نسبت داد (Arduini et al., 2006).



شکل ۵- مقایسه میانگین تأثیر سطوح نیتروژن و رقم بر پروتئین دانه کینوا

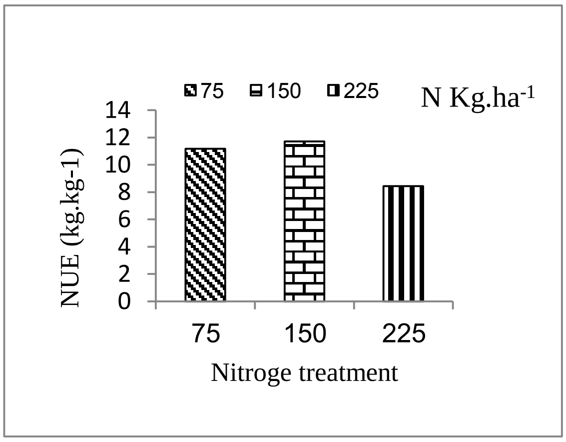
Fig. 5- Mean comparisons for the effect of nitrogen levels and cultivar on the seed protein in quinoa plant

کارایی مصرف نیتروژن

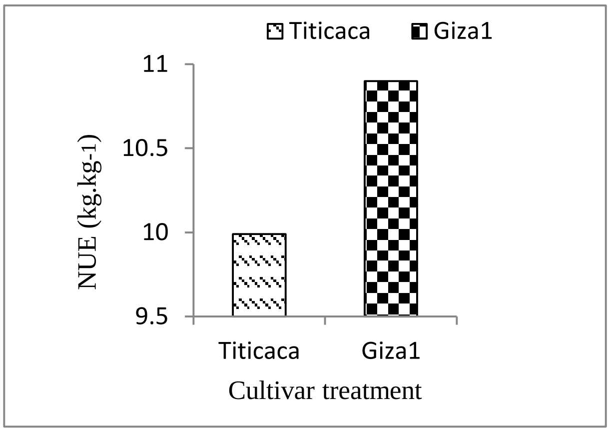
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح کود نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن معنی‌داری بود، ولی تأثیر رقم و برهم‌کنش رقم و سطوح کود نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن معنی‌دار نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با میانگین ۱۱/۷۲ کیلوگرم بر کیلوگرم بیشترین کارایی مصرف نیتروژن و تیمار ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با میانگین ۸/۴۵ کیلوگرم بر کیلوگرم کمترین کارایی مصرف نیتروژن را به خود اختصاص داد (جدول ۴).

در این بررسی با افزایش میزان نیتروژن، کارایی مصرف کاهش یافت. به‌طور کلی، زمانی که گیاه به عناصر غذایی نیاز دارد، در برابر افزایش آن‌ها واکنش مثبت نشان می‌دهد، و با رفع تدریجی نیاز گیاه، واکنش آن به مقادیر بیشتر کودی کمتر می‌شود. بنابراین، کارایی مصرف عناصر غذایی با رفع نیاز گیاه کمتر می‌شود. آوادالا و همکاران (Awadalla et al., 2017) اظهار داشتند همه اجزای عملکرد کینوا به‌تدریج با افزایش کاربرد نیتروژن از ۵۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار افزایش یافت، امّا کارایی مصرف نیتروژن کاهش یافت و حداکثر کارایی مصرف نیتروژن ۸/۶۹ و ۶/۱۵ کیلوگرم بر کیلوگرم با کاربرد ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌ترتیب در سال اول و دوم حاصل شد و نیز بیان داشتند کاربرد حداکثر سطح کود اوره احتمالا منجر به جذب ضعیف نیتروژن و کاهش کارایی آن به‌دلیل تلفات بیش از حد نیتروژن باشد. شمس (Shams 2012), نشان داد که میزان کاهش در کارایی مصرف نیتروژن با افزایش سطح نیتروژن از ۹۰ تا ۳۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار ۳۶/۳۰، ۴۲/۶۲ و ۴۹/۲۶ درصد در سال اول و ۲۰/۴۰، ۳۶/۴۳ و ۳۹/۳۶ درصد در سال دوم بود. در واقع، میزان کارایی مصرف نیتروژن با افزایش میزان نیتروژن روندی کاهشی داشته است و بالاترین کارایی استفاده از کود با جذب اولین واحد نیتروژن به‌دست آمده است. کاهش کارایی مصرف نیتروژن کینوا با افزایش سطح نیتروژن توسط محققین مختلف تأیید شده است (Schulte et al., 2005; Pospisil et al., 2006; Abou-Amer et al., 2011).

ارقام مورد بررسی از لحاظ صفت کارایی مصرف نیتروژن اختلاف معنی‌داری نداشتند، امّا رقم گیزاوان دارای کارایی مصرف نیتروژن بالاتری بود. با توجه به تأثیر مثبت نیتروژن بر افزایش میزان عملکرد دانه، سطح سبز گیاهی و توانایی ارقام در استفاده بهینه از عوامل محیطی این رقم توانسته است کارایی بیشتری در مصرف نیتروژن نسبت به رقم تیتی‌کاکا در جذب و هدایت نیتروژن به‌منظور تولید عملکرد اقتصادی داشته باشد. آوادالا و همکاران (Awadalla et al., 2017) نیز اختلاف ژنتیکی در کارایی مصرف نیتروژن در هیبریدهای کینوا را گزارش نموده‌اند. تاناپورونپونگ (Thanapornpoonpong, 2004) مشاهده کردند، علاوه‌بر اینکه کارایی مصرف نیتروژن با کاربرد ۰/۸ تا ۱/۲ گرم نیتروژن در هر گلدان به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد، کینوا رقم تانگو کارایی مصرف نیتروژن (۲۳/۲۰ کیلوگرم بر کیلوگرم) بیشتر از رقم فارو (۱۸/۳۱ کیلوگرم بر کیلوگرم) نشان داد.



شکل ٦- تأثیر سطوح رقم بر کارایی مصرف نیتروژن کینوا
Fig. 6- Effect of cultivar levels on NUE



شکل ۷- تأثیر سطوح نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن کینوا
Fig. 7- Effect of nitrogen levels on NUE

نتیجه‌گیری

براساس نتـایج حاصـل از تحقیـق، افـزایش میـزان کـاربرد کـود نیتروژن، باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکـرد و میـزان نیتـروژن دانه گردید. کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در رقم گیزاوان بـا عملکرد متوسط ۲/۳۶ تن در هکتار و میـانگین پـروتئین دانـه ۲۱/۳۷ درصد در شرایط آب و هوای جنوب استان خوزستان همراه بـا کـاربرد زه‌آب حاصل از کشت نیشکر بهترین عملکرد و کیفیت دانـه را تولیـد کرد. بررسی ارقام در هر منطقه جهـت یـافتن و معرفـی سـازگارترین ارقام برای تولید حداکثر، از اولین گام‌های استفاده بهینه از منابع مـی-باشد به‌خصوص هنگامی که تغییراتی در شرایط اکولوژیکی ایجاد شده و موجب محدودیت در برخی از منابع می‌شود و یا شرایط محیطی به-گونه‌ای تغییر می‌یابد که تولید را به مخاطره می‌اندازد، بررسـی ارقـام ضرورت یافته و ارقامی که قادر به ایجاد بیشترین سازگاری با شـرایط محیطی باشند، باید شناسایی و توصیه شوند. در این پژوهش مشخص شد که از بین ارقام، رقم گیزاوان بیشترین عملکرد دانه و ماده خشـک را تولید کرد. کینوا به‌دلیل تنوع ژنتیکی بالا و تطابق پذیری به اقلـیم-های مختلف، ارزش غذایی بالا و کارایی بالای استفاده از منابع، مـی-تواند گیاه مناسبی برای استفاده از منابع آب و خـاک نامتعـارف جنـوب استان خوزستان باشد. پیشنهاد می‌شود آزمـایش‌هـای آینـده بـر روی محصول کینوا در مکان‌های مختلف با روش‌هـای مختلـف زراعـی و سطوح کودی دیگر انجام شود تا اطمینان حاصل شـود کـه نتـایج در طول زمان نسبتاً سازگار هستند.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از دفتر پژوهش‌های کاربردی سازمان آب و برق خوزستان و شرکت کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان و مرکـز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به‌واسطه حمایت‌های مالی قدردانی می‌نمایند.

Refrences

Aamer, S., Hassan, M., Ehsanullah, Shakeel, A.A., Mohsin, T., and Aziz, R., 2014. Growth and development of *Chenopodium quinoa* genotypes at different sowing dates. Journal of Agricultural Research 52(4): 535-546.

Abou-Amer, A.I., and Kamel, A.S., 2011. Growth, yield and nitrogen utilization efficiency of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under different rates and methods of nitrogen fertilization. Egyptian journal of agronomy 33(2): 155-166. 10.21608/agro.2011.156

Algosaibi, A.M., El-Garawany, M.M., Badran, A.E., and Almadini, A.M., 2015. Effect of irrigation water salinity on the growth of quinoa plant seedlings. Journal of Agricultural Science 7(8): 205. 10.5539/jas.v7n8p205

Alshameri, A., Al-Qurainy, F., Khan, S., Nadeem, M., Gaafar, A.R., Tarroum, M., Alameri, A., Alansi, S., Arduini, I., Masoni, A., Ercoli, L., and Mariotti, M., 2006. Grain yield, and dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seeding rate. The European Journal of Agronomy 25: 309-318. https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.06.009

Almaliotis, D., Therios, I., & Karatassiou, M. 1996, September. Effects of nitrogen fertilization on growth, leaf nutrient concentration and photosynthesis in three peach cultivars. In II International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops 449 (pp. 529-534).

Arduini, I., Masoni, A., Ercoli, L., & Mariotti, M. 2006. Grain yield, and dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seeding rate. European Journal of Agronomy, 25(4), 309-318.

Awadalla, A., and Morsy, S., 2017. Influence of planting dates and nitrogen fertilization on the performance of quinoa genotypes under Toshka conditions. Egyptian Journal of Agronomy 39(1): 27-40. 10.21608/agro.2017.440.1047

Azarpour, E., Bozorgi, H.R., Moraditochaee, M., 2014. Effects ofascorbic acid foliar spraying and nitrogen fertilizer management in spraying cultivation ofquinoa (*Chenopodium quinoa*) in North of Iran. Biological Forum – An International Journal. 6(2): 254-260

Basra, S.M.A., Iqbal, S., and Afzal, I., 2014. Evaluating the response of nitrogen application on growth, development and yield of quinoa genotypes. International Journal of Agriculture and Biology 16(5): 886-892. http://www.fspublishers.org

Bertero, H.D., De La Vega, A.J., Correa, G., Jacobsen, S.E., and Mujica, A., 2004. Genotype and genotype-by-

environment interaction effects for grain yield and grain size of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as revealed by pattern analysis of international multi-environment trials. Field Crops Research 89: 299-318. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.02.006

Bhargava, A., Shukla, S., and Ohri, D., 2006. *Chenopodium quinoa*-An Indian perspective. Industrial Crops and Products 23: 73–87. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2005.04.002

Bhargava, A., Shukla, S., and Ohri, D., 2007. Genetic variability and interrelationship among various morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Field Crops Research 101: 104–116. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.10.001

Bremner, J.M., and Mulvaney, C.S., 1982. Nitrogen-total. In: A.L. Page (Ed). Methods of soil analysis, part 2, American Society of Agronomy, Madison, WI. pp. 594-622.

Chakraborty, U., Roy, S., Chakraborty, A.P., Dey, P., and Chakraborty, B., 2011. Plant growth promotion and amelioration of salinity stress in crop plants by a salt-tolerant bacterium. Recent Research in Science and Technology 3: 61-70.

Comai, S., Bertazzo, A., Bailoni, L., Zancato, M., Costa, C.V.L., and Allegri, G., 2007. The content of proteic and nonproteic (free and protein bound) tryptophan in quinoa and cereal flours. Food Chemistry Journal. 100: 1350-1355. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.10.072

Craswell, E.T., and Godwin, D.C., 1984. The efficiency of nitrogen fertilizer applied to cereals in different climates. In: "Advances in plant Nutrition" In: P.B. Tinker and Luchli A. (Eds) Vol. I. Praeger publ. Country.

Erley, G.S.A., Kaul, H., Kruse, M., and Aufhammer, W., 2005. Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization. The European Journal of Agronomy 22: 95–100. https://doi.org/10.1016/j.eja.2003.11.002

FAO, 2011. Quinoa; An Acient Crop to Contribute to World Food. Agricultuer Marketing Resourse Center.Security. 63 p.

Flowers, T.J., and Flowers, S.A., 2005. Why does salinity pose such a different problem for plant breeders? Agricultural Water Management 78: 15-24.

Francois, L.E., Grieve, C.M., Maas, E.V., and Lesch, S.M., 1994. Time of salt stress affects growth and yield components of irrigated wheat. Agronomy Journal 86(1): 100-107. https://doi.org/10.2134/agronj1994.00021962008600010019x

Gomaa, E.F., 2013. Effect of nitrogen, phosphorus and biofertilizers on quinoa plant. Journal of Applied Sciences Research 9(8): 5210-5222.

Gómez-Pando, L. R., Álvarez-Castro, R., & Eguiluz-De La Barra, A. 2010. Effect of salt stress on Peruvian germplasm of Chenopodium quinoa Willd.: a promising crop. Journal of agronomy and crop science, 196(5), 391-396.

Harper, J.E., 1994. Nitrogen Metabolism. In: K.J. Boote J.M. Bennett T.R. Sinclair and Paulsen G.M. (Eds). Physiology and determination of crop yield. Madison, Wisconsin, USA: 285-302 https://doi.org/10.2134/1994.physiologyanddetermination.c19.

Hassan Aghli, A., 2005. Drainage Management from Drainage Systems and Its Reuse in Agriculture, Fourth Drainage and Environment Technical Workshop, Tehran, National Irrigation and Drainage Committee, https://www.civilica.com (In Persian)

Hooshmand, A., and Behdarvandi, H., 2007. Assessing the quality of agricultural drains of Karun agro-industry for reuse in agriculture. The Second National Conference on Irrigation and Drainage Networks Management, Ahvaz, Chamran University, Iran. https://www.civilica.com/Paper-IDNC02-IDNC02_373.html (In Persian)

Hunt, R., 1978. Plant Growth Analysis. The institute of biology's studies. Edward Arnold, London, UK. 96(37).

Jacobsen, S.E., Liu, F., and Jensen, C.R., 2009. Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Scientia Horticulturae 122: 281-287. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.05.019

Jamali, S., Sharifan, H., Hezar Jaribi, A., and Sepahvand, N.A., 2016. Investigation of the effect of different salinity levels on germination and growth indices of two cultivars of *Chenopodium quinoa* Willd. Protection of Water and Soil Resources 6(1): 87-97. (In Persian with English Summary)

Jodi, F., Tobeh, A., Ebadi, A., Mostafaee, H., and Jamaatisamaren, S., 2011. Effect of Nitrogen on yield, yield components, agronomic efficiency and nitrogen on lentil genotypes. Electronic Journal of Plant Production 4(4): 39-50. (In Persian with English Summary)

Kakabouki, I., Bilalis, D., Karkanis, A., Zervas, G., Tsiplakou, E., and Hela, D., 2014. Effects of fertilization and tillage system on growth and crude protein content of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): An alternative forage crop, Emirates Journal of Food and Agriculture 26(1): 18-24. DOI:10.9755/ejfa.v26i1.16831

Khanali, M., Yousefinejad, M., Ebrahimi, N., and Dehban, H., 2016. Use of drainage in irrigation of agricultural products. CESET International Conference on Environmental Science, Engineering and Technology, Tehran, Iran. (In Persian)

Kholdebarin, B., and Islamzadeh, T., 2003. Mineral Nutrition of Excellent Plants. Shiraz University Press, Iran.570. (In Persian)

Koyro, H., and Eisa, S., 2008. Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. Plant and Soil 302: 79-90.

Khuzestan Water and Power Authoriy Company Report(Kwpa). 2011. Khuzestan province drainage management studies report. 215. (In Persian)

Lotfollahi, M., 2012. Investigation of changes in wheat grain protein through foliar application of nitrogen fertilizer. Journal of Agriculture and Plant Breeding 8(4): 12-6. (In Persian with English Summary)

Long, N.V., 2016. Effects of salinity stress on growth and yield of quinoa. Vietnam Journal of Agricultural Sciences 14(3): 321-27.

Mengel, k., 1992. Nutrition and Metabolism of Plants. Translated by Mohammad Reza Haghparast Tanha. Islamic Azad University of Rasht Publications, Iran. 198 p. (In Persian)

Miranda, M., Vega-Gálvez, A., Martínez, E.A., López, J., Marín, R., Aranda, M., and Fuentes, F., 2013. Influence of contrasting environments on seed composition of two quinoa genotypes: Nutritional and functional properties. Chilean Journal of Agricultural Research 73(2): 108-116.

Muchow, R.C., 1988. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment III. Grain yield and nitrogen accumulation. Field Crops Research 18(1): 31-43. https://doi.org/10.1016/0378-4290(88)90056-1

Omar, S.A., Injy, M.M., and Rasha, M.A., 2014. Genetic evaluation of some quinoa genotypes under Ras Suder conditions. Journal of Plant Production, Mansoura University 5(11): 1915-1930.

Peterson, A., and Murphy, K., 2015. Tolerance of lowland quinoa cultivars to sodium chloride and sodium sulfate salinity. Crop Science 55: 331-338.

Prystupa, P., Slafer, G., and Savin, A., 2004. Leaf Appearance, Tillering and their Coordination in Response to N × P Fertilization in Barley. Netherlands: Springer.

Pospisil, A., Pospisil, M., Vaga, B., and Svevnjak, S., 2006. Grain yield and protein concentration of two amaranth species as influenced by nitrogen fertilization. European Journal of Agronomy 25: 250-253. DOI:10.1016/j.eja.2006.06.001

Rajiv, K., and Misra, R.L., 2011. Studies on nitrogen application in combination with phosphorus or potassium on gladiolus cv. Jester Gold. Indian Journal Horticultural 68(4): 535-539.

Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., Latifi, H., Farzaneh Belgerdi, M.R., and Davarpanah, S.J., 2021. Optimization of irrigation and nitrogen levels on yield, water use efficiency, and nitrogen use efficiency of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) by using the surface-response methodology. Iranian Journal of Field Crops Research Vol. 19(2): 185-199. (In Persian with English Summary)

Rojas, W., Barriga, P., and Figueroa, H., 2003. Multivariate analysis of genetic diversity of Bolivian quinoa germplasm. Food Reviews International 19: 9–23. https://doi.org/10.1081/FRI-120018864

Roggatz, U., Mcdonald, A.J.S., Stadenberg, I., and Schurr, U., 1999. Effects of nitrogen deprivation on cell division and expansion in leaves of *Ricinus communis* L. Plant Cell Environ 22: 81–89

Sa-Nguansak, T., 2004. Effect of nitrogen fertilizer on nitrogen assimilation and seed quality of amaranth (*Amaranthus spp*.) and quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Doctora Dissertation, Submitted for the degree of Doctor of Agricultural Sciences of the Facultyof Agricultural Sciences, Georg-August-University of Göttingen from Phayao, Thailand, Göttingen, November.

Shabala, S., Hariadi, Y., and Jacobsen, S.E., 2013. Genotypic difference in salinity tolerance in quinoa is determined by differential control of xylem Na^+ loading and stomatal density. Journal of Plant Physiology 170(10): 906-914. DOI: 10.1016/j.jplph.2013.01.014

Shams, A.S., 2010. Combat degradation in rainfed areas by introducing new drought tolerant crops in Egypt. 4th

International Conference on Water Resources and Arid Environments, Riyadh, Saudi Arabia, 5-8 December, pp. 575-582.

Shams, A.S., 2012. Response of quinoa to nitrogen fertilizer rates under sandy soil conditions, Proc. 13th International Conference Agriculture., Faculty of Agriculture, Benha University., Egypt, 9-10 September 2012, p. 195-205.

Shoman, H.A., 2018. Effect of sowing dates and nitrogen on productivity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) at Desert Areas Journal Plant Production, Mansoura Univercity 9(4): 327-332.

Spehar, C.R., and De Barros Santos, R.L., 2005. Agronomic performance of quinoa selected in the Brazilian Savannah. Pesquisa Agropecuária Brasileira 40(6): 609-612.

Schulte, A.E.G., Kaul, H.P., Kruse, M., and Aufhammer, W., 2005. Yield and nitrogenutilization efficiency of the pseudo cereals amaranth, quinoa, and buck wheat under differing nitrogen fertilization. European Journal of Agronomy 22(1): 95-100. https://doi.org/10.1016/j.eja.2003.11.002

Szilagyi, L., and Jornsgard, B., 2014. Preliminary agronomicevaluation of *Chenopodium quinoa* Willd. under climatic conditions of Romania. Scientific Papers. Series A. Agronomy., LVII: 339-343.

Talebnejad, R., and Sepaskhah, A.R., 2015. Effect of different saline groundwater depths and irrigation water salinities on yield and water use of quinoa in lysimeter. Agricultural Water Management 148: 177-188. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.10.005

Thanapornpoonpong, S., 2004. Effect of nitrogen fertilizer on nitrogen assimilation and seed quality of amaranth (*Amaranthus spp*.) and quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), Doctoral Dissertation, Doctor of Agricultural Sciences of the Faculty of Agricultural Sciences, Institute of Agricultural Chemistry, Georg-August-University of Göttingen.

Thanapornpoonpong, S., Vearasilp, E., Pawelzik, S., and Gorinstein, S., 2008. Influence of various nitrogen applications on protein and amino acid profiles of amaranth and quinoa. Journal of Agricultural and Food Chemistry 56: 11464–11470. https://doi.org/10.1021/jf802673x

United Statets Environmental Protection Agency (USEPA). 1990. National Water Quality Inventory. Report to Congeres. Washington D.C., EPA. 503/9-92-006.

Wilson, C., Read, J.J., and Abo-Kassem, E., 2002. Effect of mixed-salt salinity on growth and ion relations of a quinoa and a wheat variety. Journal of Plant Nutrition 25(12): 2689-2704. https://doi.org/10.1081/PLN-120015532

Wu, G., Peterson, A.J., Morris, C.F., and Murphy, K.M., 2016. Quinoa Seed Quality Response to Sodium Chloride and Sodium Sulfate Salinity. Frontiers in Plant Science 7: 790. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4891947/. (In Persian)

Yazar, A., Incekaya, C., Sezen, S.M., and Jacobsen, S.E., 2015 Saline water irrigation of quinoa (*Chenopodium quinoa*) under Mediterranean conditions. Crop and Pasture Science 66: 993–1002. https://doi.org/10.1071/CP14243

Yazar A., Metin S., Yeşim, S.B., Çiğdem, İ., and Servet, T., 2017. Effect of planting times and saline irrigation of quinoa using drainage water on yield and yield components under the Mediterranean environmental conditions. International Journal of Research in Agriculture and Forestry 4(8): 8-16.

Zangani, A., Kashani, A., Fathi, G.H., and Meskarbashi, M., 2007. Effect of different nitrogen levels on yield andyield components of two cultivars of rapeseed quantity and quality in Ahwaz. Journal of Agriculture Sciences 39-45. (In Persian with English Summary)

Zhao, D., Reddy, K.R., Kakani, V.G., Read, J.J., and Koti, S., 2005. Selection of optimum reflectance ratios for estimating leaf nitrogen and chlorophyll concentrations of field-grown cotton. Agronomy Journal 97: 89–98. https://doi.org/10.2134/agronj2005.0089

Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

CC BY

Research Article
Vol. 14, No. 4, Winter 2023, p. 693-712

Analysis of Water and Energy Consumption and Environment Impacts of Agricultural Production in Miandarband Plain of Kermanshah Province

Faranak Karamian[1], Ali Asghar Mirakzadeh[2*] and Arash Azari[3]

Received: 15-08-2020 Revised: 04-07-2021 Accepted: 11-07-2021 Available Online: 11-07-2021	**How to cite this article:** Karamian F., Mirakzadeh, A.A., and Azari, A., 2023. Analysis of water and energy consumption and environment impacts of agricultural production in miandarband plain of Kermanshah province. Journal of Agroecology 14(4): 693-712. DOI: 10.22067/agry.2021.67227.0

Introduction

The agricultural sector accounts for 70% of fresh water and about 30% of the world's total energy consumption through food production and supply chain. Water, energy and food are three basic interrelated sources of human health, as water and energy are vital to food production. In recent centuries, increasing pressure due to scarcity of resources and increasing demand for food and ultimately environmental pollution necessitates the need for optimal management of water, energy and food. In this regard, this study was conducted Analysis of Water and Energy Consumption and Environment Impacts of Agricultural Production in Miandarband Plain.

Materials and Methods

The present study was conducted using a quantitative approach for wheat, barley, maize-grain, canola, tomato and potato crops. The statistical population was 1676 farmers that according to Krejcie and Morgan table, 315 farmers were selected using stratified random sampling. A researcher-made questionnaire and secondary data of the Meteorological Organization of Iran were used to collect information. In order to calculate the amount of energy consumed by the studied products, first the input and output energies of the products were measured and then converted to their equivalent energy. Input energy in food production systems is both direct and indirect. To calculate the water consumption by each product, two elements of green and blue water of the products were calculated. The amount of greenhouse gas emissions for the inputs of the studied products was calculated using CO_2, N_2O and CH_4 emission coefficients for different inputs.

Results and Discussion

The research results showed the dominant crops production in the region consumes 50,827 m^3 ha^{-1} of water; Potato (11440 m^3 ha^{-1}) and maize-grain (10492 m^3 ha^{-1}) consume the most water. The total energy consumption was 975608.50 MJ ha^{-1}; the highest input energy consumption is related to potato (25%), maize-grain (22%) and tomato (15%). Chemical fertilizers, diesel fuel and water for irrigation used the most energy in the agricultural sector. Total CO_2, N_2O and CH_4 emissions were 3729.79, 152.05 and 0.293 kg ha^{-1}, respectively and total Global Warming Potential, 50872. 52 kg CO_{2eq}; that tomato with emissions of 15592.48 and barley with emissions of 3279.88 kg CO_{2eq}, had the highest and lowest share. According to the results, the amount of water consumption by the studied

1- Ph.D. of Agricultural Development, Department of Agriculture Extension and Education, Agricultural College, Razi University, Kermanshah, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Agriculture Extension and Education, Agricultural College, Razi University, Kermanshah, Iran.
3- Associate Professor, Department of Water Engineering, Agricultural College, Razi University, Kermanshah, Iran.
(*- Corresponding author's Email: Mirakzadeh@razi.ac.ir)

products, except for tomatoes, is more than the recommended amount of water required during the growth period of the desired products by experts; In this regard, it can be said that low irrigation efficiency, poor supervision by relevant agencies, the existence of a large number of illegal wells, mismanagement, uncoordinated management, lack of long-term attitude and inefficient water consumption of irrigation and especially the land use system has caused high water consumption in the studied crops. According to the results, the smaller the farm area, the higher the water and energy consumption and the higher the GWP. In such farms the farmer has lost the advantage of scale and by applying pressure on the ground by increasing the irrigation cycle, the use of fertilizers and pesticides seeks to gain more efficiency. On the other hand, due to the small size of farms, they use less up-to-date technologies, thus indirectly increasing water and energy waste. The results showed that crops that are mainly grown in agriculture in the region with the lease system have the highest input consumption and have a negative impact on the environment of the region. In this regard, it can be said that land tenants in the region try to get the most economic benefit from the land in a shorter period of time, and this increases the pressure on resources.

Conclusion

In general, it can be said that low irrigation efficiency, existence of a large number of illegal wells, allocation of agricultural subsidies and the lack of calculation of water and energy costs has caused the inefficiency of the agricultural system of Miandarband plain. Therefore, increasing irrigation efficiency using strip irrigation system and increasing water and energy prices in the agricultural sector can be effective in the optimal use of water and energy.

Keywords: Global Warming Potential (GWP), Greenhouse Gases, Input consumption efficiency, Kermanshah, Sustainability.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

تحلیل میزان مصرف آب و انرژی و اثرات محیط زیستی تولید محصولات کشاورزی در دشت میاندربند استان کرمانشاه

فرانک کرمیان[۱]، علی اصغر میرک‌زاده[۲]* و آرش آذری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۲۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۰

کرمیان، ف.، میرک‌زاده، ع.ا.، و آذری، آ.، ۱۴۰۱. تحلیل میزان مصرف آب و انرژی و اثرات محیط زیستی تولید محصولات کشاورزی در دشت میاندربند استان کرمانشاه. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۴): ۷۱۲-۶۹۳.

چکیده

این پژوهش، به‌منظور تحلیل میزان مصرف آب و انرژی و اثرات محیط زیستی تولید محصولات کشاورزی در دشت میاندربند استان کرمانشاه، با استفاده از رویکرد کمّی و برای محصولات گندم، جو آبی، ذرت‌دانه‌ای، کلزا، گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی انجام گرفت. جامعه آماری، ۱۶۷۶ کشاورز بود که طبق جدول کرجسی و مورگان، ۳۱۵ کشاورز با استفاده از نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای انتخاب شدند. جهت جمع‌آوری اطلاعات از پرسش‌نامه محقق‌ساخته و داده‌های ثانویه سازمان هواشناسی ایران استفاده شد. طبق نتایج پژوهش، تولید محصولات غالب در منطقه، ۵۰۸۲۷ $m^3.ha^{-1}$ آب مصرف می‌کنند؛ سیب‌زمینی (۱۱۴۴۰ $m^3.ha^{-1}$) و ذرت‌دانه‌ای (۱۰۴۹۲ $m^3.ha^{-1}$) بیشترین میزان آب را مصرف می‌کنند. کل مصرف انرژی $MJ.ha^{-1}$ ۹۷۵۶۰۸/۵۰ بود که بیشترین میزان مصرف انرژی ورودی مربوط به سیب‌زمینی (۲۵ درصد)، ذرت‌دانه‌ای (۲۲ درصد) و گوجه‌فرنگی (۱۵ درصد) می‌باشد. همچنین کودهای شیمیایی، سوخت‌دیزل و آب برای آبیاری بیشترین میزان انرژی را در بخش کشاورزی مصرف کردند. انتشار CO_2، N_2O و CH_4 به‌ترتیب ۳۷۲۹/۷۹، ۱۵۲/۰۵ و ۰/۲۹۳ کیلوگرم در هکتار و پتانسیل گرمایش جهانی، ۵۰۸۷۲/۵۲ $kg\ CO_{2\ eq}.ha^{-1}$ بود که گوجه‌فرنگی با انتشار ۱۵۵۹۲/۴۸ و جو با انتشار ۳۲۷۹/۸۸ کیلوگرم معادل CO_2، بیشترین و کمترین سهم را دارا بودند. می‌توان گفت کارایی پایین آبیاری، وجود تعداد زیاد چاه‌های غیرمجاز، اختصاص یارانه‌های کشاورزی و عدم محاسبه هزینه آب و انرژی موجب ناکارآمدی سیستم کشاورزی دشت میاندربند شده است؛ لذا افزایش کارایی آبیاری با استفاده از سامانه آبیاری نواری و همچنین افزایش قیمت آب و انرژی در بخش کشاورزی همراه با حفظ منافع کشاورزان می‌تواند در استفاده بهینه از آب و انرژی و کاهش مصرف آن‌ها مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: پایداری، پتانسیل گرمایش جهانی (GWP)، کارایی مصرف نهاده‌ها، گازهای گلخانه‌ای

۱- دکتری توسعه کشاورزی، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۲- استادیار، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۳- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: Mirakzadeh@razi.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2021.67227.0

مقدمه

در دهه‌های اخیر، افزایش غلظت گازهـای گلخانـه‌ای در اتمسـفر موجب گرم شدن کره زمین شده است و عواقب آن به‌مراتب شـدیدتر از آن چیزی است که چند سال پیش تخمین زده شـده بـود (Tan et al., 2016). در این راستا، کشاورزی بخش اصلی تأمین‌کننده امنیـت غذا، انرژی و آب و همچنین یکی از مهم‌ترین منـابع انتشـار گازهـای گلخانه‌ای به جو مـی‌باشـد (Tian et al., 2016)، بـه‌طـوری‌کـه ۷۰ درصـد از مجمـوع آب شـیرین (Fan et al., Garcia et al., 2019 ; 2020) و حدود ۳۰ درصد از کل انرژی مصرف شـده در جهـان را بـه خود اختصاص می‌دهد (Garcia et al., 2019). همچنـین ۱۰ تـا ۱۲ درصد گازهای گلخانه‌ای[1] توسط بخش کشاورزی وارد جـو مـی‌شـود (Khoshnevisan et al., 2013a). مصـرف آب و انـرژی در بخـش کشاورزی، موجب انتشار گازهای گلخانه‌ای همچون کربن دی اکسید (CO_2)، متان (CH_4) و اکسید نیتـروژن (N_2O) و در نتیجـه، افـزایش گرمایش جهانی و تشـدید بـروز خشکسـالی خواهـد شـد. از ایـن رو، علاوه‌بر مسائل مربوط به مصرف آب و انرژی بـه‌عنـوان ورودی‌هـای کشاورزی، مسائل مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلـودگی‌هـای زیست‌محیطی ایجاد شده نیز در سیستم‌هـای تولیـد کشـاورزی مهـم هستند (Pishgar-Komleh et al., 2012). حـدود ۹۰ درصـد N_2O، ۷۰ درصد CH_4 و ۲۰ درصد CO_2 موجود در جو حاصل از فعالیت‌های کشاورزی است. بنابراین، وجود ارتباط مستقیم بین مصـرف انـرژی و آب در بخش کشـاورزی و انتشـار گازهـای گلخانـه‌ای کـه گرمـایش جهانی و تشدید خشکسالی را بـه همـراه دارد، غیرقابـل انکـار اسـت (Yousefi et al., 2016).

در این راستا، در کشورهای درحال توسعه از جملـه ایـران میـزان منابع طبیعی از جمله آب و انرژی محدود است. ایران سرزمینی اسـت که در ناحیه خشک و نیمه خشک جهان قرار گرفته (Mohammadi & Banihabib, 2020) و میزان نزولات جوی در آن بسیار کم است؛ به‌طوری‌که متوسط بارندگی سـالانه در ایـران حـدود ۲۵۰ میلـی‌متـر گزارش شده است، این در حالی است که میـزان بارنـدگی سـالیانه در سطح کره زمین ۸۶۰ میلی‌متر تخمین زده شده است (Basiri et al., 2020). در کشـور ایـران، کشـاورزی نقـش اساسـی در اقتصـاد دارد؛ به‌طوری‌که حدود ۱۰ درصد از تولید ناخالص داخلی، ۲۰ درصد اشتغال و بیش از ۲۰ درصد صادرات غیرنفتی را شامل می‌شود (Farajian et al., 2018). در کشور ایران حدود ۹۵ درصد از منـابع آب موجـود، در بخـش کشـاورزی بـرای آبیـاری محصـولات مصـرف مـی‌شـود (Mirbalooch et al., 2020) و متوسط مصرف انرژی در کشـاورزی ایران سه برابر بیشتر از سطح جهانی است (Farajian et al., 2018)؛ همچنین میزان تولید CO_2 خالص موجود در جو حاصل فعالیـت‌هـای کشـاورزی در ایـران حـدود چهـار درصـد گـزارش شـده اسـت (Mohammadi et al., 2014). بنـابراین، محـدودیت منـابع آب و انرژی در کشور و آلودگی‌های زیست‌محیطـی طـی سـال‌هـای اخیـر موجب افزایش توجه به بحث پایداری شده است. باتوجـه بـه مصـرف بالای آب و انرژی در بخش کشاورزی و همچنین اهمیت این دو منبع در تأمین امنیت غذایی کشور، استفاده بهینه از آن‌ها و افزایش بهـره-وری، یکی از راهکارهای اساسـی بـرای دسـتیابی بـه توسـعه پایـدار کشاورزی می‌باشد؛ از طرفی، با توجه بـه محـدودیت منـابع طبیعـی و تأثیر استفاده شدید انرژی بر سلامت انسان و محیط زیسـت، بررسـی الگوی اسـتفاده از انـرژی در کشـاورزی و اثـرات زیسـت‌محیطـی آن حیاتی است.

درخصوص مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانـه‌ای در بخـش کشاورزی مطالعات مختلفی در ایران و جهـان صـورت گرفتـه اسـت. نتایج مطالعه تقـی نـژاد و همکـاران (Taghinazhad et al., 2019) نشان داد، کل انرژی ورودی برای گندم آبـی (*Triticum aestivum* L.) حدود ۳۸۷۵۵/۳۴ مگاژول در هکتار بود کـه در بـین نهـاده‌هـای ورودی، میزان کود نیتروژن و سوخت دیزل به‌ترتیب با ۳۷/۳۸ درصـد و ۱۹/۰۳ درصد بیشترین سهم را داشتند. همچنـین طـبق نتـایج کـل انتشار N_2O، CH_4 و CO_2 حاصل از گنـدم آبـی بـه‌ترتیـب ۵۱۷/۱۴، ۱/۶۵ و ۱۲۷۱/۲۵ کیلوگرم در هکتار بود. نتایج مطالعه افروزی و زارع ابیانه (Afruzi & Zare Abyaneh, 2020) نشان داد، طی سال‌های آبی ۱۳۶۱-۱۳۹۶در دشت همدان، محصول کلزا (*Brassica napus* L.) با میانگین ۵۳۲/۹ میلی‌متر در سال کمترین نیاز خالص آبیـاری را داشته‌اند. کمالی (Kamali, 2021) در مطالعه خود به بررسـی میـزان نیاز آبی ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) در اسـتان مازنـدران پرداخـت. نتایج مطالعه نشان داد، در کشت بهاره، میزان نیاز آبی ذرت دانه‌ای در دو ایستگاه ساری و دشت ناز بـه‌ترتیـب ۴۶۲۲ و ۴۶۰۷ مترمکعـب در

1- Greenhouse gases

هکتـار بـود. میسـمی و جلالـی (Maysami & Jalali, 2020) در مطالعه خود نشان دادند، در کشت گندم انرژی نهاده سـوخت در بـین نهاده‌های دیگر دارای بیشترین مقـدار بـود. افضـلی‌نیـا (Afzalinia, 2020) در مطالعه خود به این نتیجه دست یافت که بیش از ۷۲ درصد مصرف انرژی در تولید گندم مربوط به آب آبیاری و الکتریسیته بـرای استحصال آب بود. همچنین بر اساس نتایج، میزان گازهای گلخانه‌ای متصاعد شده توسـط گنـدم آبـی در خـاک‌ورزی مرسـوم، ۱۸۳۲۸/۳۱ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار مـی‌باشـد. رضوان‌طلـب و همکـاران (Rezvantalab et al., 2019) نشان دادند برای کشـت یـک هکتـار گنـدم حـدود ۱۶۲۳۱/۰۴ مگـاژول در هکتـار انـرژی نیـاز اسـت و ۱۴۱۴/۰۱ کیلـوگرم معـادل CO_2 در هکتـار بـه جـو آزاد مـی‌شـود. همچنـین بـر اسـاس نتـایج مـرادی و پورقاسـمیان (Moradi & Pourghasemian, 2017) در هر سه محصول گندم، ذرت و جو (*Hordeum vulgare* L.) میـزان انتشـار گازهـای گلخانـه‌ای ناشـی از مصرف کود نیتروژن بیشتر از دیگر نهاده‌ها بود. میزان انتشـــار N_2O، CH_4 و CO_2 در گندم بیشتر از ذرت و آن هم بیشتر از جو بود.

نتـایج مطالعـه شـعبان‌زاده و همکـاران (Shabanzadeh et al., 2016) نشان داد تولید گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) در استان خراسان رضوی به‌طور متوسـط ۴۳/۲ گیگا ژول در هکتـار انرژی ورودی نیاز دارد که از این میزان، آب آبیاری بیشترین سـهم را به خود اختصاص داد. همچنین نتایج بیانگر آن بود که اگرچـه درصـد قابل توجهی از واحدهای تحت بررسـی ناکـارا بودنـد، بـا ایـن وجـود زارعانی که دارای سطح زیرکشت بـالاتر هسـتند، از الگـوی مصـرف انرژی مناسب‌تری برخوردار بوده و کارآیی فنی این واحدها نسبت بـه سایر واحدها بالاتر است. همچنین یوسفی و همکـاران (Yousefi et al., 2016) در مطالعه خود به این نتیجه دست یافتند که کـل انتشـار CO_2، N_2O و CH_4 در سیسـتم‌هـای تولیـد گنـدم آبـی بـه‌ترتیـب ۱۹۸۱/۲۵، ۳۱/۱۸ و ۱/۸۷ کیلـوگرم در هکتـار اسـت. زاهـدی و همکاران (Zahedi et al., 2015) نشان دادند کل انرژی به‌کار رفتـه برای تولید سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) ۸۴۶۳۳ مگاژول در هکتار می‌باشد و میزان انـرژی خروجـی آن ۱۱۹۹۱۷ مگـاژول در هکتار برآورد شد که بیشترین میزان مصرف انرژی مربوط به سـوخت دیزل بود. نتـایج مطالعـه فـان و همکـاران (Fan et al., 2020) نیـز نشان داد در بخش کشاورزی ۷۰ درصد انرژی به صورت غیرمستقیم و ۳۰ درصد به‌صورت مستقیم مصرف می‌شود. یافتـه‌هـای فبیـانی و همکاران (Fabiani et al., 2020) نیز نشـان داد در مصـرف انـرژی، سهم سوخت و کود شیمیایی در تولید گندم بیشـتر از سـایر نهـاده‌هـا است.

با توجه به مطالب ارائـه شـده، هـدف از ایـن مطالعـه، تحلیـل و مقایسه میزان مصرف آب و انرژی و همچنین انتشار گازهای گلخانه-ای توسط محصولات عمده زراعی در دشت میاندربند است. محاسـبه میزان مصرف آب و انرژی و CO_2 منتشر شده، نخسـتین گـام جهـت برنامه ریزی و مدیریت افزایش بهـره‌وری بـا هـدف تولیـد بهینـه در شرایط محدودیت منابع آب و انرژی و کاهش اثـرات زیسـت‌محیطـی حاصل از کشاورزی است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در دشت میاندربند استان کرمانشـاه (34° 25´-34° 41´ E, 46° 49´- 47° 03´ N) و برای محصولات آبی غالب منطقـه شامل گندم، جو، ذرت‌دانه‌ای، گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی و کلزا در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ انجام گرفـت. مسـاحت ایـن دشـت حـدود ۳۰۰ کیلومترمربع بوده که با دارا بودن منابع آب زیرزمینی و احـداث شـبکه آبیاری و زهکشی، به یکـی از منـاطق بـا ظرفیـت بـالا بـرای تولیـد محصولات زراعی در ایران تبـدیل شـده اسـت. دشـت میاندربنـد بـا ۱۲۱۳۵ هکتار از اراضی آبی، دارای بیشترین مقـدار محصـول آبـی در بین دشت‌های استان کرمانشاه است. مدیریت ضعیف، عدم نظـارت و بهره‌برداری بـی‌رویـه از منـابع آب‌هـای زیرزمینـی و انـرژی یکـی از چالش‌های اساسی در این دشت می‌باشد. برداشت‌های بدون مجـوز از منابع آب زیرزمینی و کشت محصولات نامتناسب با شـرایط محیطـی منجر به تخصیص ناکارا و اتلاف منابع آب و انرژی و افزایش انتشـار گازهـای گلخانـه‌ای شـده اسـت. همچنـین عمـده محـدودیت‌هـای کشاورزی و زیست‌محیطی در منطقه مورد مطالعه، مربوط به آلـودگی آب‌های زیرزمینی از طریق استفاده بیش از حـد از سـموم و کودهـای شیمیایی برای تولید غذای بیشتر می‌باشد. بنابراین، می‌توان گفت این منطقه برای دستیابی به کشاورزی پایدار، در آینده با بحران منـابع آب و انرژی برای تولید مواد غذایی روبرو خواهد شد؛ لذا لازم است میزان مصرف آب و انرژی و همچنین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط محصولات کشت شده انجام پذیرد تا از این طریق بتوان برنامه‌ریـزی دقیق‌تر منطقـه‌ای بـرای کشـت محصـولات بـا میـزان آب و انـرژی

مصرفی کمتر و همچنین آلاینده‌های کمتر ارائه گردد. بنابراین، دشت میاندربند نشان‌دهنده یک مطالعه موردی مناسب برای پژوهش مورد نظر است؛ چرا که موضوعاتی همچون حفاظت از آب‌های زیرزمینی، تولید مواد غذایی با مصرف آب و انرژی کمتر و کاهش اثرات زیست‌محیطی موضوعات درهم تنیده‌ای می‌باشند.

روش پژوهش و جمع‌آوری داده‌ها

تحقیق حاضر از نظر رویکرد کلی، کمّی و از لحاظ هدف، کاربردی و از نوع تحقیقات توصیفی- پیمایشی است. جامعه آماری در این پژوهش، ۱۶۷۶ کشاورز بود که محصولات مورد مطالعه را کشت کرده بودند. حجم نمونه طبق جدول کرجسی و مورگان (krejcie and morgan, 1970)، ۳۱۵ کشاورز تعیین شد که با استفاده از نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای متناسب با حجم (بر مبنای محصولات مورد مطالعه) انتخاب شدند. جهت جمع‌آوری اطلاعات از پرسش‌نامه محقق ساخته، مصاحبه و داده‌های ثانویه سازمان هواشناسی ایران (داده‌های میزان بارندگی، دمای حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد) استفاده شد.

محاسبه آب و انرژی مصرفی توسط محصولات مورد مطالعه: جهت محاسبه میزان انرژی مصرفی توسط محصولات مورد مطالعه، ابتدا انرژی ورودی و خروجی محصولات اندازه‌گیری شد و سپس به انرژی معادل خود تبدیل شدند (جدول ۱). انرژی ورودی در سیستم‌های تولید مواد غذایی به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم می‌باشد (Fabiani et al., 2020). انرژی مستقیم شامل نیروی انسانی، نیروی الکتریسیته برای پمپاژ آب، سوخت دیزل و آب برای آبیاری در تولید محصولات کشاورزی است. برای محاسبه آب مصرفی توسط هر محصول، دو عنصر آب سبز و آب آبی محصولات محاسبه شد؛ امّا از آنجا که برای آب سبز که مربوط به بارندگی است، انرژی برای استخراج آب صرف نمی‌شود؛ لذا در این بخش فقط انرژی صرف شده برای استخراج آب آبی وارد فرمول‌های انرژی شد. لازم به توضیح است که در محاسبه انرژی لازم برای آبیاری، کارایی آبیاری مهم می‌باشد؛ چرا که هر چقدر کارایی آبیاری بالاتر باشد، یعنی آب کمتری تلف می‌شود و انرژی کمتری نیز جهت استخراج آب مورد نیاز است. بنابراین، در این بخش، کارایی آبیاری برای هر محصول نیز لحاظ گردید.

آب سبز حجم آبی است که از طریق باران تأمین می‌گردد و در مناطق غیراشباع خاک به‌صورت رطوبت ذخیره می‌شود (Elbehri & Sadiddin, 2016). آب آبی، حجم آبی است که از طریق آبیاری فراهم می‌گردد، یعنی همان آب‌های سطحی و آب‌های زیر زمینی (Behmanesh et al., 2016). نیاز آب سبز (CWR_{green}, $m^3.ha^{-1}.yr^{-1}$) و آب آبی (CWR_{blue}, $m^3.ha^{-1}.yr^{-1}$) به‌صورت معادله‌های ۱ و ۲ محاسبه شدند (Fan et al., 2020).

$$CWR_{green} = 10 * \sum_{n}^{d=1} ET_{green}$$ معادله (۱)

$$CWR_{blue} = 10 * \sum_{n}^{d=1} ET_{blue}$$ معادله (۲)

که در آن، ET_{green} ($mm.d^{-1}$) و ET_{blue} ($mm.d^{-1}$): به‌ترتیب تبخیر و تعرق حاصل از میزان بارش و آب آبیاری است. n: طول دوره رشد یک محصول در طول یک سال و مقدار ثابت ۱۰ نیز به‌منظور تبدیل عمق آب در میلی‌متر (mm) به حجم آب در سطح زمین $m^3.ha^{-1}$ استفاده می‌شود.

ET_{green} و ET_{blue} از طریق معادله‌های ۳ و ۴ محاسبه شد.

$$ET_{green} = min\ (ET_c, P_e)$$ معادله (۳)

$$ET_{blue} = max\ (0, ET_c, P_e)$$ معادله (۴)

که در آن، ET_c ($mm.d^{-1}$): تبخیر و تعرق محصول در هر ماه و P_e ($mm.d^{-1}$): بارندگی مؤثر در دسترس هر محصول است.

ET_c به‌صورت معادله ۵ محاسبه می‌شود.

$$ET_c = k_c \times ET_0$$ معادله (۵)

که در آن، k_c : ضریب گیاهی و ET_0 $[t]$ ($mm.d^{-1}$): نیز تبخیر و تعرق مرجع در هر ماه می‌باشد.

در این مدل، معادله پنمن- مونتیث که مورد تأیید سازمان خوار و بار کشاورزی است، به‌عنوان روش استاندارد در نظر گرفته شد و P_e با استفاده از فرمول تجربی به‌دست آمده توسط خدمات حفاظت از خاک وزارت کشاورزی ایالات متحده محاسبه شد (Fan et al., 2020) (معادله ۶).

معادله (۶)

$$P_e = P \times (4.17 - 0.2 \times P) / 4.17, \quad for\ P < 8.3\ mm.d^{-1}$$

$$P_e = 4.17 + 0.1 \times P, \quad for\ P \geq 8.3\ mm.d^{-1}$$

که در آن، P: میزان بارش روزانه است. همچنین در معادلات کارایی آبیاری نیز لحاظ شده است. محاسبات مربوط به‌میزان مصرف آب با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT تحلیل شد.

برای محاسبه نیروی الکتریسیته مورد نیاز برای پمپاژ آب از

معادله ۷ استفاده شد (Ahmad & Khan, 2009).

معادله (۷) $E= p \times t \times c$

که در آن، E: انرژی الکتریسته (MJ)، p: قدرت پمپ (kWh)، t: زمان کار پمپ و c: معادل انرژی در هر کیلووات ساعت است (1 kw = 3/6 MJ).

استفاده غیرمستقیم از انرژی شامل انرژی لازم برای تولید کود، سموم شیمیایی و آفت‌کش‌ها، بذرها و ماشین‌آلات کشاورزی می‌باشد (Fabiani et al., 2020). در نهایت، به‌منظور محاسبه انرژی مصرفی توسط محصولات مورد مطالعه (E_c) از معادله ۸ استفاده شد.

معادله (۸)

$$Ec,t=\sum (q_h\, h_{(c,t)} + q_m\, m_{(c,t)} + q_d\, d_{(c,t)} + q_e\, e_{(c,t)} + q_f\, f_{(c,t)} + q_p\, p_{(c,t)} + q_s\, s_{(c,t)} + q_w\, w_{(c,t)})$$

$$(c=1,2, \ldots.. 6)$$

که در آن، q_h: معادل انرژی لازم برای نیروی کار انسانی، q_m: انرژی لازم برای ماشین‌آلات، q_d: انرژی لازم برای سوخت دیزل، q_e: انرژی لازم برای تولید برق (الکتریسیته)، q_f: انرژی لازم برای تهیه کود، q_p: انرژی لازم برای تهیه آفت‌کش‌ها، q_s: انرژی لازم برای تهیه بذر و q_w: انرژی لازم برای آبیاری محصول می‌باشدکه انرژی‌ها ورودی در تولید محصول c هستند.

$h_{(c,t)}$: ساعت کاری نیروی انسانی برای هر هکتار، $m_{(c,t)}$: ساعت کار ماشین‌آلات در هر هکتار، $d_{(c,t)}$: مقدار سوخت دیزل استفاده شده، $e_{(c,t)}$: الکتریسیته برای استحصال آب، $f_{(c,t)}$: مقدار کود استفاده شده، $p_{(c,t)}$: مقدار آفت‌کش استفاده شده، $s_{(c,t)}$: مقدار بذر استفاده شده و $w_{(c,t)}$: مقدار آبیاری می‌باشد.

لازم به ذکر است که در این پژوهش، عملکرد و کاه محصولات مورد مطالعه به‌عنوان انرژی خروجی لحاظ شد.

محاسبه گازهای گلخانه‌ای منتشر شده توسط محصولات مورد مطالعه: تولید محصولات کشاورزی علاوه‌بر صرف آب و انرژی، مقدار زیادی گازهای گلخانه‌ای وارد جو نموده و اثرات زیست‌محیطی فراوانی را به بار خواهند آورد که تغییرات اقلیم و خشکسالی را تشدید می‌کنند. مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای برای ورودی‌های محصولات مورد مطالعه با استفاده از ضریب انتشار CO_2، CH_4 و N_2O برای ورودی‌های مختلف که در جدول ۲ نشان داده شده است؛ محاسبه شد.

از آنجا که پتانسیل گازهای گلخانه‌ای ایجاد شده توسط محصولات کشاورزی در ایجاد تغییرات اقلیم و آلودگی زیست‌محیطی متفاوت است؛ لذا مجمع بین‌المللی تغییرات اقلیم در سال ۲۰۰۷، هر گاز را به پتانسیل گرمایش جهانی[1] (GWP) در ارتباط با کربن دی‌اکسید معادل سازی نموده است و انتشار گازهای گلخانه‌ای برحسب گاز مرجع (CO_2) اندازه‌گیری می‌شوند؛ بر این اساس، GWP برای CO_2 (ظرف مدت ۱۰۰ سال) برابر با ۱، برای CH_4 برابر با ۲۱ و برای N_2O برابر با ۳۱۰ می‌باشد (Soni et al., Yousefi et al., 2016 ; 2013). اثر کل گلخانه‌ای مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق معادله ۹ محاسبه می‌شود.

معادله (۹) $GWP\ CO_{2eq} \sum GWP_c \times m_c \quad (c=1,2, \ldots.. 6)$

که در آن، m_c: جرم (kg) گازهای انتشار یافته است (که با توجه به ورودی‌های کشاورزی و جدول ۲ محاسبه می‌گردد). عدد نهایی حاصل از معادله ۹ به‌صورت معادل CO_2 تولید شده ($CO_2\ eq$) می‌باشد.

نتایج و بحث

مقدار آب مصرفی محصولات مورد مطالعه

در جدول ۳ نوع سیستم آبیاری، اندازه مزرعه و نوع نظام بهره‌برداری مربوط به هر محصول نشان داده شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، در محصولات مورد مطالعه به‌جز کلزا و گوجه‌فرنگی، سیستم آبیاری سطحی بر تحت فشار غالب است و همین امر موجب پایین آمدن کارایی آبیاری در آن‌ها شده است؛ همچنین اکثر محصولات دارای سطح زیر کشت کمتر از پنج هکتار می‌باشند (جو، ذرت دانه‌ای، گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی). از نظر نوع نظام بهره‌برداری می‌توان گفت دو محصول گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی اکثراً دارای سیستم اجاره‌ای هستند و در بقیه محصولات، کشاورزان خود مالک بر زمین‌هایشان هستند.

1- Global warming potential

جدول ۱- معادل‌های انرژی برای تولید محصولات کشاورزی آبی

Table 1- Energy equivalents for the production of irrigated agricultural products

نوع Type	واحد Unit	معادل‌های انرژی Energy equivalents (MJ unite^{-1})	منابع Reference
		الف: انرژی مستقیم ورودی A: Direct input energy	
۱- کار انسان 1- Human labor	H	1.96	Fabiani et al. (2020)
۲- سوخت دیزل 2- Diesel fuel	L	56.31	Jat et al. (2020)
۳- الکتریسیته (برق) 3- Electricity	kWh	3.6	Yousefi et al. (2016)
۴- آب برای آبیاری 4- Water for irrigation	M^3	1.02	Jat et al. (2020)
		ب: انرژی غیرمستقیم ورودی B: Indirect input energy	
۱- ماشین‌آلات 1- Machinery	H	62.7	Fabiani et al. (2020)
۲- کودها 2- Fertilizers			
a) نیتروژن (N) a) Nitrogen (N	kg	60.60	Jat et al. (2020)
b) فسفات (P_2O_5) b) Phosphate (P_2O_5)	kg	11.10	Jat et al. (2020)
c) پتاسیم (K_2O) c) Potassium (K_2O)	kg	6.7	Jat et al. (2020)
d) کود دامی و کود مزرعه d) Farmyard manure	kg	0.30	Yousefi et al. (2016)
۳- آفت‌کش‌ها 3- Pesticides			
a) حشره‌کش‌ها a) Insecticides	kg	184.63	Jat et al. (2020)
b) علف‌کش‌ها b) Herbicides	kg	254.45	Jat et al. (2020)
c) قارچ‌کش‌ها c) Fungicides	kg	181.9	Ghiyasi et al. (2008)
۴- بذر محصولات 4- Seed products			
a) بذر غلات a) Cereal grain	kg	14.7	Jat et al. (2020)
b) بذر کلزا b) Rapeseed seeds	kg	3.6	Beheshti Tabar et al. (2010)
c) سیب‌زمینی c) Potato	kg	3.6	Hatirli et al. (2005)
d) بذر گوجه‌فرنگی d) Tomato seeds	kg	1.00	Singh et al. (2010)
		ج) خروجی C) Output	
۱- دانه غلات 1- Cereal grain	kg	14.7	Jat et al. (2020)
۲- دانه روغنی کلزا 2) Rapeseed seeds	kg	25	Beheshti Tabar et al. (2010)
۳- سیب‌زمینی 3- Potato	kg	3.6	Hatirli et al. (2005)
۴- گوجه‌فرنگی 4- Tomato	kg	0.8	Esengun et al. (2007)
۵- کاه و کلش غلات 5- Cereal straw	kg	12.5	Jat et al. (2020)

جدول ۲- فاکتورهای انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به ورودی‌های (نهاده‌ها) کشاورزی

Table 2 - Emission factors of greenhouse gases related to agricultural inputs

ورودی‌ها Inputs	فاکتورهای انتشار Dissemination factors CO_2	CH_4	N_2O	منابع Reference
سوخت دیزل Diesel	74.1×10^{-3}	1×10^{-5}	6.1×10^{-8}	Soni et al. (2013)
الکتریسته Electricity	61.20×10^{-3}	0.02×10^{-3}	8.82×10^{-3}	Tzilivakis et al. (2005)
نیتروژن (N) N	1.3	–	1.5×10^{-2}	
فسفات (P_2O_5) P	0.2	–	–	
پتاسیم (K_2O) K	0.15	–	–	
قارچ‌کش‌ها Fungicides	3.9	–	–	Soni et al. (2013)
حشره‌کش‌ها Insecticides	5.1	–	–	
علف‌کش‌ها Herbicides	6.3	–	–	
GWP معادل CO_2 GWP CO_2 equivalence factor	1	21	310	

جدول ۳- نوع سیستم آبیاری، اندازه مزرعه و نوع نظام بهره‌برداری مربوط به محصولات مورد مطالعه

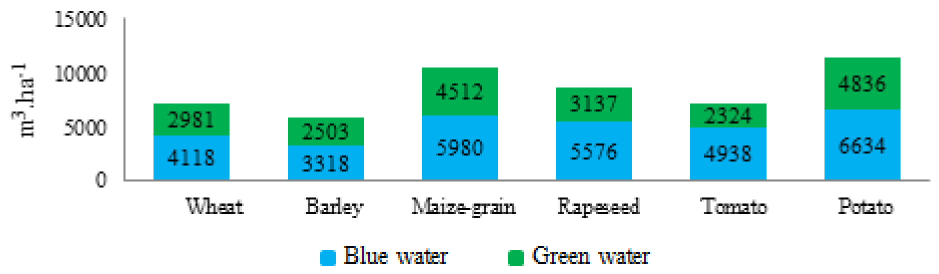
Table 3- Type of irrigation system, farm size and type of exploitation system related to the studied products

نام محصول Product name		گندم Wheat	جو Barley	ذرت‌دانه‌ای Maize-grain	کلزا Rapeseed	گوجه‌فرنگی Tomato	سیب‌زمینی Potato
کارایی آبیاری Irrigation efficiency		58%	57%	57%	64%	68%	58%
سیستم آبیاری Irrigation system	تحت فشار Pressurized	36%	33%	33%	56%	51%	42%
	سطحی Surface	64%	67%	67%	44%	49%	58%
اندازه مزرعه Farm size	زیر ۵ هکتار Under 5 ha	23%	82%	55%	46%	95%	56%
	۵ تا ۱۰ هکتار 5- 10 ha	50%	15%	34%	49%	5%	39%
	۱۰ تا ۱۵ هکتار 10-15 ha	23%	0%	7%	5%	0%	5%
	بالای ۱۵ هکتار Above 15 ha	4%	3%	4%	0%	0%	0%
نظام بهره‌برداری Exploitation system	مالکی Owner	97%	100%	99%	98%	42%	48%
	اجاره‌داری Leasehold	3%	0%	1%	2%	58%	52%

در شکل ۱ میزان آب سبز و آب آبی نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، تولید محصولات غالب در منطقه، ۵۰۸۲۷ مترمکعب در هر هکتار آب مصرف می‌کنند که ۶۰ درصد آن آب آبی و ۴۰ درصد آن آب سبز می‌باشد و بیشترین سهم در مصرف آب به‌ترتیب مربوط به تولید سیب‌زمینی (۲۳ درصد)، ذرت‌دانه‌ای (۲۱ درصد)، کلزا (۱۷ درصد)، گوجه‌فرنگی (۱۴/۵ درصد)، گندم (۱۳/۵ درصد) و جو (۱۱ درصد) بود. بر اساس نتایج پژوهش، میزان آب مصرفی کلزا ۵۵۷۶ مترمکعب در هکتار بود که در این راستا، نتایج مطالعه افروزی و زارع ابیانه (Afruzi & Zare Abyaneh, 2020) نیز نشان داد، طی سال‌های آبی ۹۶-۱۳۶۱ در دشت همدان، نیاز آبی محصول کلزا به‌طور میانگین ۵۳۲۹ مترمکعب در هکتار (۵۳۲/۹ میلی‌متر) می‌باشد. همچنین در این پژوهش میزان مصرف آب توسط ذرت دانه‌ای، ۵۹۸۰ مترمکعب در هکتار محاسبه شد که این یافته نزدیک به مقدار محاسبه شده توسط کمالی (Kamali, 2021) می‌باشد؛ چرا که ایشان نیز در مطالعه خود میزان نیاز آبی ذرت دانه‌ای در دو ایستگاه ساری و دشت ناز به‌ترتیب ۴۶۲۲ و ۴۶۰۷ مترمکعب در هکتار برآورد نمودند.

باتوجه به نتایج تحقیق، با اینکه گوجه‌فرنگی دفعات بیشتری آبیاری می‌شود؛ امّا با این وجود مقدار مصرف آب در آن پایین است. این امر به این دلیل می‌باشد که اکثر گوجه‌کارهای منطقه مورد مطالعه از سیستم آبیاری نواری (تیپ) استفاده می‌کنند که این امر موجب افزایش کارایی آبیاری در آن شده است؛ امّا در سایر کشت‌ها اکثراً سیستم آبیاری به‌صورت غرقابی و به‌ندرت به‌صورت بارانی بوده که این امر موجب پایین آمدن کارایی آبیاری شده است. بنابراین، با نگاهی به شکل ۱ مشخص می‌شود، میزان مصرف آب توسط محصولات مورد مطالعه به‌جز گوجه‌فرنگی، بیشتر از میزان آب مورد نیاز در طول دوره رشد محصولات مورد نظر از سوی کارشناسان می‌باشد و همین امر موجب افزایش مصرف آب و انرژی در بخش کشاورزی شده است. در این زمینه می‌توان گفت، اکثر کشاورزان منطقه از آب سد گاوشان برای آبیاری مزارع خود استفاده می‌کنند و هزینه بسیار پایینی به‌ازای آن پرداخت می‌کنند که این امر موجب افزایش مصرف آب و انرژی (بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی موجب پایین آمدن سطح آب و افزایش انرژی مورد نیاز برای پمپاژ آن می‌شود) و در نتیجه، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و به تبع آن، آلودگی زیست‌محیطی شده است.

اگرچه تاکنون مصرف استاندارد آب به تفکیک هر محصول در بخش کشاورزی ارائه نشده است؛ امّا اخیراً مطالعه‌ای که توسط مکونن و هوکسترا (Mekonnen & Hoekstra, 2020) انجام گرفت، نشان داد که ۷۰ درصد از ناپایداری مصرف آب آبی در بخش کشاورزی در جهان در پنج کشور هند (۳۱ درصد)، چین (۱۳ درصد)، ایالات متحده (۱۲ درصد)، پاکستان (۱۰ درصد) و ایران (۴ درصد) و به‌دلیل تولید محصولاتی همچون گندم، برنج، پنبه، نیشکر، ذرت دانه‌ای، جو و کلزا می‌باشد. البته در این مطالعه عنوان شده است که دلیل ناپایداری آب در بخش کشاورزی در ایران به‌دلیل کشت محصولاتی همچون گندم (۲۷ درصد)، برنج (۱۴ درصد)، چغندرقند (۶ درصد) و سیب‌زمینی (۴ درصد) می‌باشد.



شکل ۱- آب سبز و آب آبی مصرف شده توسط محصولات مورد مطالعه در هر هکتار ($m^3.ha^{-1}$)

Fig. 1- Green and blue water consumed by the studied crops per hectare in terms of cubic meters

میزان نهاده‌های ورودی و خروجی در محصولات مورد مطالعه

طبق نتایج حاصل از مطالعه، در سیستم کشاورزی دشت میاندربند، استفاده از نیروی کار انسانی در گوجه‌فرنگی (۱۶۸۸/۱۴ ساعت در هکتار) بالاتر از سایر محصولات بود؛ چرا که در اکوسیستم تولید گوجه‌فرنگی به‌دلیل برداشت سه چین و استفاده از نیروی کارگر

در هر مرحله، حجم استفاده از نیروی کار انسانی بالاتر از سایر کشت-ها است. سیب‌زمینی (۵۱۳ ساعت در هکتار) و ذرت‌دانه‌ای (۱۴۳/۱۹ ساعت در هکتار) به‌ترتیب در اولویت‌های دوم و سوم قرار گرفتند. علاوه‌براین، سیب‌زمینی با ۳۲/۸۸ ساعت در هکتار بیشترین استفاده از ماشین‌آلات و در نتیجه، بیشترین میزان مصرف سوخت دیزل (۲۳۰/۷۴ لیتر در هکتار) را به خود اختصاص داد. بر اساس نتایج، در اکثر محصولات مورد مطالعه در بین نهاده‌های ورودی، میزان کود دامی، آب برای آبیاری، الکتریسیته و کود نیتروژن بیشترین سهم را داشتند. نتایج مطالعه تقی نژاد و همکاران (Taghinazhad et al., 2019) نیز نشان داد در تولید گندم آبی در بین نهاده‌های ورودی، میزان کود نیتروژن با ۳۷/۳۸ درصد بیشترین سهم را داشت.

جدول ٤- مقدار نهاده‌های ورودی و خروجی (در هکتار) در کشاورزی دشت میاندربند

Table 4- The amount of input and output inputs (per hectare) in agriculture of Miandarband plain

مقدار (ورودی و خروجی) Quantity (input and output)	کمیت در واحد سطح / Quantity per unit area (ha) گندم Wheat	جو Barley	ذرت دانه‌ای Maize-grain	کلزا Rapeseed	گوجه‌فرنگی Tomato	سیب‌زمینی Potato
الف) ورودی‌ها / A) Inputs						
کار انسان Human labor (h)	69.86	56	143.19	32.4	1688.14	513
ماشین‌آلات Machinery (h)	20.15	21.43	24.44	18.77	21.50	32.88
سوخت دیزل Diesel fuel (L)	160.21	156.66	201.66	143.95	158.58	230.74
الکتریسیته Electricity (kWh)	1004	493.91	3184	711.9	5425	3281.2
آب برای آبیاری Water for irrigation (m^3)	4118	3318	5980	5576	4938	6634
کودها / Fertilizers (kg)						
کود دامی Farmyard manure	9800	12500	11730	0	14448	13643
نیتروژن N	302.94	309.37	550.94	265.11	60.42	357.31
فسفات Phosphate (P_2O_5)	130.78	142.18	150.90	131.39	121.29	154.87
پتاسیم K (K_2O)	43.68	47.81	124.52	81	103.42	94.11
آفت‌کش‌ها / Pesticides (kg)						
حشره‌کش‌ها Insecticides	0.50	0.5	2	2.15	2	1
علف‌کش‌ها Herbicides	2	1.03	3	3	0	3
قارچ‌کش‌ها Fungicides	0.50	0.50	0	0	1	6
بذر محصولات Seed products (kg)	224.52	191.81	25.45	5.40	0.50	4865
ب) خروجی / B) Output (kg)						
عملکرد Product yield	4670	4424	10420	3432.3	63000	33658
کاه و کلش Straw	4560	4273	0	0	0	0

همان‌طور که جدول ۴ نشان می‌دهد، میزان مصرف کودها و سموم شیمیایی بسیار بالا است. در این زمینه می‌توان گفت، کشاورزان دستیابی به سود آنی را بر سود آتی ترجیح می‌دهند و به بهای تولید بیشتر و به تبع آن، دستیابی به عملکرد و سود بیشتر، روند کاهش منابع طبیعی غیرانسانی، گرمایش جهانی و تغییرات اقلیم را سریع‌تر کرده‌اند؛ غافل از اینکه بخش کشاورزی اولین بخشی است که تبعات منفی گرمایش جهانی و تغییرات اقلیم را احساس می‌کند.

میزان انرژی ورودی و خروجی در محصولات مورد مطالعه

پس از برآورد نهاده‌های ورودی و خروجی، کلیه نهاده‌ها به معادل انرژی خود تبدیل شدند که نتایج آن در جدول ۵ نشان داده شده است. همچنین درصد انرژی ورودی در شکل ۲ آمده است. طبق نتایج، کل مصرف انرژی برای تولید محصولات زراعی در دشت میاندربند ۹۷۵۶۰۸/۵۰ مگاژول در هکتار بود که ۳۲۵۳۷۳/۹۰ مگاژول در هکتار مربوط به انرژی ورودی و ۶۵۰۲۳۴/۶۰ مگاژول در هکتار مربوط به انرژی خروجی می‌باشد. بر اساس نتایج، بیشترین میزان مصرف انرژی ورودی مربوط به سیب‌زمینی (۸۲۲۸۷/۸۵ مگاژول در هکتار) و سپس ذرت‌دانه‌ای (۷۱۶۵۲/۵۰ مگاژول در هکتار) و گوجه-فرنگی (۴۸۷۳۹/۵۲ مگاژول در هکتار) بود. نتایج مطالعه فان و همکاران (Fan et al., 2020) نیز نشان داد، بیشترین مصرف انرژی به‌ترتیب مربوط به سیب‌زمینی، ذرت‌دانه‌ای و گوجه‌فرنگی می‌باشد. مطالعه زاهدی و همکاران (Zahedi et al., 2015) در مورد میزان انرژی مصرفی در کشت سیب‌زمینی بسیار به نتایج مطالعه حاضر نزدیک می‌باشد؛ چرا که آنان در مطالعه خود، کل انرژی به‌کار رفته برای تولید سیب‌زمینی را ۸۴۶۳۳ مگاژول در هکتار برآورد نمودند. نتایج مطالعه شعبان‌زاده و همکاران (Shabanzadeh et al., 2016) نیز نشان داد، تولید گوجه‌فرنگی در استان خراسان رضوی به‌طور متوسط ۴۳/۲ گیگا ژول در هکتار (معادل ۴۳۲۰۰ مگاژول در هکتار) انرژی ورودی نیاز دارد. نتایج حاکی از آن بود که تولید گندم در دشت میاندربند به‌طور متوسط ۴۵۲۷۴/۴۰ مگاژول در هکتار انرژی ورودی نیاز دارد. در این راستا، نتایج مطالعه تقی نژاد و همکاران (Taghinazhad et al., 2019) نشان داد کل انرژی ورودی برای گندم آبی حدود ۳۸۷۵۵/۳۴ مگاژول در هکتار بود. همچنین طبق ۴۵ درصد مربوط به انرژی مستقیم (آماده‌سازی زمین، زراعت و آبیاری) و ۵۵ درصد مربوط به انرژی غیرمستقیم (کودها و سموم شیمیایی، بذرها، ماشین‌آلات) بود. نتایج مطالعه فان و همکاران (Fan et al., 2020) نیز نشان داد، در بخش کشاورزی بیشترین میزان انرژی به‌صورت غیرمستقیم مصرف می‌شود.

نتایج حاصل از مطالعه نشان داد، در محصولات مورد مطالعه کودهای شیمیایی، سوخت دیزل و آب برای آبیاری بیشترین میزان انرژی را در بخش کشاورزی مصرف می‌کنند. میسمی و جلالی (Maysami & Jalali, 2020) نیز در مطالعه خود نشان دادند، در کشت گندم انرژی نهاده سوخت در بین نهاده‌های دیگر دارای بیشترین مقدار است. همچنین افضلی‌نیا (Afzalinia, 2020) در مطالعه خود به این نتیجه دست یافت که بیش از ۷۲ درصد مصرف انرژی در تولید گندم مربوط به آب آبیاری و الکتریسیته برای استحصال آب بود. نتایج مطالعه شعبان‌زاده و همکاران (Shabanzadeh et al., 2016) در استان خراسان رضوی نشان داد، تولید در تولید گوجه‌فرنگی، آب آبیاری بیشترین انرژی را مصرف می-کند. طبق مطالعه زاهدی و همکاران (Zahedi et al., 2015) نیز بیشترین میزان مصرف انرژی در تولید سیب‌زمینی مربوط به سوخت دیزل بود. فبیانی و همکاران (Fabiani et al., 2020) نیز در مطالعه خود گزارش کردند که در تولید گندم سهم سوخت و کود شیمیایی بیشتر از سایر ورودی‌ها است. البته در گوجه‌فرنگی، الکتریسته برای پمپاژ آب بیشترین میزان انرژی را مصرف می‌کند؛ این امر به این دلیل است که بیشتر گوجه‌کاران از پمپ‌های برقی برای برداشت آب زیرزمینی استفاده می‌کنند، این در حالی است که سایر بهره‌برداران بیشتر، از پمپ‌های دیزلی بهره می‌برند که این امر موجب بالا رفتن مصرف سوخت و پایین آمدن مصرف الکتریسته در آن‌ها شده است.

میزان گازهای گلخانه‌ای منتشر شده توسط محصولات مورد مطالعه

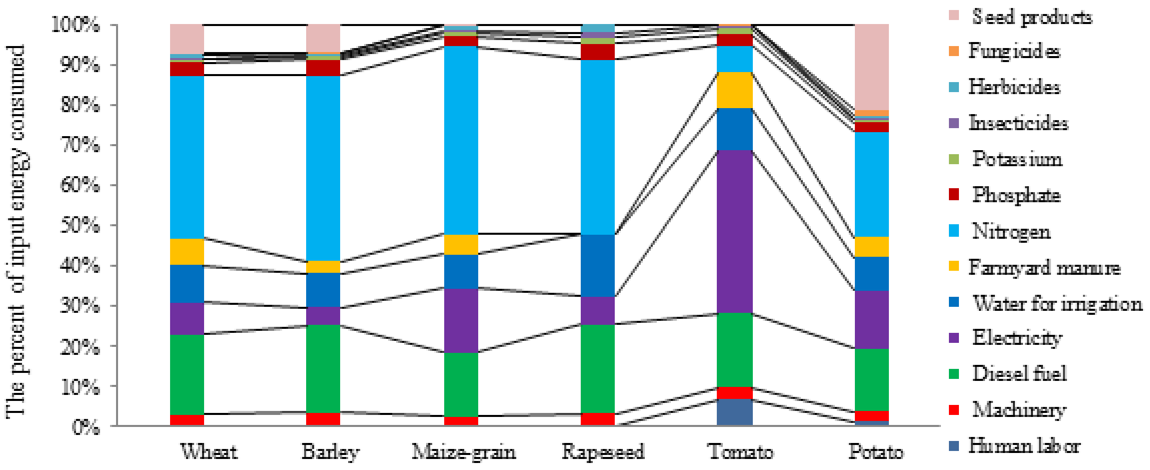
مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای (CO_2، CH_4 و N_2O) در هر هکتار از محصولات مورد مطالعه در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج نشان داد کل انتشار CO_2، N_2O و CH_4 توسط محصولات مورد مطالعه به‌ترتیب ۳۷۲۹/۷۹، ۱۵۲/۰۵ و ۰/۲۹۳ کیلوگرم در هکتار بود. بیشترین میزان تولید CO_2 مربوط به ذرت‌دانه‌ای ($kg.ha^{-1}$ ۱۰۰۳/۹۸) و کمترین میزان مربوط به کلزا ($kg.ha^{-1}$ ۴۶۷/۱۷) می-

باشد. همچنین گوجه‌فرنگی با تولید ۴۸/۷۵ کیلوگرم در هکتار N_2O، بیشترین میزان N_2O را در جو ایجاد می‌کند. لازم به ذکر است، جو آبی کمترین میزان تولید N_2O (۸/۹۹ $kg.ha^{-1}$) را دارا می‌باشد.

جدول ۵- میزان انرژی ورودی و خروجی در کشاورزی دشت میاندربند

Table 5- The amount of input and output energy in agriculture of Miandarband plain

مقدار (ورودی و خروجی) Quantity (input and output)	معادل انرژی کل Total energy equivalents ($MJ.ha^{-1}$)					
	گندم Wheat	جو Barley	ذرت دانه‌ای Maize	کلزا Rapeseed	گوجه‌فرنگی Tomato	سیب‌زمینی Potato
الف) ورودی‌ها A) Inputs						
کار انسان Human labor (h)	136.92	109.76	280.65	63.50	3308.75	1005.48
ماشین‌آلات Machinery (h)	1263.40	1343.66	1532.38	1176.87	1348.05	2061.57
سوخت دیزل Diesel fuel (L)	9021.42	8821.52	11355.47	8105.82	8929.63	12992.96
الکتریسیته Electricity (kWh)	3614.40	1778.07	11462.40	2562.84	19530	11812.32
آب برای آبیاری Water for irrigation (m^3)	4200.36	3384.36	6099.60	5687.52	5036.76	6766.68
کودها Fertilizers (kg)						
کود دامی Farmyard manure	2940	1227.87	3519	0	4334	4092.90
نیتروژن N	18358	18747.82	33387	16065.66	3237.25	21652.98
فسفات Phosphate (P_2O_5)	1451.65	1578.19	1675	1458.42	1346.31	1719.05
پتاسیم K (K_2O)	295.65	320.32	834.28	542.70	692.91	630.53
آفت‌کش‌ها Pesticides (kg)						
حشره‌کش‌ها Insecticides	92.31	92.31	369.26	396.95	369.26	184.63
علف‌کش‌ها Herbicides	508.90	262.08	763.35	763.35	0	763.35
قارچ‌کش‌ها Fungicides	90.95	90.95	0	0	181.90	1091.40
بذر محصولات Seed products (kg)	3300.44	2819.60	374.11	19.44	0.50	17514
کل انرژی ورودی Total energy input (MJ)	45274.40	40576.51	71652.50	36843.07	48739.52	82287.85
ب) خروجی B) Output (kg)						
عملکرد Product yield	68649	65032.80	148764	85807.50	50400	121168.80
کاه و کلش Straw	57000	53412.50	0	0	0	0
کل انرژی خروجی Total energy output (MJ)	125649	118445.30	148764	85807.50	50400	121168.80
مجموع کل انرژی Total energy (MJ)	170923.40	159021.80	220416.50	122650.60	99139.52	203456.70



شکل ۲- مقدار انرژی ورودی مصرف شده توسط محصولات مورد مطالعه در هر هکتار

Fig. 2- The amount of input energy consumed by the studied crops per hectare

نتایج پژوهش در زمینه میزان تولید CH_4 نشان داد، بیشترین و کمترین میزان انتشار آن به‌ترتیب مربوط به گوجه‌فرنگی (۱/۱ $\times$ ۱۰$^{-۱}$ kg.ha^{-1}) و جو آبی (۱/۱ $\times$ ۱۰$^{-۲}$ kg.ha^{-1}) می‌باشد. در کل، می‌توان گفت بر اساس نوع گازهای گلخانه‌ای، انتشار CO_2 بسیار بیشتر از انتشار N_2O و CH_4 در هکتار است. بر اساس نتایج حاصل از مطالعه، میزان تولید CO_2 ، N_2O و CH_4 در محصول گندم به‌ترتیب ۵۱۶/۹۵، ۱۳/۴۰ و ۰/۰۲۲ کیلوگرم در هکتار بود. در این راستا، مطالعه یوسفی و همکاران (Yousefi et al., 2016) نیز نشان داد میزان تولید CO_2، N_2O و CH_4 مربوط به گندم آبی به‌ترتیب ۱۹۸۱/۲۵، ۳۱/۱۸ و ۱/۸۷ کیلوگرم در هکتار است. همچنین تقی‌نژاد و همکاران (Taghinazhad et al., 2019) در مطالعه خود کل انتشار CO_2، N_2O و CH_4 حاصل از گندم آبی را به‌ترتیب ۱۲۷۱/۲۵، ۵۱۷/۱۴ و ۱/۶۵ کیلوگرم در هکتار برآورد کردند. طبق نتایج حاصل از پژوهش، در تمامی محصولات مورد مطالعه به‌جز گوجه‌فرنگی بیشترین سهم از انتشار CO_2 مربوط به استفاده از کود نیتروژنه بود. بنابراین، بهبود مدیریت در مصرف این کود می‌تواند موجب کاهش گازهای گلخانه‌ای گردد؛ همان‌طور که چنگ و همکاران (Cheng et al., 2014) بیان نمودند که اگر کارایی استفاده از کود نیتروژنه برای تولید برنج، گندم و ذرت دانه‌ای بهبود یابد، می‌توان موجب کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای به‌میزان ۴۳۸ مگاتن معادل CO_2 در هکتار شد.

همچنین بیشترین میزان انتشار N_2O در محصولات مورد مطالعه (به‌جز جو) مربوط به استفاده از انرژی الکتریسیته برای آبیاری بود. بیشترین سهم انتشار CH_4 در تمام محصولات برای الکتریسته ثبت شد. یوسفی و همکاران (Yousefi et al., 2016) در مطالعه خود به نتایج مشابهی در این زمینه دست یافتند. همان‌طور که در شکل۳ و جدول ۶ نشان داده شده است؛ کل GWP، ۵۰۸۷۲/۵۲ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار بود. گوجه‌فرنگی با انتشار ۱۵۵۹۲/۴۸ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار و جو آبی با انتشار ۳۲۷۹/۸۸ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار به‌ترتیب، بیشترین و کمترین سهم را در GWP دارند. رضوان‌طلب و همکاران (Rezvantalab et al., 2019) نشان دادند، کشت یک هکتار گندم به‌میزان ۱۴۱۴/۰۱ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار گازهای گلخانه‌ای به جو آزاد می‌کند. همچنین بر اساس مطالعه افضلی نیا (Afzalinia, 2020) میزان گازهای گلخانه‌ای متصاعد شده توسط گندم آبی در خاک‌ورزی مرسوم، ۱۸۳۲۸/۳۱ کیلوگرم معادل CO_2 در هکتار می‌باشد. لازم به ذکر است که تفاوت مقدار عددی در پژوهش‌های فوق با پژوهش حاضر می‌تواند به‌دلیل متفاوت بودن تاریخ کشت و شرایط آب و هوایی باشد.

با نگاهی به جدول ۳ و مقدار آب و انرژی مصرفی و همچنین GWP تولید شده توسط محصولات مورد مطالعه می‌توان گفت، هر چه سطح مزرعه کوچک‌تر باشد، میزان مصرف آب و انرژی بالاتر بوده و میزان GWP نیز بیشتر است (گوجه، ذرت و سیب‌زمینی بیش از ۵۰ درصد دارای سطح زیر کشت کمتر از پنج هکتار هستند).

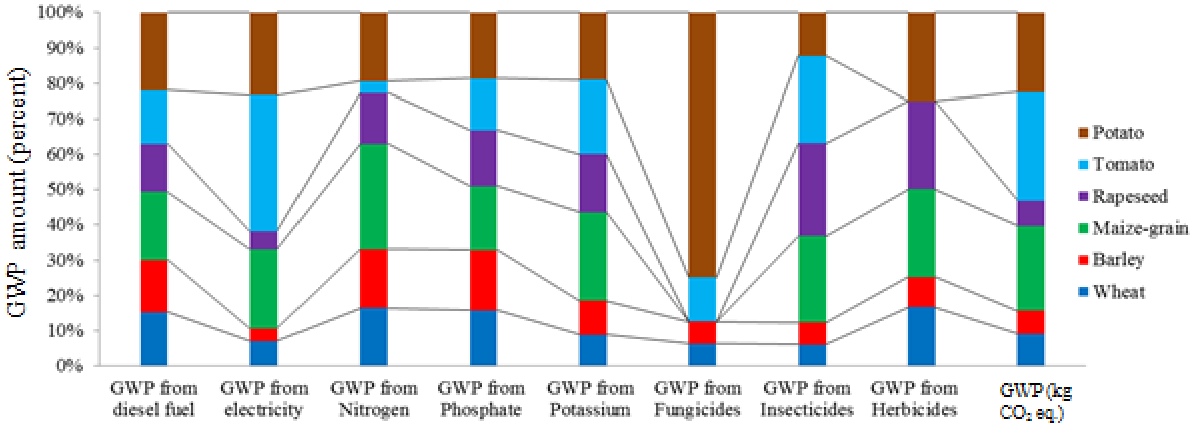
جدول ٦- میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) و پتاسیل گرمایش جهانی (GWP) مربوط به محصولات مورد مطالعه

Table 6- The amount of greenhouse gas emissions (GHG) and global warming potential (GWP) related to the studied crops

نام محصول Product name	ورودی Inputs	فرم انتشار گاز Gas emission form CH_4	N_2O	CO_2	GWP	GWP (kg CO_{2eq})
گندم Wheat	سوخت دیزل Diesel fuel (L)	2 ×10^{-3}	1 ×10^{-5}	11.87	11.91	4671.21
	الکتریسته Electricity (kWh)	2 ×10^{-2}	8.86	61.44	2807	
	نیتروژن Nitrogen (kg)	0	4.54	393.82	1802.49	
	فسفات Phosphate (kg)	0	0	26.16	26.16	
	پتاسیم K (kg)	0	0	6.55	6.55	
	قارچ‌کش‌ها Fungicides (kg)	0	0	1.95	1.95	
	حشره‌کش‌ها Insecticides (kg)	0	0	2.55	2.55	
	علف‌کش‌ها Herbicides (kg)	0	0	12.60	12.60	
Total GHG (kg.ha^{-1}) گازهای گلخانه‌ای کل (kg.ha^{-1})	–	2.2 ×10^{-2}	13.40	516.95	-	–
جو Barley	سوخت دیزل Diesel fuel (L)	1.5 ×10^{-3}	1 ×10^{-5}	11.61	11.64	3279.88
	الکتریسته Electricity (kWh)	9.8 ×10^{-3}	4.35	30.23	1380.88	
	نیتروژن N (kg)	0	4.64	402.18	1840.75	
	فسفات Phosphate (kg)	0	0	28.44	28.44	
	پتاسیم K (kg)	0	0	7.17	7.17	
	قارچ‌کش‌ها Fungicides (kg)	0	0	1.95	1.95	
	حشره‌کش‌ها Insecticides (kg)	0	0	2.55	2.55	
	علف‌کش‌ها Herbicides (kg)	0	0	6.49	6.49	
Total GHG (kg.ha^{-1}) گازهای گلخانه‌ای کل (kg.ha^{-1})	–	1.1 ×10^{-2}	8.99	490.61	-	–
ذرت دانه‌ای Maize-grain	سوخت دیزل Diesel fuel (L)	2 ×10^{-3}	1.2 ×10^{-5}	14.94	14.98	12272.93
	الکتریسته Electricity (kWh)	6.3 ×10^{-2}	28.08	194.86	8901.89	
	نیتروژن N (kg)	0	8.26	716.22	3278.09	
	فسفات Phosphate (kg)	0	0	30.18	30.18	
	پتاسیم K (kg)	0	0	18.67	18.67	
	قارچ‌کش‌ها Fungicides (kg)	0	0	0	0	

	حشره‌کش‌ها Insecticides (kg)	0	0	10.2	10.2	
	علف‌کش‌ها Herbicides (kg)	0	0	18.9	18.9	
Total GHG (kg.ha^{-1}) گازهای گلخانه‌ای کل (kg.ha^{-1})	–	6.5 ×10^{-2}	36.34	1003.98	-	–
کلزا Rapeseed	سوخت دیزل Diesel fuel (L)	1.4 ×10^{-3}	8.7 ×10^{-6}	10.66	10.69	3646.74
	الکتریسته Electricity (kWh)	1.4 ×10^{-2}	6.27	43.56	1990.34	
	نیتروژن N (kg)	0	3.97	344.64	1577.40	
	فسفات Phosphate (kg)	0	0	26.27	26.27	
	پتاسیم K (kg)	0	0	12.15	12.15	
	قارچ‌کش‌ها Fungicides (kg)	0	0	0	0	
	حشره‌کش‌ها Insecticides (kg)	0	0	10.96	10.96	
	علف‌کش‌ها Herbicides (kg)	0	0	18.9	18.9	
Total GHG (kg.ha^{-1}) گازهای گلخانه‌ای کل (kg.ha^{-1})	–	1.5 ×10^{-2}	10.25	467.17	-	–
گوجه‌فرنگی Tomato	سوخت دیزل Diesel fuel (L)	1.5 ×10^{-3}	9.7 ×10^{-6}	11.75	11.78	15592.48
	الکتریسته Electricity (kWh)	1 ×10^{-1}	47.84	332.01	15167.33	
	نیتروژن N (kg)	0	9 ×10^{-1}	78.54	359.49	
	فسفات Phosphate (kg)	0	0	24.25	24.25	
	پتاسیم K (kg)	0	0	15.51	15.51	
	قارچ‌کش‌ها Fungicides (kg)	0	0	3.9	3.9	
	حشره‌کش‌ها Insecticides (kg)	0	0	10.2	10.2	
	علف‌کش‌ها Herbicides (kg)	0	0	0	0	
Total GHG (kg.ha^{-1}) گازهای گلخانه‌ای کل (kg.ha^{-1})	–	1.1 ×10^{-1}	48.75	476.17	-	-
سیب‌زمینی Potato	سوخت دیزل Diesel fuel (L)	2.3 ×10^{-3}	1.4 ×10^{-5}	17.09	17.15	11409.28
	الکتریسته Electricity (kWh)	6.5 ×10^{-2}	28.94	200.80	9173.64	
	نیتروژن N (kg)	0	5.35	464.50	2125.99	
	فسفات Phosphate (kg)	0	0	30.97	30.97	
	پتاسیم K (kg)	0	0	14.11	14.11	

قارچ‌کش‌ها Fungicides (kg)		0	0	23.4	23.4	
حشره‌کش‌ها Insecticides (kg)		0	0	5.1	5.1	
علف‌کش‌ها Herbicides (kg)		0	0	18.9	18.9	
Total GHG (kg.ha^{-1}) گازهای گلخانه‌ای کل (kg.ha^{-1})	-	6.7 ×10^{-2}	34.29	774.90	-	-



شکل ۳- میزان GWP مربوط به محصولات مورد مطالعه

Fig. 3- GWP amount related to the studied products

در چنین مزارعی، کشاورز مزیت مقیاس را از دست داده است و با فشار بر زمین از طریق افزایش دور آبیاری، مصرف کود و سم بیشتر خواستار کسب مزیت کارآیی است. از سوی دیگر، به‌دلیل وسعت کم مزارع، تکنولوژی‌های روزآمد کمتری به‌کار می‌برند و از این طریق، هدررفت آب و انرژی به‌صورت غیرمستقیم افزایش می‌یابد. نتایج مطالعه شعبان‌زاده و همکاران (Shabanzadeh et al., 2016) نیز بیانگر این بود که در تولید گوجه‌فرنگی در استان خراسان رضوی اگرچه درصد قابل توجهی از واحدهای تحت بررسی ناکارا بودند، با این وجود کشاورزانی که دارای سطح زیرکشت بالاتر هستند، از الگوی مصرف انرژی مناسب‌تری برخوردار بوده و کارآیی فنی این واحدها نسبت به سایر واحدها بالاتر است. نتایج نشان داد، محصولاتی که عمدتاً در کشاورزی منطقه با نظام اجاره‌داری کشت می‌شوند، بیشترین مصرف نهاده را داشته و تأثیر منفی بر محیط‌زیست منطقه و گرمایش جهانی دارند. در این زمینه، می‌توان گفت اولاً کشاورزان مستأجر در این زمینه از تجربه کافی برخوردار نبوده و مدیریت ضعیف‌تری بر مزرعه دارد؛ ثانیاً مستاجران زمین‌های منطقه سعی می‌کنند در مدت زمان کم‌تری، بیشترین بهره اقتصادی را از زمین ببرند و همین امر موجب افزایش فشار بر منابع می‌شود.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر، ارزیابی جامعی از میزان مصرف آب و انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از تولید محصولات کشاورزی در دشت میاندربند بر اساس یک بررسی میدانی است. نتایج مطالعه حاصل، بیانگر ناکارآمدی کشاورزی در دشت میاندربند و در نتیجه، افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی به‌واسطه مصرف زیاد منابع بود. این ناکارآمدی می‌تواند به دلایلی همچون کارایی پایین آبیاری، ضعف نظارت از طرف ارگان‌های ذی‌ربط، وجود تعداد زیاد چاه‌های غیرمجاز، سوء مدیریت و عطش بیش از حد رشد، مدیریت ناهماهنگ، فقدان نگرش درازمدت در مصرف آب برای آبیاری و به‌ویژه نوع نظام بهره‌برداری از زمین باشد. نتایج نشان داد، برداشت آب در منطقه بیش از نیاز آبی محصولات صورت می‌پذیرد و همین امر موجب افزایش مصرف آب و درنتیجه افزایش مصرف انرژی و افزایش تولید N_2O به‌عنوان یکی از انواع گازهای گلخانه‌ای در منطقه شده است. بنابراین، اقدامات اساسی برای افزایش بهره‌وری آب در منطقه برای

کاهش خطر ورشکستگی آب ضروری است. به‌علاوه، رفتار مصرف آب کشاورزان (تمایل به استفاده حداکثری از منابع)، نیاز به مدیریت بیشتر مصرف آب را افزایش می‌دهد. از آنجا که در منطقه مورد مطالعه، بیشتر سیستم‌های آبیاری به‌صورت سطحی می‌باشد؛ لذا، استفاده از سیستم‌های آبیاری تحت فشار، به‌خصوص سیستم میکرو، می‌تواند موجب پایداری محصولات کشاورزی گردد. همچنین در کنار افزایش کارایی آبیاری با استفاده از سامانه آبیاری میکرو، افزایش قیمت آب و انرژی در بخش کشاورزی می‌تواند در استفاده بهینه از آب و انرژی و کاهش مصرف آن‌ها مؤثر باشد. البته باید سیاستگذاری و برنامه‌ریزی در این‌زمینه به‌گونه‌ای باشد که منافع کشاورزان نیز تضمین گردد و هم‌زمان با افزایش قیمت این دو منبع طبیعی (که موجب افزایش هزینه‌های تولید می‌شود)، میزان درآمد کشاورزان نیز افزایش یابد.

نتایج پژوهش نشان داد، استفاده زیاد از کودهای شیمیایی در تولید محصولات کشاورزی علاوه‌بر مصرف بالای انرژی در این بخش، موجب آلودگی‌های زیست‌محیطی و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. لذا، در این زمینه پیشنهاد می‌شود از طریق برگزاری کلاس‌های آموزشی و ترویجی و آگاهی‌بخشی به کشاورزان و ذینفعان در زمینه اثرات منفی کودها و سموم شیمیایی در درازمدت بر عملکرد محصولات کشاورزی و تغییرات اقلیم، تلاش شود. همچنین تعیین مقدار مناسب کود جهت کشت و ترویج و تشویق کشاورزان در جهت کاهش مصرف کودهای شیمیایی و یا استفاده از کودهای آلی و یا شیمیایی جایگزین با توجه به نتایج آزمایش‌های خاک و نظر کارشناسان کشاورزی منطقه، می‌تواند تا حدی از اثرات سوء آن‌ها بکاهد. به‌عنوان مثال کود زیستی فسفاته بارور-۲ جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی فسفاته به شمار می‌رود. کاهش ۵۰ درصدی مصرف کودهای شیمیایی فسفاته نه تنها باعث صرفه‌جویی اقتصادی می‌شود، بلکه این کاهش مصرف از آلودگی خاک‌ها و آب‌های کشور به‌دلیل تجمع بیش از حد فسفر و عناصر سنگین نظیر کادمیوم و بور می‌کاهد. همچنین پیشنهاد می‌شود از مصرف بیش از حد کودهای اوره خودداری و حتی المقدور از کودهای اوره با پوشش گوگرددار استفاده گردد؛ زیرا این کودها دیرتر تجزیه می‌شوند و کودهای اوره را به‌تدریج در آب یا خاک آزاد می‌کنند و در نتیجه، مقدار بیشتری از این کودها جذب گیاه شده و مقدار خیلی کمی وارد آب‌های زیرزمینی می‌شود.

نتایج حاکی از بالا بودن پتانسیل گرمایش جهانی برای سه محصول گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی و ذرت بود که از میان نهاده‌ها، کود نیتروژن بیشترین تأثیر را در گرمایش جهانی داشت. می‌توان گفت این محصولات از منابع عمده در سبد غذایی مردم کشور هستند و حمایت زیادی از طرف دولت در زمینه فروش آن وجود ندارد و این عوامل موارد موجب می‌گردد، کشاورزان به‌منظور افزایش درآمد خود، میزان بیشتری نهاده همچون کود شیمیایی مصرف نمایند. متأسفانه در سال‌های اخیر تولیدکنندگان محصولات کشاورزی در کشور به‌جای بهره‌گیری از دانش روز کشاورزی برای تولید بیشتر، مصرف کودهای شیمیایی را در واحد سطح افزایش داده‌اند. توهم افزایش عملکرد ناشی از مصرف هرچه بیشتر کود شیمیایی به‌ویژه اوره در بعضی از مناطق کشور سبب استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی شده است، به‌طوری‌که تداوم این امر علاوه‌بر خسارت‌های مالی و تشدید عدم تعادل عناصر غذایی در خاک، خطرات جدی را در رابطه با آلودگی خاک و آب و گرمایش جهانی به‌وجود آورده است. متأسفانه به‌دلیل ارزانی نسبی کودهای شیمیایی و اختصاص یارانه به کودهای تک عنصره، تولیدکنندگان محصولات کشاورزی از مصرف مواد آلی غافل شده‌اند. می‌توان گفت درصورت ادامه روند سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی فعلی در تولید محصولات کشاورزی، آلودگی زیست‌محیطی و عدم تعادل اقلیمی منطقه تشدید می‌گردد. بر اساس این نتایج می‌توان گفت، تغییرات در شیوه‌های مدیریتی یک نیاز اساسی در بخش کشاورزی می‌باشد.

نتایج نشان داد که زمین‌هایی که به‌صورت سیستم اجاره‌داری کشت می‌شوند، بیشترین مصرف نهاده را داشته و تأثیر منفی بر محیط زیست منطقه دارد؛ لذا در این زمینه پیشنهاد می‌گردد، شرایط تشکیل نهادهای محلی جهت بهره‌برداری از زمین‌ها تسهیل گردد و یا در صورت گسترش نظام اجاره‌داری، نهادهای متولی با اعمال قوانین در قراردادهای اجاره به نظارت بر نحوه کشت در راستای کمترین آسیب ممکن بر زمین تأکید داشته باشند تا از این طریق، میزان آسیب به محیط‌زیست کاهش یابد.

Refrences

Afruzi, A., and Zare Abyaneh, H., 2020. Investigation of agricultural water demand under the combination scenarios of climate change, irrigation efficiency enhancement, cropping pattern changes, and the development of early-maturing cultivars: A case study of Hamedan-Bahar Plain. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 1(14): 61-75. (In Persian with English Summary)

Afzalinia, S., 2020. Tillage effects on energy use and greenhouse gas emission in wheat-cotton rotation. Iran Agricultural Research 39(1): 13-24. (In Persian with English Summary)

Ahmad, A., and Khan, S., 2009. On comparison of water and energy productivities in pressurized irrigation systems. 18th World IMACS/ MODSIM Congress, Cairns p. 2776–2782.

Basiri, M., Ghamarnia, H., and Ghobadi, M., 2020. Effect of different deficit irrigation and salinity management on leaf, shoot and root growth of (*Mentha piperita* L.). Journal of Water and Irrigation Management 1(10): 1-14. DOI: 10.22059/JWIM.2019.281106.681 (In Persian with English Summary)

Beheshti Tabar, I., Keyhani, A., and Rafiee, S., 2010. Energy balance in Iran's agronomy (1990-2006). Renewable and Sustainable Energy Reviews 14: 849-855. https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.024

Behmanesh, J., Aligolinia, T., Rezaie, H., and Montasery, M., 2016. Determination and evaluation of blue and green water footprint of dominant tillage crops in Urmia lake watershed. Journal of Water and Soil Conservation 23(3): 337-344. DOI:10.22069/JWFST.2016.3203 (In Persian with English Summary)

Cheng, K., Yan, M., Nayak, D., Smith, P., Pan, G.X., and Zheng, J.W., 2014. Carbon footprint of crop production in China: An analysis of national statistics data. The Journal of Agricultural Science 153: 422-431. https://doi.org/10.1017/S0021859614000665

Elbehri, A., and Sadiddin, A., 2016. Climate change adaptation solutions for the green sectors of selected zones in the MENA region. Future of Food. Journal on Food, Agriculture and Society 4(3): 39-54.

Esengun, K., Erdal, G., Gunduz, O., and Erdal, H., 2007. An economic analysis and energy use in staketomato production in Tokat province of Turkey. Renewable energy 32: 1873-1881. https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.07.005

Fabiani, S., Vanino, S., Napoli, R., and Nino, P., 2020. Water energy food nexus approach for sustainability assessment at farm level: An experience from an intensive agricultural area in central Italy. Environmental Science and Policy 104: 1–12. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.10.008

Fan, X., Zhang, W., Chen, W., and Chen, B., 2020. Land–water–energy nexus in agricultural management for greenhouse gas mitigation. Applied Energy 265: 114796. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114796

Farajian, L., Moghaddasi, R., and Hosseini, S., 2018. Agricultural energy demand modeling in Iran: Approaching to a more sustainable situation. Energy Reports 4: 260–265. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2018.03.002

Garcia, D.J., Lovett, B.M., and You, F., 2019. Considering agricultural wastes and ecosystem services in Food-Energy-Water-Waste Nexus system design. Journal of Cleaner Production 228: 941–955. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.314

Ghiyasi, M., Pouryousef, M., Myandoab, M., Tajbakhsh, A., Hasanzade- Gorttape, M., and Salehzade, H., 2008. The evaluation of energy balance of wheat under low input farming in west Azerbaijan. Research Journal of Biological Sciences 12(3): 1408–1410.

Hatirli, S.A., Ozkan, B., and Fert, K., 2005. An econometric analysis of energy input/ output in Turkish agriculture. Renewable and Sustainable Energy Reviews 9: 608–623. https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.07.001

Jat, H.S., Jat, R.D., Nanwal, R.K., Lohan, S.K., Yadav, A.K., Poonia, T., Sharma, P.C., and Jat, M.L., 2020. Energy use efficiency of crop residue management for sustainable energy and agriculture conservation in NW India. Renewable Energy 155: 1372–1382. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.04.046

Kamali, M.E., 2021. Determining the amount of water required for Maize irrigation in Mazandaran province. Extension Journal of Oilseed Plants 2(2): 93-103. (In Persian with English Summary)

Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., and Mousazadeh, H., 2013a. Reduction of CO_2 emission by improving energy use efficiency of greenhouse cucumber production using DEA approach. Energy 55: 676–682. https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.04.021

Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M., and Movahedi, M., 2013b. Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. Energy 52: 333–338. https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.01.028

Krejcie, R.V., & Morgan, D.W., (1970). Determining Sample Size for Research Activities. Educational and Psychological Measurement.

Maysami, M., and Jalali, A., 2020. Evaluation of energy input-output in wheat crop cultivation in agro-industry company of mazare novin Iranian (Agh Ghalla). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 30(2): 333-346. (In Persian with English Summary)

Mekonnen, M.M., and Hoekstra, A.Y., 2020. Sustainability of the blue water footprint of crops. Advances in Water Resources 103679: 1-16. https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2020.103679

Mirbalooch, M.N., Delbari, M., and Piri, H., 2020. Evaluation of performance of classical sprinkler irrigation systems with mobile sprinkler in Khash city. Journal of Water and Irrigation Management 10(1): 31- 44. DOI: 10.22059/JWIM.2020.292131.732 (In Persian with English Summary)

Mohammadi, A., and Banihabib, M.E., 2020. Strategic management model for virtual water exchange of Iranian agricultural and animal productions. Journal of Water and Irrigation Management 10(1): 15-29. DOI: 10.22059/JWIM.2020.292971.731 (In Persian with English Summary)

Mohammadi, A., Rafiee, S.H., Jafari, A., Keyhani, A., Mousavi-Avva, S.H., and Nonhebe, S., 2014. Energy use efficiency and greenhouse gas emissions of farming systems in north Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews 30: 724–733. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.012

Moradi, R., and Pourghasemian, N., 2017. Greenhouse gases emission and global warming potential as affected by chemicals inputs for main cultivated crops in Kerman province: I- Cereal. Journal of Agroecology 9(2): 389-405. DOI: 10.22067/JAG.V9I2.42033 (In Persian with English Summary)

Pishgar-Komleh, S.H., Ghahderijani, M., and Sefeedpari, P., 2012. Energy consumption and CO_2 emissions analysis of potato production based on different farm size levels in Iran. Journal of Cleaner Production 33: 183–191. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.04.008

Rezvantalab, N., Soltani, A., Zeinali, E., and Foroughnia, A., 2019. Study of energy indicators and greenhouse gas emissions in wheat production in Golestan province. Journal of Agroecology 9(1): 17-38. (In Persian with English Summary)

Sadeghi, S.H., Sharifi Moghadam, E., Delavar, M., and Zarghami, M., 2020. Application of water-energy-food nexus approach for designating optimal agricultural management pattern at a watershed scale. Agricultural Water Management 233: 106071. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106071

Shabanzadeh, M., Esfanjari Kenari, R., and Rezaei, A., 2016. Investigating the energy pattern of tomato production in Khorasan Razavi province. Journal of Agricultural Machinery 6(2): 524-536. https://doi.org/10.22067/jam.v6i2.37724 (In Persian with English Summary)

Singh, H., Mishra, D., and Nahar, N.M., 2010. Energy use pattern in production agriculture of a typical village in arid zone India – Part I. Energy Conversion and Management 43(16): 2275-2286. https://doi.org/10.1016/S0196-8904(01)00161-3

Soni, P., Taewichit, C., and Salokhe, V.M., 2013. Energy consumption and CO_2 emissions in rainfed agricultural production systems of Northeast Thailand. Agricultural Systems 116: 25-36. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.12.006

Taghinazhad, J., Vahedi, A., and Ranjbar, F., 2019. Economic assessment of energy consumption and greenhouse gas emissions from wheat production in Ardabil provience. Environmental Sciences 17(3): 137-150. https://doi.org/10.29252/envs.17.3.137 (In Persian with English Summary)

Tan, I., Storelvmo, T., and Zelinka, M., 2016. Observational constraints on mixed-phase clouds imply higher climate sensitivity. Science 6282(352): 224-227. DOI: 10.1126/science.aad5300

Tian, H., Lu, C., Ciais, P., Michalak, A.M., Canadell, J.G., Saikawa, E., Huntzinger, D.N., Gurney, K.R., Sitch, S., and Zhang, B., 2016. The terrestrial biosphere as a net source of greenhouse gases to the atmosphere. Nature 531: 225-228. https://doi.org/10.1038/nature16946

Tzilivakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A., and Jaggard, K., 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. Agricultural Systems 85: 101–119. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.07.015

Yousefi, M., Mahdavi Damghani, A., and Khoramivafa, M., 2016. Comparison greenhouse gas (GHG) emissions and global warming potential (GWP) effect of energy use in different wheat agroecosystems in Iran. Environmental Science and Pollution Research 23(8): 7390–7397. https://doi.org/10.1007/s11356-015-5964-7

Zahedi, M., Eshghizadeh, H.R., and Mondani, F., 2015. Energy efficiency and productivity in potato and sugar beet production systems in Isfahan province. Journal of Crop Production and Processing 5(17):181-191. DOI: 10.18869/acadpub.jcpp.5.17.181 (In Persian with English Summary)

Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

CC BY

Research Article
Vol. 14, No. 4, Winter 2023, p. 713-729

Simulation of Phonological Development and Growth Duration in Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) using SSM-iSorghum Model (Case Study: Gorgan County)

Ali Rahemi Karizaki[1*], Hamid Kouhkan[2], Mohammad Taghi Feyzbakhsh[3] and Nabi Khaliliaqdam[4]

Received: 19-11-2020
Revised: 06-08-2021
Accepted: 16-08-2021
Available Online: 16-08-2021

How to cite this article:
Rahemi Karizaki, A., Kouhkan, H., Feyzbakhsh, M.T., and Khaliliaqdam, N., 2023. Simulation of phonological development and growth duration in sorghum (*Sorghum bicolor L.*) using SSM-iSorghum model (Case study: Gorgan County). Journal of Agroecology 14(4): 713-729.
DOI: 10.22067/agry.2021.67229.0

Introduction

Sorghum (*Sorghum bicolor L.*) belongs to the cereal family and was domesticated at the same time as other cereals around three thousand years ago. Sorghum is the fifth most important cereal in the world after wheat, rice, corn and barley. Crop modeling is one of the branches of agriculture and crop physiology that has been around for 40 years and the development of powerful and efficient computers has played a major role in the development of this field. SSM model is a simple simulator to estimate the yield of different crops and the effects of climate change. This model requires limited input and easily accessible information. The above model has been evaluated for more than 30 Iranian crop species using various evaluation parameters. Evaluation of SSM_iSorghum model to predict different stages of phenology and yield of grain sorghum under temperate humid climate conditions in Gorgan.

Materials and methods

SSM-Sorghum is a model to simulate sorghum crop phenology, growth and yield formation. The model was derived from SSM-Wheat model described by Soltani and Sinclair (2013). The sorghum model structure is the same as that wheat model except for phenology submodel. Phenology submodel is based on Alagarswamy and Ritchie (1990) with some modifications. The growth and development of sorghum were simulated using the SSM_iSorghum model based on meteorological data of Gorgan city during the years 2010 to 2011, including minimum and maximum temperature, amount of sunlight and rainfall on Kimia cultivar using different scenarios. For model input parameters including meteorological data, soil properties, crop management (using the values obtained from field experiments of 2010-2011 in the research farm of Gorgan Agricultural Research Station) was used. These experiments were performed under favorable agronomic conditions. Experiments at four different densities (17, 21, 28 and 35 plants/m^2) and five different planting dates (May 10th and May 15th of 2010, May 10th and May 15th and June 15th 2011) during two growing years in total with 20 different scenarios were performed.

Results and Discussion

The results showed that model predicted day from planting to emergence, day from planting to ripening, harvest index, biological yield and grain yield with high accuracy (R2=0.91-0.94%). In using the models to predict the performance, it has been reported that the value of the explanation coefficient should be more than 60%, which is a condition in this model. Regarding the 1:1 line between the observed yield and the simulated yield, it was found that

1- Assistant Professor, Department of Plant Production, Gonbad University, Gonbad, Iran.
2- Ph.D. Student of Agronomy, Department of Plant Production, Gonbad University, Gonbad, Iran.
3- Assistant Professor, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran.
4- Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran.
(*- Corresponding author's Email: alirahemi@yahoo.com)

values are in the range of 15% up and down the 1: 1 line. So the model has a suitable simulation of Gorgan conditions for grain yield.

Conclusion

Evaluation of SSM-Sorghum model showed that this model simulates phenological stages, including harvest index, leaf area index, and biological yield with different planting dates and different densities with appropriate accuracy in Gorgan climatic conditions. Most of the points were in the reliable range (± 15%) of the 1:1 line, which indicates an accurate estimate of the model parameters or confirms the simulation efficiency of the model process steps. Therefore, this model can be used in farm management planning including selection of appropriate planting date and appropriate density. Although the model well simulates the phenology , it seems necessary to retest the accuracy of the model with data from various experiments and to use it in the equations if the results of this study are confirmed. Obviously, models are effective when used by analyzing physiological and ecological conditions and based on experiments and experimental measurements of the system.

Keywords: Phenological stages, Simulation, SSM-iSorghum model, Yield grain.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

شبیه‌سازی مراحل فنولوژیک و طول دوره رشد سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) دانه‌ای با استفاده از مدل SSM-iSorghum (مطالعه موردی: شهرستان گرگان)

علی راحمی کاریزکی[1*]، حمید کوهکن[2]، محمد تقی فیض‌بخش[3] و نبی‌خلیلی‌اقدم[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۲۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۵/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۲۵

راحمی کاریزکی، ع.، کوهکن، ح.، فیض بخش، م.ت.، و خلیلی‌اقدم، ن.، ۱۴۰۱. شبیه‌سازی مراحل فنولوژیک و طول دوره رشد سورگوم (*Sorghum bicolor L.*) دانه‌ای با استفاده از مدل SSM-iSorghum (مطالعه موردی: شهرستان گرگان). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۴): ۷۲۹-۷۱۳.

چکیده

مدل‌سازی گیاهان زراعی یکی از شاخه‌های علم زراعت و فیزیولوژی گیاهان زراعی است که از حدود ۴۰ سال قبل به‌وجود آمده و با توسعه رایانه‌های پر قدرت و کارآمد در پیشرفت این رشته نقش عمده‌ای داشته است. در مدل SSM شبیه‌ساز ساده‌ای برای تخمین عملکرد و مراحل فنولوژیک محصولات مختلف به‌کار رفته است. هدف از این مطالعه، ارزیابی مدل SSM-iSorghum برای شبیه‌سازی مراحل مختلف فنولوژی و عملکرد سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) دانه‌ای تحت شرایط آب و هوای معتدل مرطوب در شهرستان گرگان است. رشد و نمو سورگوم دانه‌ای با استفاده از مدل SSM-iSorghum بر پایه آمار داده‌های هواشناسی شهرستان گرگان شامل (دمای کمینه، دمای بیشینه، میزان تابش خورشید و میزان بارندگی) روی رقم کیمیا با استفاده از ۲۰ سناریو مختلف انجام شد. تراکم کاشت در چهار سطح (۱۷، ۲۱ ، ۲۸ و ۳۵ بوته در مترمربع) و زمان کاشت در پنج تاریخ (۱۰ اردیبهشت، ۱۵ اردیبهشت، ۱۰ خرداد، ۱۵ خرداد و یک تیر) شبیه‌سازی انجام شد. برای پارامترهای ورودی مدل (شامل داده‌های هواشناسی، خصوصیات خاک، مدیریت زراعی) با استفاده از مقادیر به‌دست آمده از آزمایشات مزرعه‌ای در طی دو سال زراعی ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان استفاده شد. نتایج مدل با استفاده از آماره‌های مبتنی بر اختلاف مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده شده نشان داد که مدل SSM مراحل فنولوژیک در تاریخ کاشت‌های مختلف و تراکم‌های متفاوت را به‌خوبی پیش‌بینی می‌کند. بالاترین ضریب تبیین (R^2) مربوط به روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک و روز از کاشت تا زمان برداشت با مقدار ۰/۹۴ و ۰/۹۱ درصد به‌دست آمد، بنابراین مدل می‌تواند در برنامه‌ریزهای مدیریتی برای مراحل فنولوژیکی در مزرعه مورد استفاده قرار بگیرد. میزان پراکندگی نقاط شبیه‌سازی شده و مشاهده شده مراحل فنولوژی رشد، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در محدوده خط ۱:۱ قرار گرفتند که نشان می‌دهد، مدل برای شبیه‌سازی مراحل فنولوژی رشد در شرایط اقلیمی شهرستان گرگان از دقت مناسبی برخوردار است. همچنین نتایج ارزیابی مدل در تاریخ‌های مختلف کاشت و تراکم‌های متفاوت نشان داد که دامنه حداقل و حداکثر عملکرد دانه شبیه‌سازی شده به‌ترتیب ۲/۲۰ و ۶/۶۰ تن و با میانگین ۳/۹۲ تن در هکتار و نزدیک دامنه حداقل و حداکثر عملکرد دانه مشاهده شده بین ۲/۳۵ و ۷/۴۳ تن و با میانگین ۴/۲۴ تن در هکتار بود که این تفاوت محدوده عملکرد می‌تواند متأثر از تاریخ‌های کاشت مختلف و

۱- استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، ایران.
۲- دانشجوی دکتری رشته زراعت گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، ایران.
۳- استادیار بخش زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.
۴- استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: alirahemi@yahoo.com)

DOI: 10.22067/agry.2021.67229.0

تأخیر در زمان کاشت مناسب باشد. جذر میانگین مربعات خطا برابر ۰/۷۰ تن در هکتار، مقدار ضریب تبیین (R^2) برابر ۰/۷۸ درصد و شکل بین مقادیر عملکرد مشاهده شده و عملکرد شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد که داده‌ها در محدوده خطای کمتر از ±۱۵ درصد خط ۱:۱ قرار دارند، لذا مدل شبیه‌سازی مناسبی از شرایط گرگان برای عملکرد دانه داشت. بنابراین، می‌توان از مدل SSM-Sorghum در شبیه‌سازی مراحل فنولوژی در تاریخ‌های مختلف کاشت و تراکم‌های متفاوت در شرایط مطلوب آب و هوایی گرگان بهره برد.

واژه‌های کلیدی: تراکم کاشت، داده‌های هواشناسی، ضریب تبیین، عملکرد دانه

مقدمه

سورگوم زراعی (*Sorghum bicolor* L.) گیاهی چهار کربنه، یک‌ساله و از خانواده غلات است، که در ایران ذرت خوشه‌ای نامیده می‌شود (Droogers et al., 2000) . سورگوم دانه‌ای به‌عنوان غذای اصلی برای میلیون‌ها نفر در چین، هند، آفریقا تولید می‌شود. مصرف جهانی سورگوم دانه‌ای در سال ۲۰۲۰، حدود ۸۰ میلیون تن بوده است که به‌ترتیب از نظر اهمیت در بین غلات در دنیا بعد از گندم (*Triticum aestivum*)، برنج (*Oryza sativa*)، ذرت (*Zea mays*) و جو (*Hordeum vulgare*) در مقام پنجم قرار دارد (FAO, 2020). میزان پروتئین دانه آن از ۶ تا ۱۳ درصد متغیر بوده و ارقام تجاری دارای ۱۰ تا ۱۳ درصد پروتئین می‌باشند (Dehghan, 2007). سورگوم دانه‌ای به‌دلیل خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی متحمل به خشکی بوده و نسبت به سایر گیاهان زراعی در شرایط گرم، دشوار و فواصل آبیاری طولانی متحمل‌تر و نیاز آبی کمتری دارد (Sinclair et al., 2020;). یکی از ویژگی‌های اصلی مدل‌های شبیه‌سازی محصول، امکان استفاده آن‌ها در شرایط متفاوت اقلیمی و مدیریتی است، به‌شرطی که مدل مورد مطالعه در دامنه وسیعی از شرایط مورد ارزیابی و اعتبارسنجی قرار گرفته باشد (kassie et al., 2016) با استفاده از مدل‌سازی می‌توان اثر عوامل اقلیمی، محیطی و مدیریتی بر تولید هر محصول در سطح منطقه‌ای و ملی را ارزیابی کرد. عوامل محدودکننده شامل: نور، آب، خاک و مدیریت زراعتی باعث شده در بسیاری از مناطق فاصله قابل توجهی بین عملکرد بالفعل گیاه زراعی و بالقوه ژنتیکی آن ایجاد شود (Arora et al., 2007). پیش‌بینی دقیق فنولوژی گیاهان زراعی از ویژگی‌های ضروری مدل‌های شبیه‌سازی به شمار می‌رود. عملکرد در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی تا حد زیادی با زمان‌بندی مراحل نمو تنظیم می‌شود (Soltani & Sinclair, 2012). مدل‌های ساده شبیه‌سازی (SSM) گروهی از مدل‌های محصول هستند که قدمت آن به سال ۱۹۸۶ برمی‌گردد (Soltani & Sinclair, 2015). مدل‌ها در طی ۳۰ سال گذشته توسعه و بهبود یافته‌اند و تقریباً در تمام محصولات عمده از جمله سویا (*Glycin max* L.) (Sinclair, 1986)، ذرت (Sinclair & Muchow, 1995) ، سورگوم (Sinclair et al., 1997)، گندم (Sinclair & Amir, 1992; Soltani et al., 2013)، جو (Wahbi & Sinclair, 2005)، بادام زمینی (*Arachis hypogaea*) (Hammer et al., 1995) و نخود (*Cicer arietinum*) (Soltani & Sinclair, 2011) مورد مطالعه قرار گرفته است. مدل‌هایی شبیه‌سازی ابزار مؤثری جهت طراحی تیپ‌های گیاهی، از طریق ارزیابی صفاتی هستند که باعث افزایش پتانسیل عملکرد می‌شوند و همچنین برای درک واکنش گیاهان زراعی از پویایی سیستم آب، خاک، گیاه و اقلیم استفاده می‌شود (Soltani & Sinclair, 2015). مطالعات متعددی اهمیت ترکیبی از مدل‌های رایج عمومی از سناریوهای انتشار آلاینده‌ها و مدل‌های شبیه‌سازی محصولات برای بررسی تغییرات احتمالی اثرات تغییر اقلیم برمحصولات مختلف در مناطق خشک و نیمه خشک انجام شده است (Soltani et al., 2020). مدل SSM-iSorghum (Soltani & Sinclair, 2012) یک مدل ساده برای سورگوم می‌باشد که با کمک آن می‌توان عملکرد این گیاه و محدودیت‌های ژنتیکی، محیطی و مدیریتی در تولید را تجزیه و تحلیل کرد. از آنجایی که این مدل از صفحات برنامه اکسل شرکت مایکروسافت برای ورود و خروجی استفاده می‌کند، کار با آن ساده است (Soltani, 2011). در این مدل، روش کمّی‌سازی پیش‌بینی نمو فنولوژیکی در سورگوم تابعی از دما، طول دوره رشد رویشی مورد بررسی قرار می‌گیرد و با توجه به اینکه تعداد زیادی از فرآیندهای فیزیولوژیک و مورفولوژیک با مرحله فنولوژیک تغییر می‌کنند، کمّی کردن دقیق مراحل نمو فنولوژیک برای هر یک از مدل‌های شبیه‌سازی رشد ضروری است. مراحل مهم فنولوژیک که برای شبیه‌سازی فرآیندهای فیزیولوژیکی رشد و عملکرد سورگوم نیاز است به شرح زیر هستند: روز از کاشت تا سبز شدن، روز از کاشت تا انتهای رشد رویشی، روز از کاشت تا شروع

خوشه‌دهی، روز از کاشت تا پایان رشد برگ روی ساقه اصلی، روز از کاشت تا گل‌دهی، روز از کاشت تا شروع رشد دانه، روز از کاشت تا رسیدن فیزیولوژیک و روز از کاشت تا زمان برداشت (Soltani & Sinclair, 2012) در این مدل می‌توان واحد دمایی تجمعی مورد نیاز برای یک مرحله را بر حسب تعداد روز تقویمی مورد نیاز برای یک مرحله فنولوژیک بیان کرد که اصطلاحاً به آن روز زیستی (روز بیولوژیک) مورد نیاز اطلاق می‌شود. سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2013) با بررسی مدل SSM-Wheat با استفاده از داده‌های مستقل مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج حاصل کارآیی قابل قبول برای فرایندهای مهم گیاه زراعی در مقایسه با نتایج آزمایشات انجام شده نشان داد که صفات تعداد روز تا گرده‌افشانی (۴/۵ درصد =CV، R^2=۰/۹۸) ، رسیدگی فیزیولوژیک (۵/۶ درصد =CV، R^2=۰/۹۶) دارای بیشترین کارآیی و دقت می‌باشند. ژئوفری و همکاران (Geoffrey et al., 2018) با استفاده از مدل پیش‌بینی عملکرد ذرت بر اساس داده‌های آب و هوایی فصلی در شرق آفریقا عنوان کردند که تأخیر در کاشت ذرت منجر به کاهش عملکرد بر طبق پیش‌بینی می‌شود. همچنین دهقان (Dehghan, 2007) بیان داشت، تغییر در تاریخ کاشت ممکن است با تأثیر بر انطباق مراحل رشد گیاه با شرایط محیطی، در میزان رشد رویشی و زایشی و عملکرد گیاه سورگوم تأثیر بگذارد. یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر نمو فنولوژیک، روابط بین منبع و مخزن و اختصاص مواد فتوسنتزی به قسمت‌های مختلف یک گیاه، زمان کاشت است (Feyzbakhsh et al., 2014). به‌رغم پیشرفت‌های ژنتیکی، بروز عوامل محدودکننده نظیر اقلیم، خاک و مدیریت زراعی باعث گردیده است، در بسیاری از مناطق کشت، فاصله قابل توجهی بین عملکرد برداشتی زارعین و پتانسیل-عملکرد ژنتیکی ایجاد شود. رشد محصول و تولید مواد غذایی به تغییرات آب و هوایی حساس است (Kobayashi, 2000). مدل SSM، شبیه‌ساز ساده‌ای برای تخمین عملکرد محصولات زراعی و تأثیر تغییرات اقلیمی است. این مدل به اطلاعات محدود ورودی و آسان قابل دسترس نیاز دارد (Soltani et al., 2020). سلطانی و سینکلر (Soltani & Sinclair, 2015) با به‌کارگیری مدل SSM-iCrop2 پیش‌بینی قابل قبولی از عملکرد محصول و تبخیر و تعرق برای انواع مختلف گونه‌های گیاهی در ایران ارائه دادند، مدل SSM برای بیش از ۳۰ گونه زراعی ایران با استفاده پارامترهای متعدد ارزیابی شده از آزمایشات صحرایی انجام شده است. هدف از این مطالعه، ارزیابی مدل SSM-iSorghum در شبیه‌سازی پارامترهای مختلف رشد، از طریق مقایسه پارامترهای شبیه‌سازی شده با نتایج مشاهده شده در مزرعه و همچنین ارزیابی توانایی مدل در پیش‌بینی زمان وقوع مراحل مهم فنولوژیک در شرایط اقلیمی معتدل مرطوب در شرایط شهرستان گرگان است.

مواد و روش‌ها

آزمایشات مزرعه‌ای: این آزمایش طی دو سال زراعی مختلف ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ در شرایط مطلوب عاری از آفات، علف‌های هرز و بیماری‌های سورگوم در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان واقع در پنج کیلومتری شمال گرگان با عرض جغرافیایی۳۶ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی، با ارتفاع پنج متر بالاتر از سطح دریا و میزان بارندگی سالانه ۴۵۰-۴۰۰ میلی‌متر به اجرا درآمد، مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش در جدول ۱ ارایه شده است. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در چهار تراکم مختلف و پنج تاریخ کاشت متفاوت طی دو سال زراعی در مجموع با ۲۰ سناریو مختلف انجام شد. تراکم کاشت در چهار سطح (۱۷، ۲۱ و ۲۸ و ۳۵ بوته در مترمربع) و تاریخ کاشت در پنج سطح (۱۰ اردیبهشت، ۱۵ اردیبهشت، ۱۰ خرداد، ۱۵ خرداد و یک تیر) بود. هر تیمار در چهار خط به‌طول شش متر با فاصله ۶۰ سانتی‌متر کشت شد. تراکم‌های مورد نظر با توجه به ثابت بودن فاصله خطوط بر روی ردیف‌های کشت اعمال شد. مقدار کود مصرفی در همه تیمارها یکسان بود و بر اساس آزمون خاک مقدار ۱۳۸ کیلوگرم فسفر از منبع فسفات آمونیوم، ۱۹۲ کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره و فسفات آمونیوم و ۶۰ کیلوگرم کود پتاسیم از منبع فسفات پتاسیم استفاده شد. یک سوم از کود اوره در زمان کاشت و دو سوم باقیمانده در مرحله ۸-۶ برگی و همزمان با آبیاری به خاک اضافه شد. مبارزه با علف‌های هرز به‌شکل دستی انجام شد. آبیاری هر ۱۵-۱۰ روز متناسب با نیاز گیاه به‌صورت نشتی انجام شد. صفات فنولوژی ثبت شده در این تحقیق شامل تمامی مراحل مهم فنولوژیک از جمله روز از کاشت تا سبز شدن، روز از کاشت تا پایان مرحله رویشی، روز از کاشت تا شروع خوشه‌دهی، روز از کاشت تا پایان رشد برگ روی ساقه اصلی، روز از کاشت تا گل‌دهی، روز از کاشت تا شروع رشد دانه، روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک، روز از کاشت تا زمان برداشت و سایر صفات از

جمله عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و شاخص سطح برگ بود که در فصل رشد روی ۱۰ بوته در مترمربع مشخص انجام شد. بطوریکه ۱۰ بوته انتخاب و با یک نخ قرمز مشخص شدند و داده‌های به‌دست آمده به هکتار تعمیم داده شدند همچنین هر دو روز یک‌بار و تا زمان ورود ۵۰ درصد بوته‌ها به هر مرحله فنولوژیکی مراحل ثبت ادامه داشت.

جدول ۱- مشخصات خاک محل اجرای آزمایش

Table1-Soil characteristics in experimental place

ویژگی‌ها Characteristic	مقدار Mount
گوگرد Sulphor (ppm)	45.3
هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	1.44
اسیدیته PH	7.2
درصد مواد خنثی شونده T.N.V (%)	9.5
کربن آلی Organic C (%)	1.5
نیتروژن N (ppm)	0.15
فسفر قابل جذب Absolutely P (ppm)	5.8
پتاسیم قابل جذب Absolutely P (ppm)	280
رس Clay (%)	29
لای Silt (%)	54
ماسه Sand (%)	18

مدل SSM-iSorghum قادر است تأثیر عوامل محیطی مانند آب و هوا، خصوصیات خاک و نیز تصمیمات مدیریتی مزرعه را ارزیابی نماید. این مدل مراحل فنولوژی، تجمع و تسهیم ماده خشک، شاخص سطح برگ، رشد ریشه، ساقه، برگ و دانه و همچنین توازن رطوبت و نیتروژن خاک، میزان مصرف آب و نیتروژن گیاه و تأثیر تنش‌های آب و نیتروژن را بر رشد و نمو گیاه شبیه‌سازی نماید. داده‌های و اطلاعات مورد نیاز اجرای مدل بر اساس موقعیت مکانی، طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، میانگین درجه حرارت سالانه و اطلاعات هواشناسی شامل داده‌های روزانه مربوط به درجه حرارت حداقل، حداکثر، تشعشع خورشیدی و مقدار بارندگی و اطلاعات خاکشناسی شامل بافت خاک، ساختمان خاک، تعداد و عمق هر یک از لایه‌های، وزن مخصوص ظاهری، عناصر غذایی و ظرفیت نگهداری، نقطه پژمردگی، عمق نفوذ ریشه، میزان EC و pH و عملیات زراعی شامل نوع رقم و تیپ آن، تاریخ کاشت، عمق کاشت، فاصله خطوط، تراکم کاشت، تاریخ‌های آبیاری و مقدار آب آبیاری می‌باشد. داده‌های و اطلاعات مورد نیاز برای واسنجی و بررسی صحت مدل شامل: کاشت تا سبز شدن، روز از کاشت تا پایان مرحله رویشی، روز از کاشت تا شروع خوشه‌دهی، روز از کاشت تا پایان رشد برگ روی ساقه اصلی، روز از کاشت تا گل‌دهی، روز از کاشت تا شروع رشد دانه، روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک، روز از کاشت تا زمان برداشت و سایر صفات از جمله عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و شاخص سطح برگ بود. مدل SSM-iSorghum تحت زبان Q. Baisic دارای یک برنامه اصلی است که زیربرنامه‌های مختلفی را فراخوانی می‌کند و در هر یک از این زیربرنامه‌ها مدل‌سازی نمو فنولوژیک (با روش مبتنی بر دما و فنولوژیک) انجام می‌دهد. یکی از روش‌های تعیین پارامترهای

شبیه‌سازی مدل استفاده از تحقیقات و مشاهدات صحرایی است که با استفاده از نتایج تحقیقات میدانی داخل کشور و ارقام مورد مطالعه این امر محقق شد. برخی از ورودی‌های مورد نیاز مدل حاصل نتایج مشاهدات مزرعه‌ای و سایر اطلاعات شامل داده‌های متغیرهای هواشناسی و متغیرهای مدیریت زراعی است. این مدل جهت شبیه‌سازی پارامترهای مختلف فنولوژیکی نیازمند یک‌سری اطلاعات پایه بوده که در جدول ۲ آورده شده است. برای استفاده از این مدل در ابتدا نسبت به تعریف یکسری سناریو بر اساس تاریخ کاشت و تراکم مورد مطالعه در آزمایش مزرعه‌ای اقدام گردید و سپس خروجی مدل (خروجی‌های مربوط به مراحل فنولوژی، حداکثر سطح برگ، عملکرد دانه و بیولوژیک و شاخص برداشت) با استفاده از داده‌های واقعی به‌دست آمده از آزمایش مزرعه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. اطلاعات هواشناسی و اقلیمی بر اساس داده‌های ۱۵ ساله (۹۰-۱۳۷۵) ایستگاه هواشناسی هاشم‌آباد گرگان مورد استفاده قرار گرفت. ضرایب آنگستروم a و b باتوجه به مکان آزمایش به‌ترتیب برابر با ۰/۲۴ و ۰/۵۲ در نظر گرفته شد. مقدار تابش روزانه خورشید SRAD[۱] از روی تعداد ساعات آفتابی محاسبه شد و برای اجرای مدل ۲۰ سناریو شامل تاریخ‌های مختلف کاشت و تراکم‌های مزرعه‌ای تعریف گردید (جدول ۲).

جهت مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های اندازه گیری شده از آزمایشات مزرعه‌ای، از شاخص‌های ارزیابی شامل ضریب تبیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE[۲])، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE[۳]) و خط ۱:۱ استفاده گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{N}} \times 100$$

معادله (۱)

معادله (۲)

$$Normalized\ RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{N}} \times \frac{100}{\bar{O}}$$

معادله (۳)

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2}$$

که در این معادله‌ها، P_i، O_i و $\bar{O}$: به‌ترتیب مقادیر شبیه‌سازی، مشاهده شده و میانگین مشاهدات برای متغیرهای مورد مطالعه و N: تعداد مشاهدات است. در صورتی که NRMSE به‌دست آمده کمتر از ۱۰ درصد باشد، شبیه‌سازی بسیار عالی، اگر بین ۱۰ تا ۲۰ درصد باشد، شبیه‌سازی خوب، اگر بین ۲۰ تا ۳۰ درصد باشد، شبیه‌سازی نسبتاً خوب و در صورتی‌که این شاخص آماری بزرگ‌تر از ۳۰ درصد باشد، شبیه‌سازی ضعیف خواهد بود. هرچه مقدار R^2 حاصل از رگرسیون خطی توابع و خط ۱:۱ به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده همبستگی بالا بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده است که نشان‌دهنده توصیف بهتر مدل در شبیه‌سازی صفت مورد نظر می‌باشد (Feyzbakhsh et al., 2014).

نتایج و بحث

خصوصیات فنولوژیک: نتایج حاصل از مدل بیانگر پاسخ‌گویی خوب مدل برای مراحل مختلف فنولوژیکی گیاه سورگوم دانه‌ای و عملکرد در شرایط گرگان بود. مدل تمامی مراحل رشد و نمو شامل: روز از کاشت تا سبز شدن و روز از کاشت تا شروع خوشه‌دهی، روز از کاشت تا پایان فاز رویشی، روز از کاشت تا پایان رشد برگ بر روی ساقه اصلی، روز از کاشت تا گل‌دهی، روز از کاشت تا شروع رشد دانه، روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک، روز از کاشت تا زمان برداشت و شاخص سطح برگ و عملکرد را به‌خوبی برآورد کرد. نتایج مدل با استفاده از آماره‌های مبتنی بر اختلاف مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده شده نشان داد که مدل SSM مراحل فنولوژیک در تاریخ کشت‌های مختلف و تراکم‌های متفاوت را به‌خوبی پیش‌بینی می‌کند. بالاترین ضریب تبیین (R^2) مربوط به روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک و روز از کاشت تا زمان برداشت با مقدار ۰/۹۴ و ۰/۹۱ درصد به‌دست آمد، بنابراین مدل می‌تواند در برنامه‌ریزی مدیریتی تخمین مراحل فنولوژی مزرعه مورد استفاده قرار گیرد (جدول ۴).

روز از کاشت تا سبز شدن: مقادیر مشاهده شده روز از کاشت تا سبز شدن در آزمایش مزرعه‌ای به‌ترتیب در محدوده حداقل و حداکثر چهار و هفت روز و میانگین ۴/۸ روز اندازه گیری شد، همچنین مقادیر نتایج شبیه‌سازی شده در محدوده چهار و شش روز و میانگین ۴/۷ به‌دست آمد (جدول ۴). مقایسه روز تا سبز شدن مشاهده شده و شبیه‌سازی شده نشان داد که بیشتر داده‌ها در محدوده خط ۱:۱ قرار دارند که بیانگر کارایی مناسب مدل می‌باشد (شکل ۱- a)، ضریب تبیین برای این مقادیر در خصوص روز از کاشت تا سبز شدن

۱- Solar radiation
۲- Root mean square error
۳- Normalized root mean square error

برابر ۰/۷۳ به‌دست آمد. جذر میانگین مربعات خطا و مقادیر نرمال شده آن به‌ترتیب ۰/۳۷ و ۰/۱۳ روز محاسبه شد (جدول ۴). این موضوع نشان‌دهنده این است که مدل قادر به شبیه‌سازی دقیق می‌باشد.

روز از کاشت تا انتهای دوره رویشی: نتایج نشان می‌دهد که مدل، روز تا پایان دوره رویشی را نیز به‌خوبی شبیه‌سازی نموده به‌نحوی‌که ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده، بین داده‌های به‌دست آمده از آزمایشات مزرعه‌ای و داده‌های شبیه‌سازی شده از مدل به‌ترتیب ۰/۶۳، ۲/۲۸ و ۵/۲۲ به‌دست آمد (جدول ۴). مقایسه داده‌های حاصل مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده نسبت به خط ۱:۱ در محدوده ۱۵± درصد این خط قرار گرفتند (شکل ۱- b) که بیانگر پیش‌بینی خوب مدل برای شبیه‌سازی مرحله فنولوژیکی روز تا پایان انتهای دوره رویشی سورگوم دانه‌ای بود.

جدول ۲- پارامترهای ورودی مورد نیاز مدل (سلطانی و سینکلر، ۲۰۱۲)

Table2- Needed input parameters for model (Soltani & Sinclair, 2012)

داده‌های هواشناسی و اقلیمی Weather and climate data	واحد Unit پارامتر (مخفف) Parameter (abbreviation)
حداکثر دمای روزانه Maximum daily temperature (TMAX)	درجه سلسیوس Degree celsius (°C)
حداقل دمای روزانه Minimum daily temperature (TMIN)	درجه سلسیوس Degree celsius (°C)
تابش خورشیدی روزانه Solar radiation (SRAD)	میکرو ژول مترمربع در روز µj.m^2 day
بارندگی روزانه Daily rainfall (RAIN)	میلی‌متر mm
ویژگی‌های خاک Soil characteristics	
آلبیدو Albedo (SALB)	واحد ندارد
ضریب زهکشی Drainage factor (DRAINF)	واحد ندارد
کسر حجمی رطوبت در نقطه پژمردگی Volumetric soil water content at drained upper limit(IDUL)	cmcm^{-1}
کسر حجمی رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی Volumetric soil water content at crop lower limit(ILL)	cmcm^{-1}
کسر حجمی رطوبت در نقطه اشباع Volumetric soil water content at saturation(ISAT)	cmcm^{-1}
شماره منحنی خاک Curve number (CN)	واحد ندارد
مدیریت زراعی Agronomic management	
تاریخ کاشت Sowing date (PDOY)	Day of year since the 1st January
تراکم Density (DEN)	Plant per square meter
رطوبت خاک در موقع کاشت Initial soil water in sowing time (ISW)	mm
کسر آب قابل تعرق خاک برای انجام آبیاری Irrigation threshold level (IRGLVL)	واحد ندارد

جدول ۳- مقادیر پارامترهای مورد استفاده در مدل SSM-iSorghum برای شبیه‌سازی سورگوم (Soltani & Sinclair, 2012)

Table 2- The values of the parameters used in the model SSM-iSorghum- parameters simulate for Sorghum (Soltani & Sinclair, 2012)

پارامتر Parameter	مخفف Abv	واحد Unit	مقدار Value
روز از کاشت تا سبز شدن Day of planting to emergence	bdSOWEMR	day	4
روز از کاشت تا انتهای دوره رویشی Day from sowing to end of vegetative period	bdEMREJU	day	20
روز از کاشت تا شروع خوشه دهی Day from planting to the beginning of the cluster	bdEJUPNI	day	19
روز از کاشت تا پایان رشد برگ روی ساقه اصلی Day from planting to the end of growth on the main stem	bdPNITLM	day	10
روز از کاشت تا گل‌دهی Day from planting to flowering	bdTLMANT	day	12
روز از کاشت تا شروع رشد دانه Day from sowing to the beginning of seed growth	bdANTBSG	day	18
روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک Day of the planting to the physiological examination	bdBSGPM	day	5
روز از کاشت تا زمان برداشت Day from planting to maturity time	bdPMHM	day	10
دمای پایه نمو Base temperature for development	TBD	ºC	8
دمای مطلوب تحتانی برای نمو Lower optimum temperature for development	TP1D	ºC	34
دمای مطلوب فوقانی نمو Upper optimum temperature for development	TP2D	ºC	37
دمای سقف نمو Ceiling temperature for development	TCD	ºC	45
فتوپریود Critical photoperiod	CPP	ºC	14
ضریب حساسیت به فتوپریود Photoperiod sensitivity coefficient	ppsen	ºC	1.75
کارایی استفاده از تشعشع در شرایط مطلوب رشد Radiation use efficiency under optimal growth conditions	IRUE	$g.MJ^{-1}$	3.3
عمق ریشه در موقع سبز شدن Depth of root at emergence	iDEPORT	mm	150
حداکثر عمق مؤثر استخراج آب از خاک توسط ریشه Maximum effective depth of water extraction from soil by roots	MEED	mm	1300

روز از کاشت تا شروع خوشه دهی: مقایسه ضریب تبیین حاصل از آنالیز رگرسیون خطی توابع بین مقادیر روز تا شروع خوشه‌دهی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده گیاه سورگوم دانه‌ای در شرایط گرگان نشان داد که مدل ارزیابی نسبتاً خوبی از این پارامتر داشت (R^2 =۰/۵۰). علاوه‌بر آن، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده نیز به‌ترتیب ۳/۱۹ و ۱۰/۱۹ به‌دست آمد که بیانگر شبیه‌سازی خوب این پارامتر توسط مدل بود (جدول ۴). شکل مربوط به مقادیر اندازه‌گیری شده روز تا شروع رشد خوشه‌دهی و مقادیر شبیه‌سازی شده آن نیز نشان می‌دهدکه تمامی داده‌ها در محدوده ۱۵± درصدی خط ۱:۱ قرار داشتند (شکل ۲- a).

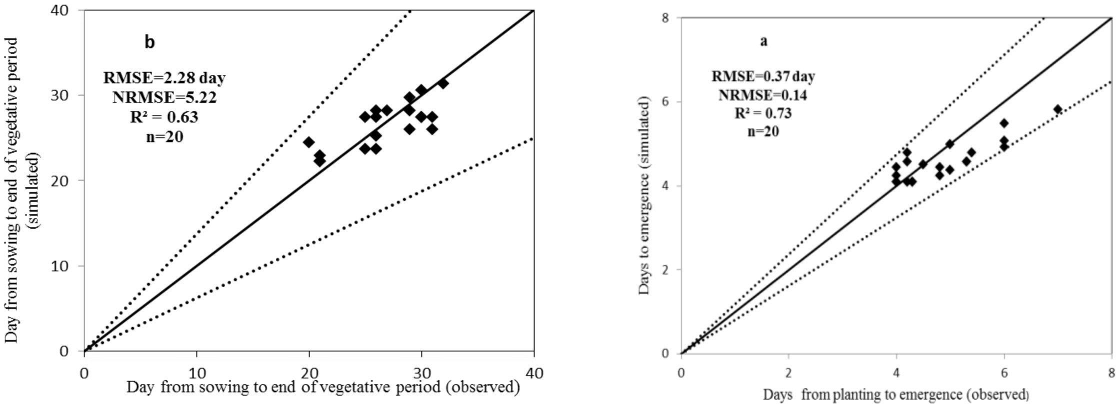
روز از کاشت تا پایان رشد برگ روی ساقه اصلی: مقادیر روز تا پایان رشد برگ روی ساقه اصلی مشاهده شده در محدوده ۴۲ تا ۶۶ روز و میانگین ۵۴/۹ روز بود، همچنین مقادیر شبیه‌سازی شده از مدل نیز تقریباً در دامنه‌ای مشابه با اعداد مشاهده شده قرار داشتند، به‌نحوی‌که حداکثر و حداقل روز تا پایان رشد برگ روی ساقه اصلی شبیه‌سازی شده به‌ترتیب ۴۹ و ۶۲ روز و میانگین

۵۵ روز به‌دست آمد. همچنین ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده به‌ترتیب برابر ۰/۴۴، ۳/۳۰ و ۱۰/۸۷ بوده که همگی نشان‌دهنده پیش‌بینی خوب مدل می‌باشد (جدول ۴). مقادیر روز تا پایان رشد برگ روی ساقه اصلی مشاهده شده و پیش‌بینی شده مدل نیز در محدوده ۱۵ ± درصد از خط ۱:۱ قرار گرفتند (شکل ۲- b).

جدول ٤- پارامترهای ریاضی و آماری مربوط به صفات مختلف مورد مطالعه به‌دست آمده از مدل و آزمایشات مزرعه‌ای

Table 4– Mathematical and statistical parameters related to the various traits studied by the model and field experiments

صفت Parameter	حداکثر Maximum		حداقل Minimum		میانگین Mean		پارامترهای آماری Statistical parameters		
	مشاهده شده Observed	شبیه‌سازی شده Simulated	مشاهده شده Observed	شبیه‌سازی شده Simulated	مشاهده شده Observed	شبیه‌سازی شده Simulated	ضریب تبیین R2	میانگین مربعات خطا RMSE	میانگین مربعات خطای نرمال شده NRMSE
روز از کاشت تا سبز شدن Day of planting to emergence	7	6	4	4	4.9	4.7	0.73	0.13	0.37
روز از کاشت تا انتهای دوره رویشی Day from sowing to end of vegetative period	33	32	21	20	26	26.5	0.63	2.28	5.22
روز از کاشت تا شروع خوشه‌دهی Day from planting to the beginning of the cluster	55	53.2	38	39	44.9	45.70	0.50	3.19	10.19
روز از کاشت تا پایان رشد برگ روی ساقه اصلی Day from planting to the end of growth on the main stem	66	62	42	49	54.9	55	0.44	3.30	10.87
روز از کاشت تا گل‌دهی Day from planting to flowering	69	69	46	50	58.7	62.6	0.67	4.18	17.49
روز از کاشت تا شروع رشد دانه Day from sowing to the beginning of seed growth	87	95	64	66	75.79	81.67	0.73	4.43	19.65
روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک Day of the planting to the physiological examination	102	99	72	74	82.95	84.05	0.94	1.97	3.88
روز از کاشت تا زمان برداشت Day from planting to maturity time	107	117	84	83	93.14	95.88	0.91	3.58	12.83
شاخص سطح برگ Leaf area index	4.76	4.80	2.11	2.25	3.45	3.52	0.69	0.23	0.48
شاخص برداشت Harvest Index (%)	29.62	30.58	10.24	9.80	20.16	18.85	0.66	3.03	6.17
عملکرد بیولوژیک Biological yield ($t.ha^{-1}$)	33.65	28.61	11.62	10	22.12	21.49	0.86	2.94	8.67
عملکرد دانه Grain yield ($t.ha^{-1}$)	7.43	6.60	2.35	2.20	4.24	3.92	0.78	0.70	0.43

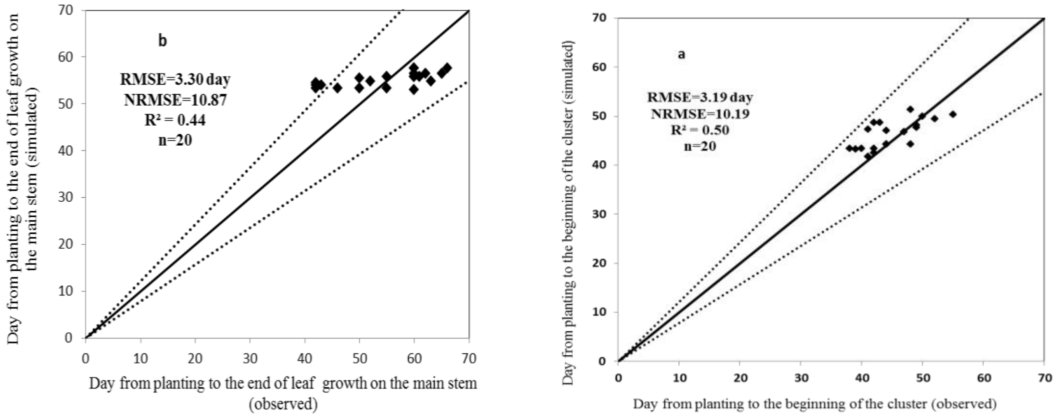


شکل ۱- روز از کاشت تا سبز شدن مشاهده شده در مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده آن (a) و روز از کاشت تا انتهای دوره رشد رویشی مشاهده شده در مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده آن (b)

Fig. 1- Observed days from planting to emergence in comparison it's simulated (a) and days from sowing to end vegetative period in comparison its simulated (b)

خط توپر، معرف خط۱:۱ و خطوط نقطه چین بالا و پایین بیانگر ۱۵ ± درصد می‌باشد.

Continuous line is line 1:1 and upper and lower dashed lines are ± 15%.



شکل ۲- روز از کاشت تا شروع خوشه‌دهی مشاهده شده در مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده آن (a) و روز از کاشت تا پایان رشد برگ بر روی ساقه اصلی مشاهده شده در مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده آن (b)

Fig. 2- Observed days from the planting to the beginning of the cluster in comparison its simulated values (a) and days from planting to the end of leaf growth on the main stem in comparison its simulated values (b)

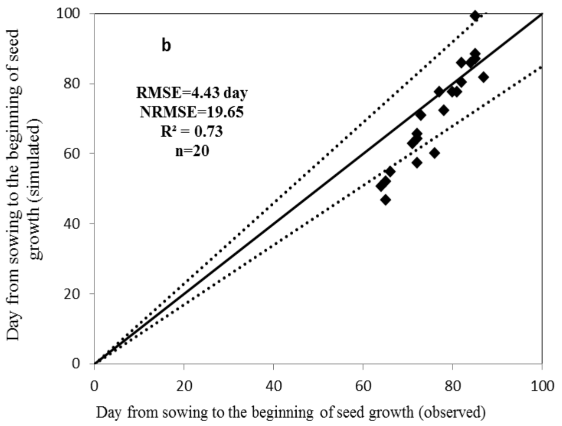
خط توپر، معرف خط۱:۱ و خطوط نقطه چین بالا و پایین بیانگر ۱۵ ± درصد می‌باشد.

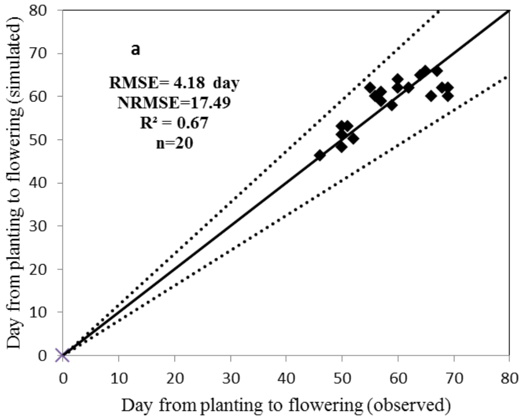
Continuous line is line 1:1 and upper and lower dashed lines are ± 15%.

روز از کاشت تا گل‌دهی: نتایج مطالعه نشان داد که روز تا گل‌دهی شبیه‌سازی شده از دقت مطلوب‌تری نسبت به سایر پارامترهای مورد مطالعه برخوردار بود، به‌نحوی‌که مقدار حداکثر روز تا گل‌دهی که بوسیله مدل شبیه‌سازی شده، در محدوده ۷۰ روز و حداقل این عدد در محدوده۵۰ روز و با میانگین ۶۲/۶ روز پیش‌بینی گردید. همچنین حداکثر، حداقل و میانگین روز تا گل‌دهی به‌دست آمده از مشاهدات مزرعه‌ای به‌ترتیب برابر ۶۹، ۴۶ و ۵۸/۷ روز بود. ضریب تبیین به‌دست آمده حاصل آنالیز رگرسیون خطی توابع بین روز تا گل‌دهی اندازه‌گیری شده و مقادیر شبیه‌سازی شده برابر ۰/۶۷ محاسبه شد که این مقدار به‌خوبی نشان می‌دهد که مدل از دقت

مطلوبی برای سنجش این پارامتر برخودار است (جدول ۴). همچنین سایر شاخص‌های آماری و شکل خط ۱:۱ نیز موید مطالب فوق می‌باشند (شکل ۳- a). لذا با توجه به نتایج فوق، مدل می‌تواند شبیه‌سازی مناسبی در مورد صفت روز تا گل‌دهی در شرایط شهرستان گرگان ارائه دهد. بر اساس گزارش نتایج سایر محققین از شبیه‌سازی مراحل فنولوژیکی (گل‌دهی و رسیدگی) برای دو رقم سویا سحر و کتول نشان داد که مدل SSM با دقت خوبی مراحل مذکور را شبیه‌سازی نموده است، به‌طوری‌که نتایج حاصل از ارزیابی فنولوژی مدل نشان داد، مقدار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برای روز تا گل‌دهی و رسیدگی به‌ترتیب ۵/۸ روز و ۸/۷ روز است که حدود ۱۱ درصد میانگین روز تا گل‌دهی و حدود شش درصد روز تا رسیدگی محاسبه شده است که نشان‌دهنده دقت بالای مدل در شبیه‌سازی مراحل فنولوژی است (Nehbandani et al, 2016).

روز از کاشت تا شروع رشد دانه: مقایسه ضریب تبیین حاصل از آنالیز رگرسیون خطی توابع بین مقادیر روز تا شروع رشد دانه مشاهده شده و شبیه‌سازی شده گیاه سورگوم دانه‌ای در شرایط گرگان نشان داد که مدل از دقت کافی برای شبیه‌سازی پارامتر مذکور داشت (R^2=۰/۷۳). علاوه‌بر آن، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده نیز به‌ترتیب با مقادیری ۴/۴۳ و ۱۹/۶۵ بیانگر شبیه‌سازی خوب این پارامتر توسط مدل بود (جدول ۴). شکل مربوط به مقادیر مشاهده شده روز تا شروع رشد دانه و مقادیر شبیه‌سازی شده نیز نشان داد که اکثر داده‌ها در محدوده ۱۵± درصد از خط ۱:۱ قرار داشتند (شکل ۳- b).





شکل ۳- روز از کاشت تا گل‌دهی مشاهده شده در مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده آن (a) و روز از کاشت تا شروع رشد دانه مشاهده شده در مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده آن (b)

Fig. 3- Observed days from planting to flowering in comparison its simulated values (a) and observed days from sowing to the beginning of seed growth in comparison its simulated values (b)

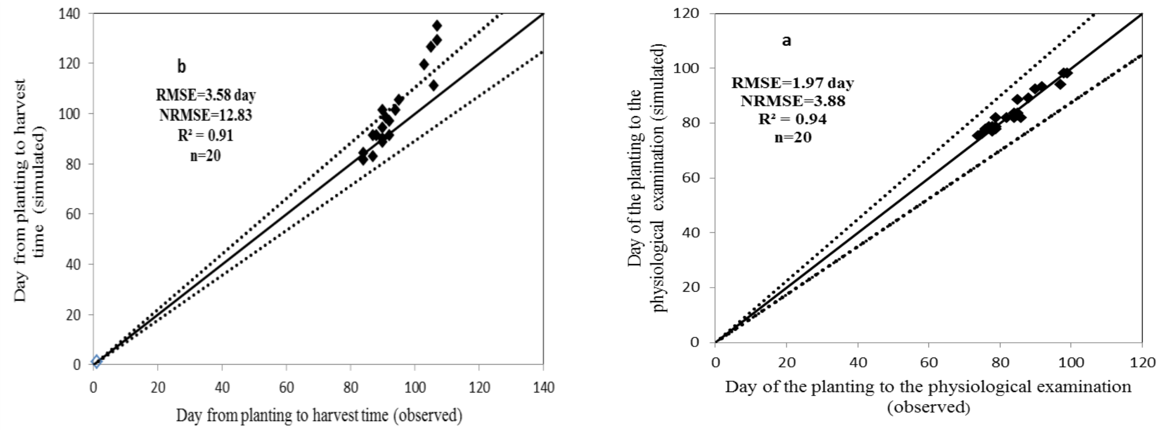
خط توپر، معرف خط۱:۱ و خطوط نقطه چین بالا و پایین بیانگر ۱۵ ± درصد می‌باشد.

Continuous line is line 1:1 and upper and lower dashed lines are ± 15%.

روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک: مقادیر روز تا رسیدگی فیزیولوژیک به‌دست آمده از مزرعه (مشاهده شده) در یک محدوده‌ای از مقادیر ۷۲ تا ۱۰۰ روز و میانگین ۸۲/۸۶ روز به‌دست آمد، در مقایسه اعداد به‌دست آمده از مدل نیز تقریباً در دامنه‌ای مشابه با مقادیر واقعی به‌دست آمد، به‌نحوی‌که حداکثر و حداقل روز تا رسیدگی فیزیولوژیک به‌دست آمده از مدل، به‌ترتیب در محدوده ۷۴ و ۹۹ روز و میانگین ۸۴/۰۵ روز به‌دست آمد (شکل ۴- a). در خصوص این صفت پارامترهای ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده، به‌ترتیب برابر ۰/۹۴، ۱/۹۷و ۳/۸۸ محاسبه شد که همگی نشان‌دهنده پیش‌بینی مطلوب مدل می‌باشد (جدول ۴).

روز از کاشت تا زمان برداشت: نتایج مطالعه نشان داد که روز از کاشت تا زمان برداشت شبیه‌سازی شده مدل از بالاترین دقت نسبت به سایر پارامترهای مورد مطالعه برخوردار بود، به‌طوری‌که مقدار حداکثر روز تا زمان برداشت بوسیله مدل شبیه‌سازی شد، که در محدوده ۱۲۱ روز و حداقل ۸۳ روز و با میانگین ۹۵/۸۶ روز قرار

داشتند. همچنین حداقل، حداکثر و میانگین روز تا زمان برداشت مشاهده شده آزمایشات مزرعه‌ای به‌ترتیب برابر ۸۴، ۱۰۷ و ۹۳/۱۴ روز بود (شکل ۴- b). بر اساس نظر سایر محققین نتایج حاصل از شبیه‌سازی مراحل فنولوژیکی (گرده‌افشانی و رسیدگی) برای ارقام گندم بیان داشتند، مدل SSM با دقت خوبی این مراحل را شبیه‌سازی نموده است، به‌طوری‌که نتاج حاصل از ارزیابی فنولوژی مدل نشان داد، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برای روز تا گرده‌افشانی و روز تا رسیدگی ازدقت خوب مدل در پیش‌بینی مراحل فنولوژیکی ارقام گندم برخوردار است (Panahi et al., 2020).



شکل ٤- روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک مشاهده شده در مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده آن (a) و روز از کاشت تا زمان برداشت مشاهده شده در مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده آن (b)

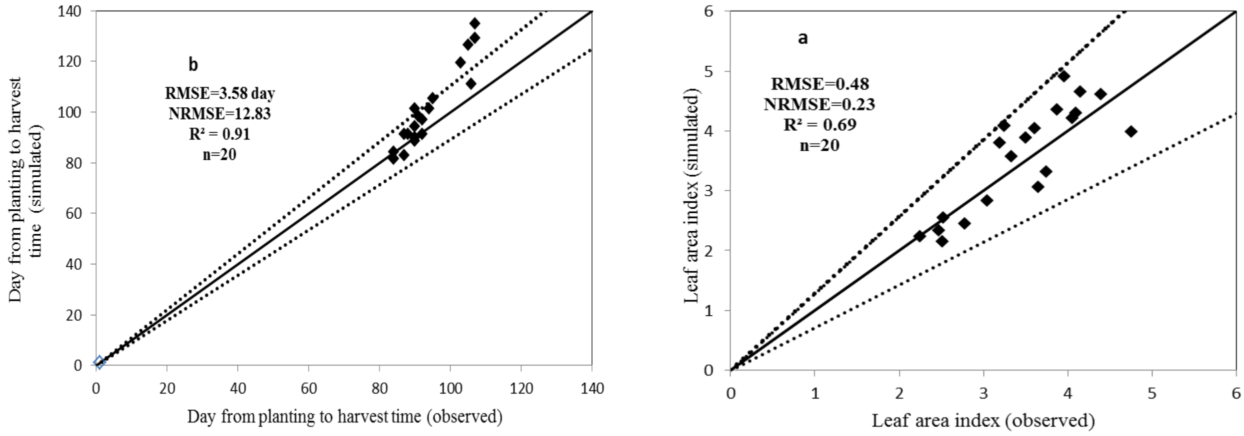
Fig.4- Observed day of planting to the physiological examination in comparison its simulated values (a) and observed day from planting harvest time in comparison its simulated values (b)

خط توپر، معرف خط۱:۱ و خطوط نقطه چین بالا و پایین بیانگر ۱۵ ± درصد می‌باشد.

Continuous line is line 1:1 and upper and lower dashed lines are ± 15%.

شاخص سطح برگ: دامنه داده‌های شاخص سطح برگ در مشاهدات مزرعه‌ای در محدوده ۲/۱۱ تا ۴/۸۰ با میانگین ۳/۵۲ اندازه‌گیری شد و همچنین مقادیر شبیه‌سازی شده برای این صفت ۲/۲۵ تا ۴/۷۶ با میانگین ۳/۴۵ به‌دست آمد (جدول ۳). همان‌گونه که در شکل (۵- a) مشاهده می‌شود، پراکندگی نقاط حاصل از مقادیر مشاهده شده در مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده حول محدوده خط ۱:۱ قرار داشت. ضریب تبیین نیز نشان می‌دهد که به احتمال ۶۹ درصد داده‌های مشاهدات مزرعه‌ای شاخص سطح برگ با داده‌های شبیه‌سازی شده هم‌خوانی دارد، جذر میانگین مربعات اشتباه آزمایش و نرمال به‌ترتیب ۰/۴۸ و ۰/۲۳ بوده که نشان‌دهنده دقت برآورد مدل می‌باشد (جدول ۴). بر اساس مطالعه سایر محققین مدل SSM-Wheat برای پیش‌بینی رشد و عملکرد گندم در واکنش به کود نیتروژن، بیان داشتند توسعه شاخص سطح برگ تحت تأثیر میزان کود نیتروژن می‌باشد، بنابراین گسترش سطح برگ به‌عنوان یک عامل مهم تعیین می‌شود و میانگین مربعات خطای آزمایش و ضریب تبیین شاخص سطح برگ را ۱/۱۲ و ۰/۳۷ تعیین شده است (Moeinirad et al., 2017).

شاخص برداشت: بیشترین و کمترین دامنه داده‌های شاخص برداشت مشاهدات مزرعه‌ای به‌ترتیب ۲۹/۶۲، ۱۰/۲۴ با میانگین ۲۰/۱۶ متغیر بود و همچنین دامنه تغییرات بیشترین و کمترین شاخص برداشت شبیه‌سازی شده نیز در محدوده ۳۰/۵۸، ۹/۸۰ با میانگین ۱۸/۸۵ به‌دست آمد. ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده به‌ترتیب برابر ۰/۶۶، ۳/۰۳ و ۶/۱۷ به‌دست آمد (جدول ۴). نتایج نشان داد که مدل شبیه‌سازی مناسبی از شاخص برداشت سورگوم دانه‌ای برای شرایط گرگان می‌دهد. قرار گرفتن بیشتر داده‌ها در محدوده ۱۵± درصد خط ۱:۱ و شاخص‌های آماری نیز بیانگر توجیه مناسب مقادیر شبیه‌سازی شاخص برداشت توسط مدل بود (شکل ۵- b).



شکل ۵- شاخص سطح برگ مشاهده شده در مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده آن (a) و شاخص برداشت مشاهده شده در مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده آن (b)

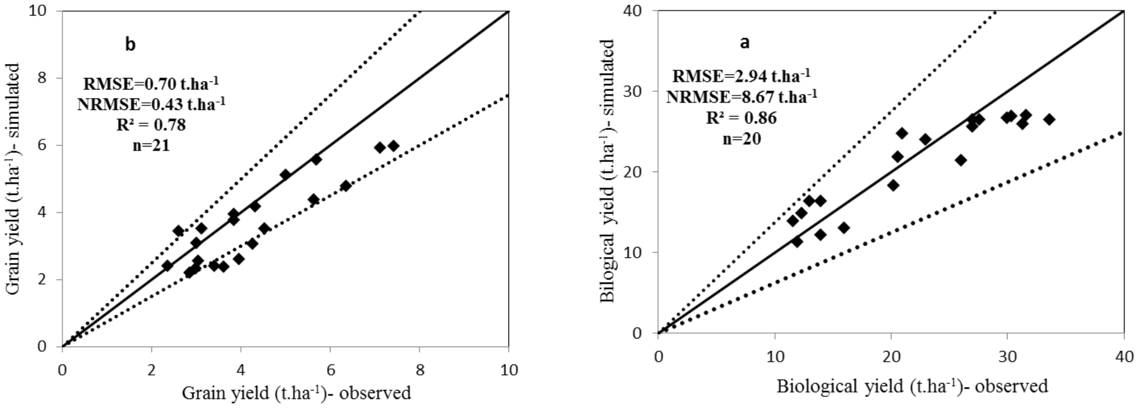
Fig. 5- Observed leaf area index in comparison its simulated values (a) and observed harvest index in comparison its simulated values (b)

خط توپر، معرف خط۱:۱ و خطوط نقطه چین بالا و پایین بیانگر ۱۵ ± درصد می‌باشد.

Continuous line is line 1:1 and upper and lower dashed lines are ± 15%.

عملکرد بیولوژیک: نتایج عملکرد بیولوژیک مشاهده شده در محدوده حداقل ۱۱/۶۲ تن در هکتار تا حداکثر ۳۳/۶۵ تن در هکتار و میانگین ۲۲/۱۲ تن در هکتار به‌دست آمد. نتایج شبیه‌سازی نیز مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد بیولوژیک را به‌ترتیب ۱۰، ۲۸/۶۱ و ۲۱/۴۱ تن در هکتار محاسبه نمود (جدول ۴). مقدار ضریب تبیین (R^2) ۸۶ درصد به‌دست آمد که می‌توان بیان نمود که داده‌ها به‌خوبی حول محدوده ۱۵± از خط ۱:۱ هستند، به همین دلیل مدل می‌تواند برای عملکرد بیولوژیک سورگوم دانه‌ای پیش‌بینی مناسبی ارائه دهد (شکل ۶- a). طبق نتایج سایر محققین مدل SSM-Wheat به‌خوبی عملکرد بیولوژیک پیش‌بینی نموده و ضریب تبیین و میانگین مربعات خطای آزمایش به‌ترتیب ۰/۷۴ و ۲۳۰۵/۶۲ محاسبه شده است که نشان‌دهنده شبیه‌سازی خوب مدل است (Moeinirad et al., 2017).

عملکرد دانه: بیشترین و کمترین داده‌های عملکرد دانه مشاهده شده به‌ترتیب ۷/۴۲-۲/۳۵ تن در هکتار با میانگین ۴/۲۴ تن در هکتار متغیر بود و دامنه بیشترین و کمترین عملکرد شبیه‌سازی شده نیز بین۶/۶۰- ۲/۲۰ تن در هکتار با میانگین ۳/۹۲ تن در هکتار به‌دست آمد، به نظر می‌رسد اختلاف تاریخ‌های کشت متفاوت دلیل اصلی افزایش دامنه عملکرد دانه باشد (جدول ۴). مقدار ضریب تبیین (R^2) ۰/۷۸درصد به‌دست آمد. در به‌کارگیری مدل‌ها برای پیش‌بینی عملکرد گزارش شده است، مقدار ضریب تبیین باید بیش از ۶۰ درصد باشد که این شرط در این مدل وجود دارد، در خصوص شکل بین عملکرد مشاهده شده و عملکرد شبیه‌سازی شده مشخص گردید که داده‌ها در محدوده ۱۵± درصد خط ۱:۱ قرار دارند، لذا مدل از دقت کافی برای پیش‌بینی عملکرد دانه در شرایط آب و هوایی گرگان برخوردار است (شکل ۶- b). استفاده از یک مدل شبیه‌سازی برای رشد و عملکرد، بسته به پارامترهای ورودی آن مدل در منطقه مورد نظر دارد. بنابراین، حصول نتیجه مطلوب از به‌کارگیری مدل‌ها مستلزم شناخت مناسب از توانایی‌ها و محدودیت‌های آن‌ها دارد. نتایج سایر محققین در ارزیابی مدل SSM-Wheat در شرایط گرگان نشان می‌دهد نتایج شبیه‌سازی جنبه‌های مهم گیاهان زراعی در مقابل آزمایش‌های مشاهده شده شامل روز تا گرده‌افشانی، رسیدگی، شاخص سطح برگ و عملکرد دانه داشت که با نتایج حاصل از آزمایش مطابقت دارد.



شکل ٦- عملکرد بیولوژیک مشاهده شده در مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده آن (a) و عمکرد دانه مشاهده شده در مقایسه با مقادیر شبیه‌سازی شده آن (b)

Figures6: Observed biological yield in comparison its simulated values (a) and observed grain yield in comparison its simulated values (b)

خط توپر، معرف خط۱:۱ و خطوط نقطه چین بالا و پایین بیانگر ۱۵ ± درصد می‌باشد.

Continuous line is line 1:1 and upper and lower dashed lines are ± 15%.

نتیجه‌گیری

ارزیابی مدل SSM-Sorghum نشان داد که این مدل مراحل فنولوژیکی شامل شاخص برداشت، شاخص سطح برگ، عملکرد بیولوژیک با تاریخ کاشت‌های مختلف و تراکم‌های متفاوت را با دقت مناسبی در شرایط آب و هوایی گرگان شبیه‌سازی می‌کند، همچنین ارزیابی مدل نشان داد در اکثر نقاط در محدوده قابل اطمینان (۱۵± درصد) از خط 1:1 قرار گرفتند که بیانگر برآورد صحیحی از پارامترهای مدل و یا تصدیق‌کننده کارآیی شبیه‌سازی مراحل روشد مدل است. بنابراین، مدل می‌تواند در برنامه ریزی‌های مدیریتی مزرعه شامل (انتخاب تاریخ مناسب کشت، تراکم مناسب) مورد استفاده قرار گیرد. اگرچه مدل مراحل فنولوژی رشد به‌خوبی شبیه‌سازی می‌کند، به نظر می‌رسد لازم است آزمون و دقت مدل با داده‌های حاصل از آزمایش‌های متنوع مجدداً انجام شود و در صورت تأیید نتایج این بررسی در معادلات به‌کار رود. بدیهی است که مدل‌ها زمانی مؤثر واقع می‌شوند که با تحلیل شرایط فیزیولوژیک و اکولوژیک و با توجه به آزمایشات و مشاهدات اندازه‌گیری تجربی از سیستم به‌کار گرفته شوند.

Refrences

Ahmadi Alipour, H., Soltani, A., Kazemi, H., and Nehbandani, A., 2017. Zoning Golestan province in terms of the ability and the wheat production gap using a simulation model (SSM). Journal Agricultural Crop Production 20: 129-144. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22059/jci.2018.237053.1784.

Arnold, J.G., Moriasi, D.N., Gassman, P.W., Abbas Pour, K.C., White, M.J., Srinivasan, R., Santhi, C., Harmel, R.D., Griensven, A., Van Liew, M.W., and Kannan, N., 2012. SWAT: Model use, calibration, and validation. Transaction of the ASAE. American Society of Agricultural and Biological Engineers. 55: 1491–1508. http://doi.org/10.13031/2013.42256.

Arora, V.K., Singh, H., and Singh, B., 2007. Analyzing wheat productivity responses to climatic irrigation and fertilizer-nitrogen regimes in a semi-arid sub-tropical environment using the CERES-Wheat model. Agricultural Water Management 94: 22-30. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.07.002.

Azari-Nasrabad, A., and Ramazani, S.H., 2011. Correlation and path analysis in yield and its components in grain sorghum cultivars. Electronic Journal of Crop Production 4: 51-62. (In Persian with English Summary)

Carberry, P.S., 1991. Test of leaf-area development in CERES-Maize. Field Crops Research 27: 159-167. https://doi.org/10.1016/0378-4290(91)90028-T

Dadrasi, A., and Torabi, B., 2016. Predict the growth and yield of corn in Hamedan. Iranian Journal of Field Crop Sciences 47: 595-610. (In Persian with English Summary).

Dehghan, A., 2007. Effect of sowing date on yield and yield components of three grain sorghum cultivars in Khozestan. Science Journal Agricultural 30: 123-132. (In Persian with English Summary).

Droogers, P., Akbari, M., Torabi, M., and Pazira, E., 2000. Exploring Filed Scale Salinity using Simulaion Modeling, Example for Rudasht Area, Esfahan Provinc, Iran. (In Persian).

FAO, 2020. FAO statistical year book, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Hammer, G.L., Sinclair, T.R., Boote, K.J., Wright, G.C., Meinke, H., and Bell, M.J., 1995. A peanut simulation model: I. model development and testing. Agronomy Journal 87: 1085–1093. https://doi.org/10.2134/agronj 1995.00021962008700060009x Citations: 50.

Feyzbakhsh, M.T., Kamkar, B., Mokhtarpour, H., and Asadi, M.I., 2014. Assessment and evaluation of CERES-Maize model in Gorgan weather conditions. Journal of Crop Production 8: 25-49. (In Persian with English Summary)

Geoffrey, E.O., Wietse, H.P., Iwan, S., Omondi, P., and Ronald, W.A., 2018. Probabilistic maize yield prediction over East Africa using dynamic ensemble seasonal climate forecasts. Journal of Agricultural and Forest Meteorology 250(2): 243-261. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.12.256.

Ghanem, M.E., Marrou, H., Biradar, C., and Sinclair, T.R., 2015. Production potential of lentil (*Lens culinaris* Medik.) in East Africa. Agricultural System 137: 24–38. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.03.005

Kassie, B.T., Asseng, S., Porter, C.H., and Royce, F.S., 2016. Performance of DSSAT-Nwheat across a wide range of current and future growing conditions. European Journal of Agronomy 81: 27-36. https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.08.012.

Kobayashi, K., and Salam, M.U., 2000. Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. Agronomy Journal 92: 345-352. http://doi.org/10.2134/agronj2000.922345x.

KO, J., Piccinni, G., Guo, W., and Steglich, E., 2009. Parameterization of EPIC crop model for simulation of cotton growth in South Texas. Journal Agricultural of Science 147: 169–178. https://doi.org/10.1017/S0021859608008356.

Moeinirad, A., Zeinali, E., Soltani, A., Galeshi, S., and Yeganeh Poor, F., 2017. Investigation of SSM-Wheat model to forecast of growth and yield of wheat in response to fertilizer nitrogen in order to decrease pollution environmental and diseases. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research 5: 73–78. http://doi.org/10.26655/ijabbr.2017.3.5

Morris, G.P., Ramu, R., Deshpande, S.P., Hash, C.T., Shah, T., Upadhyaya, H.D., and Kresovich, S. 2013. Ppulation genomic and genome-wide association studies of agroclimatic traits in sorghum. Proceeding of National Academy of Sci. 110: 2. 453-458. http://doi.org/10.1073/pnas.1215985110.

Messina, C.D., Sinclair, T.R., Hammer, G.L., Curan, D., Thompson, J., Oler, Z., Gho, C., and Cooper, M., 2015. Limited-transpiration trait may increase maize drought tolerance in the US Corn Belt. Agronomy Journal 107: 1978–1986. https://doi.org/10.2134/agronj15.0016.

Nehbandani, A.R., Soltani, A., Zeinali, E., Raeisi, S., and Rajabi, R., 2016. Parameterization and evaluation of SSM-soybean model for prediction of growth and yield of soybean in Gorgan. 2014. Journal of Plant Production 22: 1-26. (In Persian)

Panahi, M.H., A., Soltani, E., Zeinali, M., Kalateh Arabi, and Nehbandani, A.R., 2020. Estimation of phenological parameters in SSM-Wheat model for bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes in Golestan province of Iran. Iranian Journal of Crop Sciences 21(4): 302-314. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.29252/abj.21.4.302

Safari, M., Aghaalikhani, M., and Modares Sanavy, S.A., 2010. Effect of sowing date on phenology and morphological traits of three grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.) cultivars. Iranian Journal of Crop Science 12: 452-466. (In Persian with English Summary). https://doi.org/20.1001.1.15625540.1389.12.4.7.0.

Schoppach, R., Soltani, A., Sinclair, T.R., and Sadok, W., 2017. Yield comparison of simulated rainfed wheat and barley across Middle-East. Agricultural System 153: 101–108. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.12.017.

Sciarresi, C., Patrignani, A., Soltani, A., Sinclair, T., and Lollato, R.P., 2019. Plant traits to increase winter wheat yield in semiarid and subhumid environments. Agronomy Journal 111: 1–13. https://doi.org/10.2134/agronj2018.12.0766.

Sinclair, T.R., 1986. Water and nitrogen limitations in soybean grain production I. model development. Field crop Research 15: 125–141. https://doi.org/10.1016/0378-4290(86)90082-1.

Sinclair, T.R., and Amir, J., 1992. A model to assess nitrogen limitations on the growth and yield of spring wheat. Field

crop Research 30: 63–78. https://doi.org/10.1016/0378-4290(92)90057-G.

Sinclair, T.R., and 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., and Monteith, J.L., 1997. Model analysis of sorghum response to nitrogen in subtropical and tropical environments. Agronomy Journal 89: 201–207.

Sinclair, T.R., Messina, C.D., Beatty, A., and Samples, M., 2010. Assessment across the United States of the benefits of altered soybean drought traits. Agronomy Journal 102: 475–482. https://doi.org/10.2134/agronj2009.0195

Sinclair, T.R., Marrou, H., Soltani, A., Vadez, V., and Chandolu, K.C., 2014. Soybean production potential in Africa. Global Food Security 3: 31–40. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2013.12.001

Sinclair, T.R., Soltani, A., Marrou, H., Ghanem, M., and Vadez, V., 2020. Geospatial assessment for crop genetic and management improvements. Crop Science. 60: 22.700-708. https://doi.org/10. 1002/csc2.20106. Accepted.

Soltani, A., Rezaei, A., and Khaje Pour, M.R., 2001. Genetic variety for some physiological and agronomic traits in grain sorghum. Journal Science Technology. Agricultural Nature Research 5: 127-136. (In Persian with English Summary)

Soltani, A., and Gholipoor, M. 2006. Simulation the impact of climate change on growth, yield and water use of chickpea. Journal of Agricultural Science and Natural Resources 13:2. 69-79.

Soltani, A., 2009. Mathematical modeling of the crop. Jahad Daneshgahi of Mashhad Press, Iran. 175 p. (In Persian)

Soltani, A., and Sinclair, T.R., 2011. A simple model for chickpea development, growth and yield. Field Crop Resources 124: 252–260. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.06.021.

Soltani, A., and Sinclair, T.R., 2012. Modeling Physiology of Crop Development, Growth and Yield. CABI Publication. 322 p.

Soltani, A., Maddah, V., and Sinclair, T.R., 2013. SSM-wheat: A simulation model for wheat development, growth and yield. International Journal of Plant Production 7: 711–740. 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 Crop Resources 175(1): 37–46. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.10.019

Soltani, A., Alimagham, S.M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Dadrasi, 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., and Sinclair, T.R., 2020. SSM-iCrop2: A simple model for diverse crop species over large areas. Agricultural Systms 182: 102855. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102855.

Wahbi, A., and Sinclair, T.R., 2005. Simulation analysis of relative yield advantage of barley and wheat in an eastern Mediterranean climate. Field Crop Resources 91: 287–296.

Vadez, V., Halilou, O., Hissene, H.M., Sibiry-Traore, P., Sinclair, T.R., and Soltani, A., 2017. Mapping water stress incidence and intensity, optimal plant populations, and cultivar duration for African groundnut productivity enhancement. Frontiers in Plant Scienc 1-13. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00432.

Williams, J.R., Jones, C.A., Kiniry, J.R., and Spanel, D.A., 1989. The EPIC crop growth model. Transaction of the ASAE 32: 497–0511.

Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

CC BY

Research Article
Vol. 14, No. 4, Winter 2023, p. 731-750

Responses of Dragon's Head (*Lallemantia iberica*) and Lady's Mantle (*Lallemantia royleana*) Inoculated by Mycorrhiza to Different Irrigation Regimes

Arezoo Paravar[1], Saeideh Maleki Farahani[2*] and Alireza Rezazadeh[3]

Received: 30-12-2020
Revised: 20-07-2021
Accepted: 26-07-2021
Available Online: 26-07-2021

How to cite this article:
Paravar, A., Maleki Farahani, S., and Rezazadeh, A., 2023. Responses of Dragon's head (*Lallemantia iberica*) and Lady's mantle (*Lallemantia royleana*) inoculated by mycorrhiza to different irrigation regimes. Journal of Agroecology 14(4): 731-750.
DOI: 10.22067/agry.2021.67929.1006

Introduction

In natural environments, plants are continuously exposed to diverse environmental conditions that may affect plant survival, development and production. Water deficiency considers as one of the most ominous abiotic factors that limits the growth and yield of crops and decreases water use efficiency and photosynthesis rate. Nowadays it is suggested to use bio-fertilizers as a tool to adjust adverse effects of water shortage in soil. Bio-fertilizers containing Arbuscular mycorrhizal fungi are supposed to use. Some plant species have the ability to form a symbiosis relationship with the Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). AMF can increase growth and yield of plants under water deficiency, and it is one of the most important bio-inoculant that can be used to adjust adverse effects of water stress in plants. AMF-symbiosis considerably increases root colonization which turns into improving water use efficiency. Also, it establishes a platform to increase phosphorus mobility between soil and roots in the rhizosphere. *Lallemantia iberica* (Dragon's head) and *Lallemantia royleana* (Lady's mantle) are medicinal plants that belong to the Lamiaceae family. Genus *Lallemantia* seeds contain mucilage, polysaccharide, fiber, oil, protein, and plenty of valuable secondary metabolites. Limited information is availiable about the ability of these two species to make symbiosis relation with AMF under water deficit condition. Hence, the current study was aimed to evaluate of *Lallemantia iberica* and *Lallemantia royleana* inoculated by mycorrhizal in the different irrigation regimes.

Materials and Methods

The field trial was conducted at the Research Farm of the Agricultural Faculty of Shahed University, Tehran, during the cropping season of 2018 and 2019. A split-factorial experiment was employed in a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The main plot consisted of three-level of irrigation regimes (30% (I_{30}; without stress), 60% (I_{60}; mild stress), and 90% (I_{90}; sever stress) depletion of available water resource). The sub plots were factorial combination mycorrhizae (non-inoculation and inoculation of mycorrhizae) and plant species of *Lallemantia* (*L.iberica* and *L. royleana*).

Results and Discussion

1- Ph.D. Student, Department of Crop Production and Plant Breeding, College of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Crop Production and Plant Breeding, College of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Plant Protection, College of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran.
(*- Corresponding author's Email: maleki@shahed.ac.ir)

Increasing water deficit significantly reduced plant height, grain yield, chlorophyll *a* and *b*, water use efficiency, root colonization, seed phosphorus, seed mucilage, and seed oil content However, the highest plant height, grain yield, chlorophyll *a* and *b*, water use efficiency, root colonization, seed phosphorus, mucilage, and oil seed content obtained at 60% available water soil of depletion (mild stress). The application of mycorrhizae increased plant height, grain yield, chlorophyll *a* and *b*, water use efficiency, root colonization, seed phosphorus, seed mucilage, and oil seed content in cross all irrigation regimes. It has been reported that establishment a relationship of symbiotic AMF with roots of host plant, through spreading the hyphae and developing the root system, improves growth and provides more water for plants, which finally this ability leads to the yield, root colonization and water use efficiency. Inoculated and non-inoculated *L .royleana* had the greatest resistance to different levels of irrigation regimes and mycorrhizal treatments than *L. iberica*. It has been reported that *L. royleana* was more tolerant to water deficit in compared to *L. iberica* Also the results showed that the highest root colonization was in *L. royleana* species which was grown under different levels of irrigation regimes and mycorrhizal treatments.

Conclusion

In general in this research, it can be concluded that under water deficit stress conditions, water deficit stress damages can be reduced in both species of *Lallemantia* with careful irrigation management (using an irrigation regime of 60% available water soil of depletion) and application of mycorrhizae.

Keyword: Drought stress, Grain yield, Root colonization, Seed phosphorous, Water use efficiency.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

واکنش بالنگو شهری (*Lallemantia iberica*) و شیرازی (*Lallemantia royleana*) تلقیح شده به قارچ مایکوریزا در رژیم‌های متفاوت آبیاری

آرزو پراور[۱]، سعیده ملکی فراهانی[۲*] و علیرضا رضازاده[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۴

پراور، آ.، ملکی فراهانی، س.، و رضازاده، ع.، ۱۴۰۱. واکنش بالنگو شهری (*Lallemantia iberica*) و شیرازی (*Lallemantia royleana*) تلقیح‌شده به قارچ مایکوریزا در رژیم‌های متفاوت آبیاری. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۴): ۷۵۰-۷۳۱.

چکیده

هدف از این مطالعه، بررسی واکنش بالنگو شهری (*Lallemantia iberica*) و شیرازی (*Lallemantia royleana*) تلقیح شده به قارچ مایکوریزا در رژیم‌های متفاوت آبیاری بود. آزمایش به‌صورت اسپیلت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اصلی، رژیم آبیاری در سه سطح (آبیاری پس از ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک) و ترکیب فاکتوریل قارچ آربوسکولار مایکوریزا (کاربرد و عدم کاربرد) و گونه گیاهی بالنگو (بالنگو شهری (*L. iberica*) و بالنگو شیرازی (*L. royleana*) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. کم آبیاری در هر دوگونه باعث کاهش ویژگی‌های رشدی و محتوای کلروفیل، عملکرد دانه، کارایی مصرف آب، کلونیزاسیون ریشه و فسفر بذر، موسیلاژ بذر و محتوی روغن بذر شد؛ به‌طوری‌که کمترین این صفات در تیمار ۹۰ درصد تخلیه آب به‌دست آمد، امّا کاربرد مایکوریزا تأثیر مثبت بر روی این صفات در هر دو گونه گذاشت. در گیاهان تلقیح شده هر دو گونه، میانگین صفاتی چون عملکرد دانه، کلونیزاسیون ریشه، کارایی مصرف آب، فسفر بذر، موسیلاژ بذر و محتوی روغن بذر در تیمار آبیاری پس از ۶۰ درصد تخلیه آب، بیشتر از سایر تیمارهای آبیاری بود. درصد کاهش عملکرد دانه در گونه شهری در پاسخ به محدودیت آب، بیشتر از بالنگوی شیرازی بود، امّا در گونه شیرازی به‌خصوص پس از کاربرد قارچ مایکوریزا نه تنها عملکرد دانه کاهش نیافت، بلکه میزان کلونیزاسیون و کارایی مصرف آب، نیز افزایش یافت. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که کاربرد قارچ مایکوریزا می‌تواند اثرات منفی تنش کم آبی را بر عملکرد بالنگو شهری و شیرازی کاهش دهد و سبب بهبود رشد و عملکرد آن‌ها شود.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، عملکرد دانه، فسفر بذر، کارایی مصرف آب، کلونیزاسیون ریشه

مقدمه

بالنگو (*Lallemanti sp*) یکی از گیاهان ارزشمند خانواده نعناعیان می‌باشد که دارای پنج گونه *L. peltata*، *L.canescens*، *L.baldshuanica*، *L. royleana*، *L. iberica* است، که از دیر باز در طب سنتی ایران مورد استفاده قرار گرفته است (Abdollah & Maleki Farahani 2019). بالنگو شهری (*Lallemantia iberica*) و شیرازی (*Lallrmantia royleana*) به‌دلیل موسیلاژ فراوانی که

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران.
۲- استادیار، گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد، تهران، ایران.
۳- استادیار، گروه گیاه پزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد، تهران، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: maleki@shahed.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2021.67929.1006

دارند در درمان اختلالات گوناگون نظیر اختلالات کبدی و بیماری‌های کلیوی کاربرد دارند و با توجه به بالا بودن میزان روغن آن، در صنایع چرم‌سازی، رنگ‌سازی، روان‌کننده و تهیه صابون نیز استفاده می‌شود (Al-Sanfi. 2019a,bZlantov et al., 2012 ;). بنابراین، با در نظر گرفتن خواص دارویی و صنعتی، گونه‌های بالنگو به‌عنوان گیاهی چند منظوره معرفی می‌شوند و امروزه کشت گونه‌های بالنگو شهری و شیرازی به‌دلیل محتوای روغن بالا (۳۰- ۴۵ درصد) و اسید چرب امگا سه بسیار قابل توجه است (Paravar et al., 2021a).

کمبود آب یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر رشد و تولیدات گیاهی است که می‌تواند تنش خشکی را برای گیاهان ایجاد کند (Mohammadi et al., 2018). تنش خشکی ناشی از کمبود آب می‌تواند منجر به بسته شدن روزنه‌های گیاهان، کاهش فعالیت‌های فتوسنتزی، تغییرات در محتوای کلروفیل، آسیب در دستگاه فتوسنتزی، مهار فتوشیمیایی و کاهش رشد و عملکرد محصول شود (Attarzadeh et al., 2019Ebrahimian et al., 2019 ;). یکی از مهم‌ترین عوامل به‌منظور برنامه‌ریزی مصرف آب، توجه به کارایی مصرف آب یا مقدار تولید ماده خشک در واحد مصرف آب است. به‌طور نسبی، در شرایط زراعی، بهبود کارایی مصرف آب، اثرات ناشی از کمبود آب را تعدیل می کند (Askari Abbaspour et al., 2012 ; et al., 2019). گزارش شده است، تنش خشکی باعث کاهش عملکرد و کارایی مصرف آب بالنگو شهری و شیرازی به‌دلیل کاهش رشد و توسعه سلولی (Abdollahi & Paravar et al., 2018; Maleki Frahani et al, 2019). کاهش کارایی مصرف آب و عملکرد دانه کنجد (*Sesamum indicum L.*) (Askari et al., 2019) و کاهش رشد ریشه و کلونیزاسیون ریشه در رزماری (*Rosmarinus officinalis L.*) و آویشن (*Thymus volgaris L.*) (Pirzad & Mohammadzadeh, 2018) شده است.

امروزه برای مقابله با خشکی به‌جای استفاده از استراتژی‌های پرهزینه تغییر تقویم‌های کشت محصول و توسعه ارقام متحمل به خشکی، به کاربرد کودهای زیستی اشاره شده است. در مطالعات انجام شده، استفاده از کودهای زیستی حاوی قارچ مایکوریزا برای تعدیل اثرات تنش خشکی پیشنهاد شده است (Bonfante & Genre, 2010). نتایج تحقیقات نشان داده است که قارچ‌های مایکوریزا قادر هستند اثرات نامطلوب تنش خشکی را در گیاهان تعدیل نمایند (Plouznikoff et al., 2019). قارچ مایکوریزا آرباسکولار برای جذب کربن با ریشه‌های گیاه میزبان رابطه همزیستی برقرار می‌کند، زیرا کربن باعث رشد آن‌ها شده و چرخه زندگی قارچ را نیز تکمیل می‌نماید و در عوض، قارچ مایکوریزا به افزایش رشد و عملکرد گیاه میزبان کمک کرده و با بهبود ساختار خاک و افزایش کلونیزاسیون ریشه، جذب عناصر معدنی و آب را افزایش می‌دهد (Pawar et al., ; Pirzad & Mohammadzadeh 20182018). گزارش شده است، در شرایط تنش خشکی کاربرد قارچ مایکوریزا باعث تغییر در سطح بعضی هورمون‌ها مثل آبسزیک اسید، جذب مستقیم آب توسط هیف‌های قارچ در خاک و انتقال آن به گیاه میزبان، افزایش تبادلات گازی برگ و میزان فتوسنتز، آسیمیلاسیون نیترات و فسفر، افزایش هدایت الکترولیکی برگ، فعالیت فتوسنتزی، تنظیم اسمزی و تغییر در انعطاف‌پذیری غشای سلولی شده است (Langeroodi et al., 2020). گزارش شده است، تلقیح با مایکوریزا منجر به افزایش عملکرد دانه و کلونیزاسیون ریشه آویشن و رزماری در رژیم‌های متفاوت آبیاری شد (Pirzad & Mohammadzadeh, 2018).

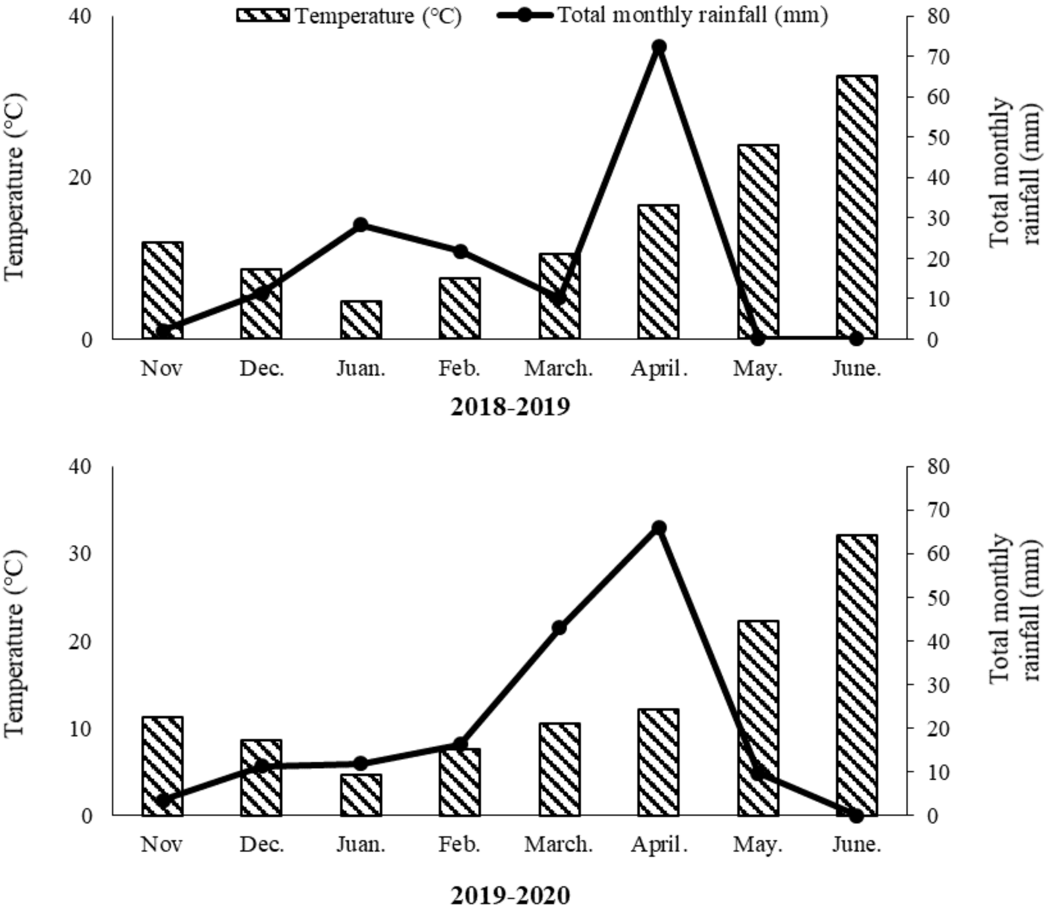
باتوجه به اینکه مدیریت تغذیه گیاهی در جهت افزایش عملکرد، پایداری تولید و حفظ محیط زیست است، این مطالعه فرض می‌کند که تلقیح قارچ مایکوریزا می‌تواند یک روش مؤثر به‌منظور کاهش اثرات مخرب تنش خشکی و حفظ عملکرد و کیفیت محصول در بالنگو باشد. بنابراین، هدف از این مطالعه، بررسی واکنش بالنگو شهری و شیرازی تلقیح شده با قارچ مایکوریزا در شرایط کم آبیاری است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت مزرعه‌ای در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۸ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه شرقی، ارتفاع ۱۹۰ متر از سطح دریا در دو سال زراعی ۱۳۹۸- ۱۳۹۷ اجرا گردید. نمونه‌های خاک از پنج نقطه تصادفی از عمق‌های صفر تا ۳۰ سانتی‌متر تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ و اطلاعات مربوط به میانگین دما و بارش در طول دوره رشد در شکل ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک برای سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷.
Table 1- Physico-chemical properties of soil for the 2018 and 2019 growing seasons.

سال Year	بافت Texture	نیتروژن N (%)	آهن Fe (mg.kg-1)	فسفر P (mg.kg-1)	پتاسیم K (mg.kg-1)	هدایت الکتریکی EC (dS.m-1)	اسیدیته خاک pH
2018	لومی	0.11	12	8.52	376.00	4.23	7.09
2019	لومی	0.05	14.27	8.78	382.82	4.12	7.39



شکل ۱- بارش کل و متوسط دمای ماهانه در سال زراعی ۱۳۹۸- ۱۳۹۷
Fig. 1- Total rainfall and average monthly air temperature in the 2018 and 2019 growing seasons

مشخصات آماری و اجرای طرح

به‌منظور بررسی واکنش بالنگو شهری (*Lallemantia iberica*) و شیرازی (*Lallemantia royleana*) تلقیح شده با قـارچ مـایکوریزا در رژیم‌هـای متفـاوت آبیـاری، آزمایشـی بـه‌صـورت اسـپیلت پـلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سـه تکـرار اجـرا شد. تیمارهای عامل اصلی شامل سه رژیم آبیاری (آبیاری پـس از ۳۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده (شاهد)، آبیاری پس از ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک (تـنش متوسـط) و آبیـاری پـس از ۹۰ درصـد تخلیه آب قابل استفاده خاک (تنش شدید)) بود. ترکیب فاکتوریل کود (کاربرد و عدم کاربرد قـارچ مـایکوریزا) گونـه گیـاهی بـالنگو (بـالنگو شهری (*Lallemantia iberica*) و بالنگو شـیرازی (*Lallemantia royleana*)) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شـد. مایـه تلقیحـی قارچ‌های آربوسکولار (ترکیب سه گونـه قـارچ *Claroideoglomus etunicatum*، *Funneliformis mossea* و *Rhizophagus intraradices*) حاوی مخلوطی از ریشه گیاه سورگوم، خاک، هیف و اسپور (۱۰۰-۲۰۰ اسپور در هر گرم) بود کـه از کلکسـیون میکروبـی

مؤسسه آب و خاک کرج، تهیه شد (Schenk & Perez, 1990). قارچ‌های مایکوریزا به‌مقدار ۲۰ گرم در متر طولی و قبل از کاشت بذر با ایجاد شیار در کنار خطوط کاشت و دو سانتی‌متر پایین‌تر از محل استقرار بذر قرار گرفتند (Pirzad & Mohammadzadeh, 2018). بذرهای بالنگو شهری و شیرازی به‌ترتیب از مرکز تحقیقات شهرستان سلماس در آذربایجان غربی و شهرستان کلات در مشهد تهیه گردید. ابعاد هر کرت آزمایشی چهار مترمربع (طول دو متر × عرض دو متر)، فاصله بین کرت‌ها یک متر (برای جلوگیری از عمل تداخل و آلودگی قارچ‌ها یک متر به‌صورت نکاشت به‌عنوان محافظ بین کرت‌ها قرار گرفت. فاصله بین تیمارهای اصلی دو متر (برای جلوگیری از نفوذ آب در تنش کم آبی بین کرت‌های اصلی) در نظر گرفته شد. فاصله بین بوته‌ها پنج سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر بود (Abdollahi & Maleki Farahani, 2019). به‌ترتیب در ۱۵ و ۲۳ آبان‌ماه در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ کشت انجام شد. بعد از استقرار گیاهان (در مرحله هشت برگی) تیمارهای خشکی نیز اعمال شدند (Abdolahi & Maleki Farahani, 2019). در طول آزمایش مراحل داشت مثل وجین و تنک بر حسب نیاز اعمال شد.

جهت اعمال رژیم‌های آبیاری، مقادیر رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت زراعی (۲۰/۸۶ درصد) و پژمردگی دائم (۱۰/۸۱ درصد) با استفاده از صفحات فشاری در گروه علوم خاک دانشگاه صنعتی اصفهان اندازه‌گیری شد. زمان‌های آبیاری مزرعه با اندازه‌گیری رطوبت خاک به‌روش وزنی از طریق نمونه‌گیری در یک نوبت در وسط هر روز از عمق توسعه ریشه در تیمارهای مختلف و رسیدن به رطوبت مورد نظر تعیین شد. میزان آب آبیاری برای هر کرت با در نظر گرفتن عمق توسعه ریشه (۳۰ سانتی‌متر)، مساحت کرت و رطوبت ظرفیت زراعی خاک بر حسب مترمکعب محاسبه شد (جدول ۲) (Mohammadi et al., 2018Xu et al., 2018;). آبیاری به‌صورت جوی و پشته انجام شد و انتهای کرت‌ها برای جلوگیری از خروج آب به‌طور کامل بسته شد. مقدار آب لازم برای هر تیمار با استفاده از کنتور که در مزرعه نصب گردید، اندازه‌گیری شد (Abdollahi & Maleki Farahani, 2019).

جدول ۲- تعداد آبیاری و مقدار کل آبیاری اعمال شده هر تیمار آبیاری به کرت‌های گونه‌های گیاهی بعد از شروع رژیم آبیاری

Table 2- Irrigations number and amount of water applied per irrigation treatments to *Lallemantia* species plots after starting water regimes

گونه گیاهی Plant species	رژیم آبیاری Irrigation regime	تعداد آبیاری Number of irrigation	مقدار کل آبیاری اعمال شده Total amount of applied water (m^3)
بالنگو شهری *L. iberica*	30%	18	0.652
	60%	11	0.794
	90%	8	0.864
بالنگو شیرازی *L. royleana*	30%	15	0.543
	60%	9	0.650
	90%	7	0.756

پس از اعمال تیمارهای آبیاری در مرحله گل‌دهی (۱۴ فروردین ۱۳۹۷ و ۱۷ فروردین ۱۳۹۸)، سه بوته به‌صورت تصادفی از هرکرت انتخاب شده و میزان محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی اندازه‌گیری شد (Arnon, 1949). با در نظر گرفتن اثر حاشیه در مرحله برداشت، پنج گیاه به‌صورت تصادفی از هر کرت انتخاب شده و ارتفاع گیاه با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. برای تعیین میزان کلونیزاسیون ریشه، ابتدا ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده در سطح پتری دیش‌هایی که دارای شبکه‌های مربعی هستند، پخش گردید و زیر بینی‌کولار مشاهده شدند و تعداد تقاطع‌های آن‌ها با خطوط عمودی و افقی تعیین شد. از بین این برخوردها آن‌هایی که با بخش کلونیزه شده ریشه تقاطع داشتند نیز به‌طور جداگانه شمارش شدند و به‌صورت کسری از کل تقاطعات به‌دست آمدند. چنانچه این کسر در ۱۰۰ ضرب شود، میزان کلونیزاسیون ریشه به‌صورت درصد به‌دست می‌آید (Kormanik & McGraw, 1982). برای تعیین عملکرد نهایی دانه پس از حذف اثر حاشیه‌ای، کل بوته‌های هر کرت کف‌بر شده و پس از کوبیدن، دانه‌ها جدا و برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. مقدار کارایی مصرف آب در پایان دوره رشد از طریق عملکرد دانه به‌دست آمده به آب مصرف شده محاسبه شد (Askari et al., 2019). تجزیه فیزیکوشیمیایی لازم جهت تعیین مقدار فسفر انجام شد. جهت تعیین درصد فسفر در بذرهای بالنگو شهری و شیرازی از روش هضم در

بالن ژوژه با اسید سولفوریک، اسید سالیسلیک و آب اکسیژنه استفاده گردید. پس از تهیه عصاره، با روش نورسنجی و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر ($Lambda_{25}$، Perkin Elmer، USA) میزان فسفر بذر اندازه‌گیری شد (Stuffins, 1967). جهت اندازه‌گیری موسیلاژ بذر، یک گرم بذر خشک با ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک یک درصد نرمال تا تغییر رنگ پوسته بذر حرارت داده شد. محلول موسیلاژی حاصل جدا گردید و بذرها دو بار با پنج میلی‌لیتر آب جوش شستشو داده شدند و محلول‌های حاصل به محلول موسیلاژ اولیه اضافه گردید. با افزودن ۶۰ میلی‌لیتر الکل اتیلیک ۹۶ درصد به محلول مذکور و قرار دادن آن به‌مدت پنج ساعت در یخچال رسوب موسیلاژی به‌دست آمد، که پس از صاف کردن، در آون در درجه حرارت ۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۲ ساعت قرار گرفت و سپس توزین گردید و مقدار موسیلاژ بر حسب گرم در هر گرم بذر تعیین و به‌صورت درصد ثبت شد (Sharma & Koul, 1986). محتوی روغن دانه، از روش استخراج با حلال آلی هگزان و با استفاده از دستگاه سوکسله مدل SOX4060 اندازه‌گیری شد (Visavadiya et al., 2009). پس از انجام آزمون بارتلت و اطمینان از همگنی واریانس خطا تجزیه مرکب برای هر دو سال زراعی انجام شد. تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.3.1 و مقایسات میانگین با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر رژیم آبیاری، کود و گونه گیاهی، رژیم آبیاری × کود، رژیم آبیاری × گونه گیاهی، رژیم آبیاری × کود × گونه گیاهی بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که میزان عملکرد دانه در هر دو گونه بالنگو با کم شدن مقدار رطوبت موجود در خاک کاهش یافت و بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه در رژیم‌های آبیاری ۶۰ و ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک مشاهده شد (شکل ۲). با کاهش مقدار رطوبت در داخل خاک، انتقال مواد غذایی از منبع به مخزن کاهش می‌یابد که در نتیجه، این کاهش می‌تواند تأثیری منفی بر رشد و عملکرد گیاه داشته باشد (Pawar et al., 2018). گیاهان تلقیح شده با قارچ مایکوریزا بیشترین میزان عملکرد دانه را در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده داشت (شکل ۲). گزارش شده است، قارچ مایکوریزا با افزایش همزیستی با ریشه گیاه سرخارگل (*Echinacea angustifolia L.*) سبب بهبود و افزایش محتوای کلروفیل و فعالیت فتوسنتزی شده که در نتیجه، تأثیری مثبت و افزایشی بر عملکرد دانه دارد (Attarzadeh et al., 2020). بالنگو شهری در مقایسه با بالنگو شیرازی بالاترین میزان عملکرد دانه در هر رژیم آبیاری و کودی داشت. در رژیم آبیاری ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک، میزان عملکرد دانه بالنگو شهری و شیرازی تلقیح شده به‌ترتیب ۸ و ۲۸ درصد در مقایسه به گیاهان تلقیح نشده در شرایط آبیاری نرمال افزایش یافت (شکل ۲). نتایج عبدالهی و ملکی فراهانی (Abdollahi & Maleki Farahani, 2019) بر روی بالنگو شهری و شیرازی نشان داد که با افزایش تنش خشکی میزان عملکرد دانه کاهش یافت و همچنین یادآور شدند که عملکرد دانه در بالنگو شهری به‌دلیل بالاتر بودن وزن هزار دانه و بیشتر بودن تعداد دانه در فندقه و تعداد فندقه در بوته بیشتر از بالنگو شیرازی است.

نتایج تجزیه مرکب معنی‌دار بودن اثر رژیم آبیاری، کود و گونه گیاهی، رژیم آبیاری × کود، رژیم آبیاری × گونه گیاهی، رژیم آبیاری × کود × گونه گیاهی بر ارتفاع بوته را نشان داد (جدول ۳). با افزایش شدت تنش خشکی میزان ارتفاع بوته هر دو گونه بالنگو کاهش یافت. کمترین مقدار ارتفاع بوته در بالنگو شهری در رژیم آبیاری ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک مشاهده شد، درحالی‌که در بالنگو شیرازی در رژیم آبیاری ۶۰ و ۹۰ مشاهده شد (شکل ۳). کاهش ارتفاع بوته بالنگو شهری و شیرازی با افزایش تنش خشکی گزارش شده است (Abdollahi &Maleki Farahani, 2019). گونه‌های تلقیح شده بالنگو بیشترین ارتفاع بوته را در مقایسه به گیاهان تلقیح نشده داشتند. نتایج مطالعاتی عسگری و همکاران (Askari et al., 2018) و قلی‌نژاد و همکاران (Gholinezhad et al., 2020) بر روی کنجد (*Sesamum indicum* L.) بیانگر آن است که تلقیح قارچ مایکوریزا سبب افزایش ارتفاع بوته می‌شود و نشان دادند، همزیستی قارچ مایکوریزا با ریشه کنجد از طریق جذب آب و عناصر غذایی، سبب افزایش فتوسنتز و تولید فرآورده‌های فتوسنتزی بیشتر و بهبود رشد، نظیر ارتفاع گیاه می‌گردد. در مقایسه بین دو گونه گیاهی، بالنگو شهری بیشترین ارتفاع را در رژیم‌های متفاوت آبیاری و کودی داشت (شکل ۳). بیشترین ارتفاع بالنگو شهری (۱۰۴/۸۲ سانتی‌متر) و بالنگو شیرازی (۸۲/۶۱ سانتی‌متر) رشد یافته در شرایط تلقیح قارچ مایکوریزا در رژیم آبیاری ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک مشاهده شد (شکل ۳). کاهش ارتفاع بوته در بالنگو شهری و شیرازی در اثر تنش

خشکی گزارش شده است (Abdollahi & Maleki Farahani, 2019). پیشنهاد شده است که رشد کم، یک حالت سازگارکننده برای زنده ماندن گیاه در شرایط تنش است (Mohammadi et al., 2019)، به این دلیل که گیاه، مواد غذایی و انرژی را به‌جای استفاده برای رشد شاخساره به‌سمت مولکول‌های نگه‌دارنده اسید آمینه‌ای از جمله پرولین در برابر تنش هدایت می‌کند (Khalid, 2006).

نتایج تجزیه مرکب معنی‌دار بودن اثر رژیم آبیاری، کود و گونه گیاهی، رژیم آبیاری × گونه گیاهی، کود × گونه گیاهی و اثر رژیم آبیاری × کود × گونه گیاهی بر کلونیزاسیون ریشه را نشان داد (جدول ۳). مشاهده شد که افزایش شدت تنش خشکی مقدار کلونیزاسیون ریشه را کاهش داد و بیشترین و کمترین مقدار کلونیزاسیون را هر دو گونه بالنگو به‌ترتیب در رژیم آبیاری ۶۰ و ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک داشت (شکل ۵). این نتایج مطابق با یافته‌های پیرزاد و محمدزاده (Pirzad & Mohammadzadeh, 2018) بر روی آویشن و رزماری است که گزارش کردند که کمبود شدید آب در خاک باعث کاهش رشد و کلونیزاسیون ریشه شد و نشان دادند که کاهش کلونیزاسیون ریشه در شرایط تنش خشکی را می‌توان به‌دلیل کاهش توانایی جوانه‌زنی اسپورها در خاک دانست چون‌که اسپورها زنده هستند و برای جوانه‌زنی‌شان نیاز به رطوبت و کربن دارند. کاربرد قارچ مایکوریزا تأثیر مثبت و افزایشی بر کلونیزاسیون ریشه در شرایط تنش خشکی داشت. گزارشاتی مبنی بر افزایش کلونیزاسیون ریشه در گندم (*Triticum aestivum* L.) (Mathur et al., 2019) و نخودفرنگی (*Pisum sativum* L) (Hashem et al., 2019) تلقیح شده با قارچ مایکوریزا گزارش شده است. بیشترین میزان کلونیزاسیون بالنگو شهری و شیرازی تلقیح شده به‌ترتیب به‌میزان ۸۵/۳۸ و ۶۶/۲۴ درصد در رژیم آبیاری ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک بود و کمترین میزان کلونیزاسیون در گونه‌های تلقیح نشده بالنگو شهری و شیرازی در رژیم آبیاری ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک مشاهده شد (شکل ۵). گیاهان تلقیح شده نسبت به گیاهان تلقیح نشده آب را از خاک سریع‌تر و کامل تر تخلیه می‌کنند و باعث می‌شوند که پتانسیل آب خاک کاهش بیشتری پیدا کرده، به همین منظور سطح برگ‌ها افزایش یافته که این خود باعث افزایش نیاز تعرق گیاهان مایکوریزایی شده و از طرف دیگر، سیستم ریشه‌ای در گیاهان مایکوریزایی توسعه بیشتری یافته است. همه این عوامل باعث می‌شود که رشد ریشه مایکوریزایی سطح تماس بیشتری با خاک پیدا کند و بدین صورت سریع‌تر آب را از خاک جذب نماید (Mathur et al., 2019). بالنگو شیرازی تلقیح شده در مقایسه به بالنگو شهری بیشترین مقدار کلونیزاسیون ریشه را داشت (شکل ۵). با توجه به بالاتر بودن میزان موسیلاژ بالنگو شیرازی نسبت به بالنگو شهری (Paravar et al., 2021a)، و به‌دلیل اینکه موسیلاژ از کربن‌های بسیاری نیز ساخته شده است (Bhatt et al., 2019)، احتمالاً این شرایط تأثیر به‌سزایی برای استعمار بیشتر ریشه توسط قارچ‌های مایکوریزا برای جذب کربن از بالنگو شیرازی داشته است.

نتایج معنی‌دار بودن اثر رژیم آبیاری و گونه گیاهی، رژیم آبیاری × گونه گیاهی و اثر رژیم آبیاری × کود × گونه گیاهی بر کارایی مصرف آب را نشان داد (جدول ۳). مشاهده شد که در هر دو گونه بالنگو، با افزایش تخلیه آب، مقدار کارایی مصرف آب کاهش یافت، این نتایج هم‌راستا با مطالعات صورت گرفته بر روی آفتاب‌گردان (Karam et al., 2007) و کنجد (Askari et al., 2019) است. با توجه به جدول ۲ مشاهده شد که در رژیم آبیاری ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک، تعداد دفعات آبیاری کمتر بوده و مقدار آب در هر دوره آبیاری بیشتر بوده است، لذا مقدار کل آب مصرفی بیشتر از تیمارهای دیگر بوده است. به این ترتیب کارایی مصرف آب در رژیم آبیاری ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک کاهش یافت (شکل ۶). با توجه به نتایج مشاهده شد که بیشترین و کمترین مقدار کارایی مصرف آب در رژیم آبیاری ۶۰ و ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک بود. گزارش کردند که دلیل افزایش کارایی مصرف آب در تنش متوسط به‌دلیل بسته شدن جزئی روزنه‌ها و کاهش تعرق کارایی مصرف آب افزایش یافته، امّا در مقابل در شرایط تنش شدید به‌دلیل بسته شدن کامل روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز و عملکرد، کارایی مصرف آب کاهش یافته است (Soared et al., 2021).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) واکنش بالنگو شهری و شیرازی تلقیح شده با قارچ مایکوریزا در رژیم‌های متفاوت در آبیاری

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of *L. iberica* and *L. royleana* inoculated by mycorrhiza inoculated by mycorrhiza in different irrigation regimes

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	عملکرد دانه Grain yield	ارتفاع بوته Plant height	کلونیزاسیون ریشه Root colonization	کارایی مصرف آب Water use efficiency
سال Y	1	1092.002$^{n.s}$	1.393522$^{n.s}$	2.16555$^{n.s}$	0.000305$^{n.s}$
بلوک (سال) Block (Y)	4	5158.604	6.612203	0.82901	0.001279
رژیم آبیاری IR	2	882527.301**	904.986925**	1092.92526**	0.846514**
سال × رژیم آبیاری Y×IR	2	166.851$^{n.s}$	0.113499n.s	0.36616$^{n.s}$	0.000039$^{n.s}$
بلوک (سال × رژیم آبیاری) Block (Y×IR)	8	7096.367	28.347961	5.33121	0.00161
قارچ مایکوریزا M	1	527980.88**	4941.560652**	3547.05192**	0.000379$^{n.s}$
گونه گیاهی PS	1	7315312.5**	2589.000868**	32691.93239**	2.28125**
سال × قارچ مایکوریزا M×Y	1	322.58$^{n.s}$	1.096022$^{n.s}$	0.01617$^{n.s}$	0.000194$^{n.s}$
سال × گونه گیاهی Y×PS	1	392$^{n.s}$	15.079201n.s	0.04381$^{n.s}$	0.000125$^{n.s}$
رژیم آبیاری × قارچ مایکوریزا IR×M	2	89776.101**	84.980907**	5.32429$^{n.s}$	0.007102*
رژیم آبیاری × گونه گیاهی IR×PS	2	1016688.67**	96.319456**	466.92543**	0.397778**
کود × گونه گیاهی M×P	1	32$^{n.s}$	13.390313$^{n.s}$	752.52361**	0.005201$^{n.s}$
رژیم آبیاری قارچ مایکوریزا × گونه گیاهی IR×M×PS	2	98328.643**	176.641817**	55.97317**	0.033812**
سال × رژیم آبیاری × قارچ مایکوریزا M×IR×Y	2	95.408$^{n.s}$	6.439055$^{n.s}$	0.18689$^{n.s}$	0.00003$^{n.s}$
سال × رژیم آبیاری × گونه گیاهی Y×IR×PS	2	194.526$^{n.s}$	3.383345$^{n.s}$	0.02555$^{n.s}$	0.000049$^{n.s}$
سال × قارچ مایکوریزا × گونه گیاهی PS×M×Y	1	88.889$^{n.s}$	1.459201$^{n.s}$	0.01151$^{n.s}$	0.000142$^{n.s}$
سال × رژیم آبیاری × قارچ مایکوریزا × گونه گیاهی PS× M× Y×IR	2	150.984$^{n.s}$	2.775428$^{n.s}$	0.43659$^{n.s}$	0.000054$^{n.s}$
خطا Error	36	6013.59	11.11	2.81	0.001
ضریب تغییرات C.V (%)		7.62	4.1	3.79	6.47

*، ** و n.s: به‌ترتب معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

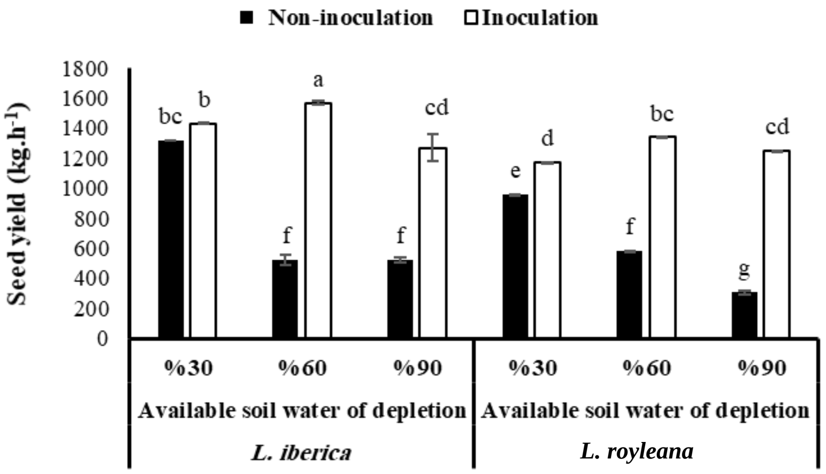
جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) واکنش بالنگو شهری و شیرازی تلقیح شده با قارچ مایکوریزا در رژیم‌های متفاوت در آبیاری

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of *L. iberica* and *L. royleana* inoculated by mycorrhiza inoculated by mycorrhiza in different irrigation regimes

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	فسفر بذر Seed P	موسیلاژ بذر Seed mucilage	محتوی روغن بذر Seed oil content
سال Y	1	0.041718$^{n.s}$	1.61101$^{n.s}$	2.16555$^{n.s}$	0.29n.s	0.2$^{n.s}$
بلوک (سال) Block (Y)	4	1.645478	0.74979	0.82901	2.11	0.47
رژیم آبیاری IR	2	90.575579**	497.70638**	1092.92526**	1460**	19.3**
سال×رژیم آبیاری Y×IR	2	0.056381$^{n.s}$	1.69915$^{n.s}$	0.36616$^{n.s}$	0.05$^{n.s}$	0.84$^{n.s}$
بلوک (سال × رژیم آبیاری) Block (Y×IR)	8	1.705003	3.46631	5.33121	1.27	0.59
قارچ مایکوریزا M	1	85.148265**	10775.85401**	3547.05192**	7144.11**	2199.12**
گونه گیاهی PS	1	136.922144**	2101.14031**	32691.93239**	854.43**	130.02**
سال × قارچ مایکوریزا M×Y	1	0.506459$^{n.s}$	0.6479$^{n.s}$	0.01617$^{n.s}$	0.15$^{n.s}$	0.02$^{n.s}$
سال × گونه گیاهی Y×PS	1	0.079298$^{n.s}$	0.3542$^{n.s}$	0.04381$^{n.s}$	0.01$^{n.s}$	0.4$^{n.s}$
رژیم آبیاری × قارچ مایکوریزا IR×M	2	64.987621**	21.1154**	5.32429$^{n.s}$	616.62**	0.67$^{n.s}$
رژیم آبیاری × گونه گیاهی IR×PS	2	149.783283**	1061.97325**	466.92543**	135.5**	4.52**
کود × گونه گیاهی M×P	1	275.997204**	328.74753**	752.52361**	70.31**	11.85**
رژیم آبیاری × قارچ مایکوریزا × گونه گیاهی IR×M×PS	2	143.640445**	30.75089**	55.97317**	67.04**	5.02**
سال × رژیم آبیاری × قارچ مایکوریزا M×IR×Y	2	0.029509$^{n.s}$	0.83929$^{n.s}$	0.18689$^{n.s}$	0.099$^{n.s}$	0.3$^{n.s}$
سال × رژیم آبیاری × گونه گیاهی Y×IR×PS	2	0.105846$^{n.s}$	0.11714$^{n.s}$	0.02555$^{n.s}$	0.003$^{n.s}$	0.44$^{n.s}$
سال × قارچ مایکوریزا × گونه گیاهی Y×M×PS	1	0.1868$^{n.s}$	0.20587$^{n.s}$	0.01151$^{n.s}$	0.003$^{n.s}$	0.18$^{n.s}$
سال × رژیم آبیاری × قارچ مایکوریزا × گونه گیاهی IR× Y× M×PS	2	0.027616$^{n.s}$	0.40256$^{n.s}$	0.43659$^{n.s}$	0.02$^{n.s}$	0.28$^{n.s}$
خطا Error	36	0.84	3.73	2.81	1.04	0.31
ضریب تغییرات C.V (%)		5.69	2.81	3.79	6.3	2.25

*، ** و n.s: به‌ترتب معنی‌دار و غیر معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

ns, * and **: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

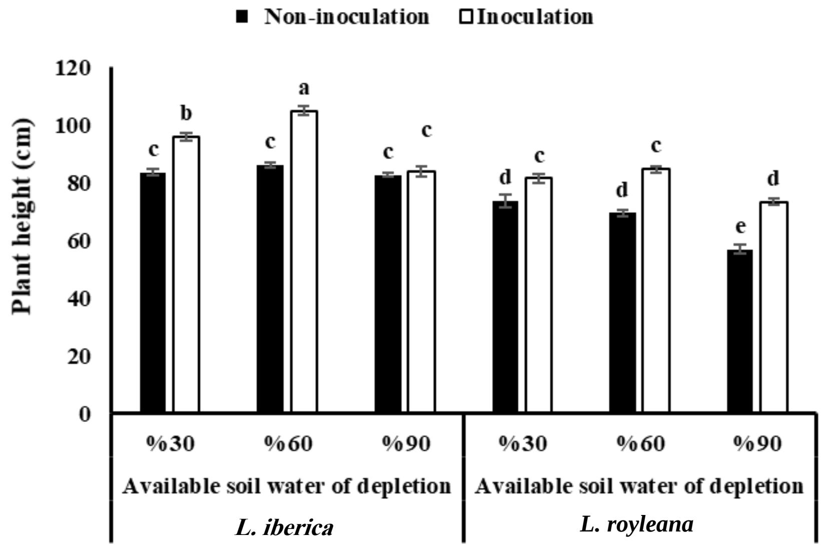


شکل ۲- تأثیر رژیم آبیاری و تلقیح قارچ مایکوریزا بر عملکرد دانه بالنگو شهری و شیرازی

Fig. 2-The effect of irrigation regimes and mycorrhizal fungi inoculation on seed yield of *L. iberica* and *L. roylean a*

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نمی‌باشد. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین می-باشد.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at α= 5% probability level, The bars indicate the standard error of the means.

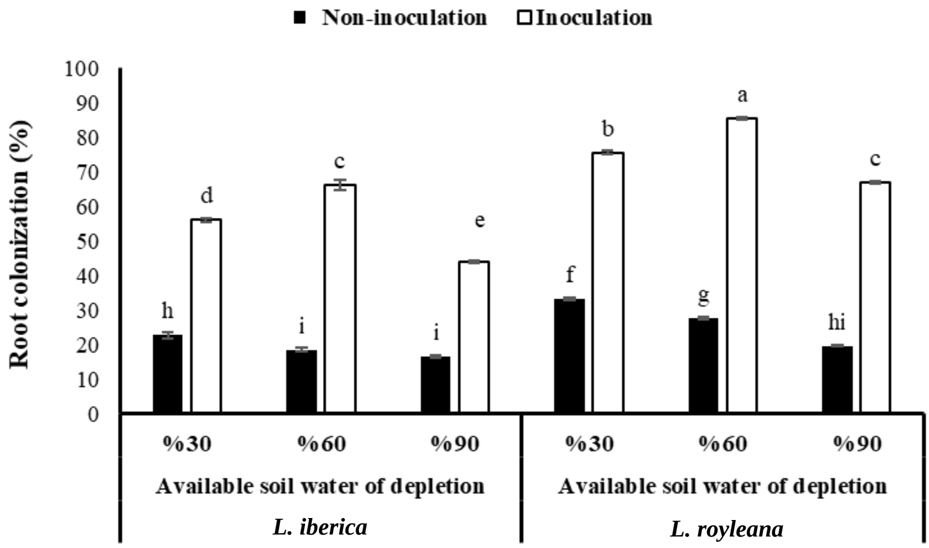


شکل ٤- تأثیر رژیم آبیاری و تلقیح قارچ مایکوری زا بر ارتفاع بوته بالنگو شهری و شیرازی

Fig. 4-The effect of irrigation regimes and mycorrhizal fungi inoculation on plant height of *L. iberica* and *L. royleana*

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نمی‌باشد. میله‌ها نشان دهنده خطای معیار میانگین می-باشد.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at α= 5% probability level, The bars indicate the standard error of the means.



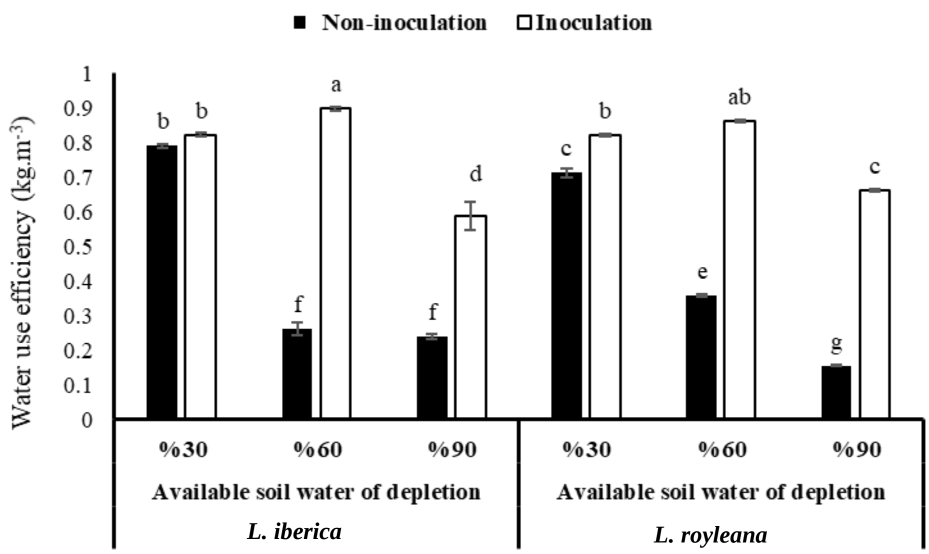
شکل ۵- تأثیر رژیم آبیاری و تلقیح قارچ مایکوریزا بر کلونیزاسیون ریشه بالنگو شهری و شیرازی

Fig. 5-The effect of irrigation regime and mycorrhizal fungi inoculation on root colonization of *L. iberica* and *L. royleana*

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نمی‌باشد. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین می‌باشد.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at α= 5% probability level, The bars indicate the standard error of the means.

تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش کارایی مصرف آب در تمامی تیمارهای آبیاری شد، به‌طوری‌که با کاربرد قارچ، کارایی مصرف آب در تیمار ۶۰ درصد در هر دو گونه بیشتر از شاهد ۳۰ درصد شد (شکل ۶). قارچ‌های مایکوریزا با توسعه سیستم ریشه گیاه میزبان کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهند (Farahani et al., 2013; Wu et al., 2019). میزان کارایی مصرف آب در بالنگو شهری از رژیم آبیاری ۳۰ تا ۶۰ درصد در مقایسه به بالنگو شیرازی بالاتر بود، امّا در رژیم آبیاری ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاد خاک مشاهده شد که مقاومت بالنگو شیرازی بیشتر بوده، در نتیجه کارایی مصرف بالاتری در مقایسه به بالنگو شهری داشت. بیشترین مقدار کارایی مصرف آب در هر دو گونه بالنگو تلقیح شده در رژیم آبیاری ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک مشاهده شد (شکل ۷). در شرایط تنش خشکی قارچ مایکوریزا برای حفظ انتقال آب، انرژی تولیدی خود را برای تولید آربوسکول‌ها اختصاص می‌دهد و در نتیجه، باعث بهبود کارایی مصرف آب می‌شود (Declerck et al., 2019). بنابراین، تلقیح با قارچ مایکوریزا نه تنها عملکرد و پارامترهای رشد و عملکرد هر دو گونه بالنگو را افزایش داد، بلکه سبب بیشتر شدن کارایی مصرف آب در تنش خشکی هم شد. از آنجا که در هر دو گونه پس از تلقیح با قارچ مایکوریزا میزان کارایی مصرف آب در تیمارهای آبیاری ۳۰ و ۶۰ درصد در یک سطح آماری قرار گرفتند، امّا در تیمار ۹۰ درصد گونه شیرازی کارایی مصرف آب بالاتری نسبت به گونه شهری نشان داد (شکل ۶)، می‌توان چنین بیان کرد که در این گونه در شرایط تنش خشکی کارایی قارچ مایکوریزا در تعدیل تنش خشکی بیشتر از بالنگو شهری است (Abdollahi & Maleki Farahani, 2019).



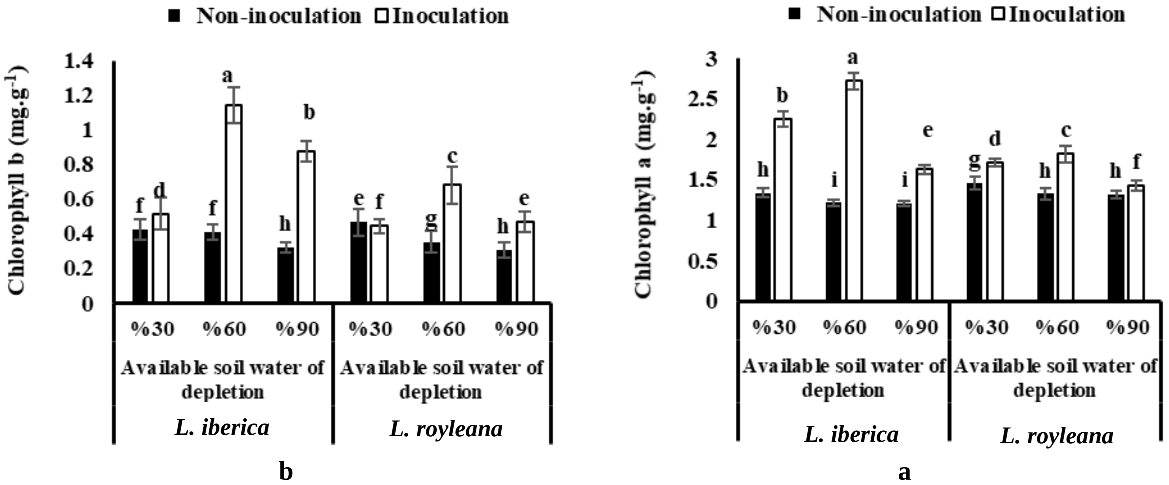
شکل ٦- تأثیر رژیم آبیاری و تلقیح قارچ مایکوریزا بر کارایی مصرف آب بالنگو شهری و شیرازی

Fig. 6-The effect of irrigation regime and mycorrhizal fungi inoculation on water use efficiency of *L. iberica* and *L. royleana*

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نمی‌باشد. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین می‌باشد.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at α= 5% probability level, The bars indicate the standard error of the means.

مشاهده شد که اثر رژیم آبیاری، کود و گونه گیاهی، رژیم آبیاری × کود، رژیم آبیاری × گونه گیاهی، کود × گونه گیاهی و اثر رژیم آبیاری × کود × گونه گیاهی بر محتوای کلروفیل a و b معنی‌دار بود (جدول ۴). مشاهده شد که محتوای کلروفیل a و b هر دو گونه بالنگو تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت و بیشترین و کمترین محتوای کلروفیل a و b به‌ترتیب در رژیم آبیاری ۶۰ و ۹۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک مشاهده شد (شکل ۷b و ۷a). عبدالهی و ملکی فراهانی (Abdollahi & Maleki Farahani, 2019) گزارش کردند که کاهش شدی مقدار آب آبیاری، باعث کاهش میزان محتوای فتسونتزی کلروفیل بالنگو شهری و شیرازی شد و بیان کردند که کاهش میزان محتوای کلروفیل در شرایط تنش خشکی ، احتمالاً به‌دلیل افزایش تخریب رنگیزه‌ها و یا کاهش ساخت آن‌ها و همچنین اختلال در فعالیت آنزیم‌های مسئول سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی مانند آنزیم کروفیلاز و پراکسیداز است (Chen et al., 2017). گزارش شده است که تنش خشکی به‌دلیل تأثیر در بسته شدن روزنه-ها و در نتیجه، کاهش دسترسی به CO_2 در مزوفیل باعث کاهش فتوسنتز گیاه می‌شود (Khosrowshahi et al., 2018). همزیستی ریشه‌های هر دو گونه بالنگو با قارچ مایکوریزا سبب افزایش محتوای کلروفیل a و b شد (شکل ۷b و ۷a). در واقع گسترش هیفه‌های قارچ در ریزوسفر حرکت ریز مغذی‌ها از قبیل آهن، روی، کلسیم، منگنز و مس را تسهیل می‌کند و جذب آب را افزایش می‌دهد و باعث افزایش تحریک بیوسنتز کلروفیل در گیاه میزبان می‌شود که این امر نقش به‌سزایی بر بهبود رشد و افزایش عملکرد دانه دارد (Ghanbarzadeh et al., 2020). بالنگو شهری تلقیح شده و تلقیح نشده نسبت به بالنگو شیرازی بیشترین محتوای کلروفیل a و b را در رژیم‌های متفاوت آبیاری و کودی داشت (شکل ۷b و ۷a). که این نتایج مطابق با یافته‌های عبدالهی و ملکی فراهانی (Abdollahi& Maleki Farahani, 2019) است که گزارش کردند بالا بودن مقاومت بالنگو شهری به شرایط تنش خشکی به‌دلیل حفظ محتوای کلروفیل و استفاده کارآمدتر از انرژی نور است. نتایج بیشترین محتوای کلروفیل a و b هر دو گونه بالنگو تلقیح شده با قارچ مایکوریزا را در رژیم آبیاری ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده نشان داد (شکل ۸b و ۸a). کاهش محتوای کلروفیل a و b در شرایط تنش خشکی ممکن است به‌دلیل صدمه به غشای تیلاکوئیدی و مهار سنتز پروتئین جمع آوری‌کننده نور (LHC) باشد، ولی قارچ مایکوریزا تنش خشکی را با باز نگه داشتن روزنه کاهش داده و انتقال گازها را برای فتوسنتز نیز تسهیل می‌کند و صدمات ایجاد شده به غشای تیلاکوئیدی را کاهش می‌دهد (Mathimaran et al., 2017).



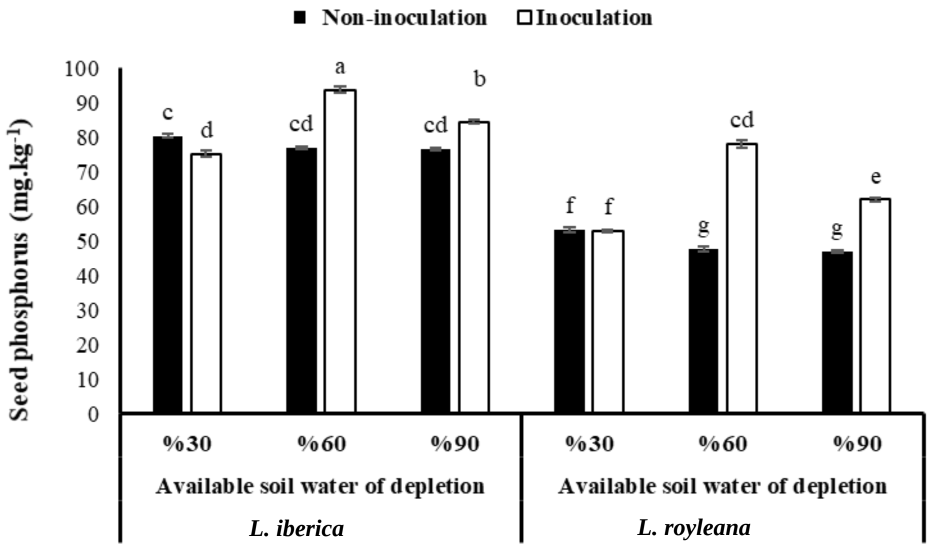
شکل ۷- تأثیر رژیم آبیاری و تلقیح قارچ مایکوریزا بر کلروفیل a (a) و کلروفیل b (b) بالنگو شهری و شیرازی

Fig. 7-The effect of irrigation regimes and mycorrhizal fungi inoculation on chlorophyll a (A) and chlorophyll b (B) of *L. iberica* and *L. royleana*

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نمی‌باشد. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین می‌باشد.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at α= 5% probability level, The bars indicate the standard error of the means.

مشاهده شد که اثر رژیم آبیاری، کود و گونه گیاهی، رژیم آبیاری× کود، رژیم آبیاری × گونه گیاهی، کود × گونه گیاهی و اثر رژیم آبیاری × کود × گونه گیاهی بر میزان فسفر بذر معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد، میزان فسفر بذر با کاهش شدید مقدار رطوبت در خاک کاهش یافت، به‌طوری‌که بالاترین وکمترین مقدار فسفر بذر در رژیم آبیاری ۳۰ و ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک مشاهده شد (شکل ۸) که این نتایج مطابق با یافته‌های صورت گرفته بر روی بادرنجبویه (*Dracocephalum moldavica* L.) (Ghanbarzadeh et al., 2020) است که نشان دادند با کاهش مقدار آب آبیاری خاک، مقدار فسفر بذر کاهش یافت. گزارش شده است، کاهش مقدار آب آبیاری خاک، تعداد تارهای کشنده گیاه را نیز کاهش داده و بر مورفولوژی ریشه و انشعابات ریشه صدمه وارد می‌نماید که در نتیجه آن جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر به‌وسیله سیستم ریشه‌ای کاهش می‌یابد (Askari et al., 2019). مشاهده شد که گیاهان رشد یافته بالنگو در شرایط قارچ مایکوریزا نسبت به گیاهان تلقیح نشده بیشترین مقدار فسفر بذر را داشتند (شکل ۸). در شرایط تنش شدید کمبود آب، تحرک و در دسترس بودن مواد غذایی نظیر فسفر در خاک محدود است، امّا تلقیح گیاهان با قارچ مایکوریزا تأثیر مهمی در جذب این عنصر دارد (Hosseinzadeh et al., 2020). بالنگو شهری تلقیح شده و نشده در مقایسه به بالنگو شیرازی بیشترین مقدار فسفر بذر را در رژیم‌های متفاوت آبیاری داشت (شکل ۸). احتمالاً دلیل بالا بودن میزان فسفر بالنگو شهری در مقایسه با بالنگو شیرازی به‌دلیل افزایش رشد ریشه بالنگو شهری به نسبت بالنگو شیرازی است (Abdollahi & Maleki Farahani, 2019) که قادر به نفوذ در لایه‌های عمیق‌تر خاک و جذب بیشتر عناصر غذایی است. بالنگو شهری و بالنگو شیرازی تلقیح شده به‌ترتیب ۱۳ و ۳۲ درصد افزایش مقدار فسفر بذر در رژیم آبیاری ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک در مقایسه با گیاهان تلقیح نشده که در رژیم آبیاری ۳۰ درصد رشد یافته بودند، داشت (شکل ۸). افزایش تجمع فسفر در بذرهای هر دو گونه در شرایط تنش خشکی به‌دلیل تلقیح با قارچ مایکوریزا است. به‌دلیل اینکه قارچ مایکوریزا توانسته فسفات بیشتری با احاطه کردن حجم وسیعی از لایه‌های خاک با گسترش هیف‌های قارچ از طریق رشد و توسعه ریشه به گیاه میزبان منتقل کند (Paravar et al., Golinezhad et al., 2020; 2021b).



شکل ۸- تأثیر رژیم آبیاری و تلقیح قارچ مایکوریزا بر فسفر بذر بالنگو شهری و شیرازی

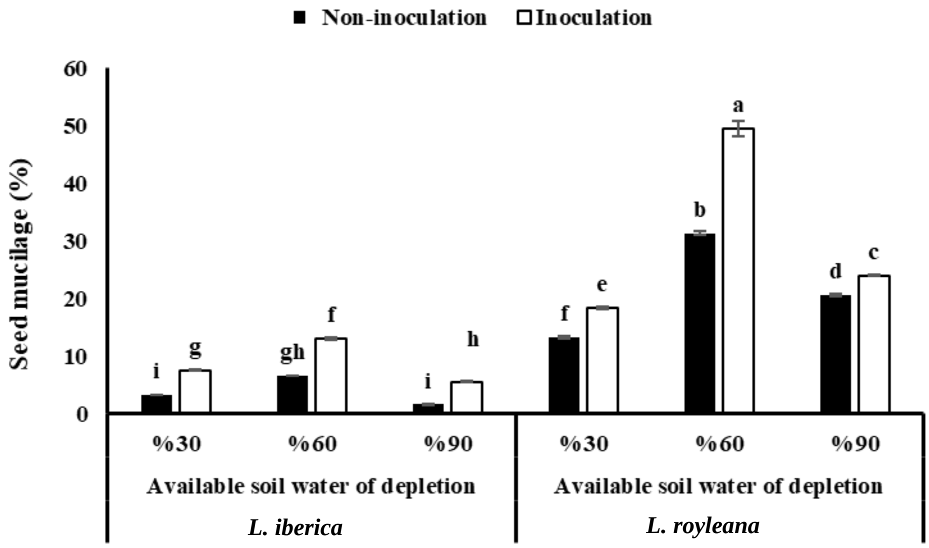
Fig. 8-The effect of irrigation regime and mycorrhizal fungi inoculation on seed phosphorus of *L. iberica* and *L. royleana*

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نمی‌باشد. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین می‌باشد.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at α= 5% probability level, The bars indicate the standard error of the means.

نتایج معنی‌دار بودن اثر رژیم آبیاری و گونه گیاهی، رژیم آبیاری × گونه گیاهی و اثر رژیم آبیاری × کود × گونه گیاهی بر موسیلاژ بذر را نشان داد (جدول ۴). کمترین و بیشترین میزان موسیلاژ بذر در هر دو گونه بالنگو در رژیم آبیاری ۹۰ و ۶۰ درصد مشاهده شد (شکل ۹) که این نتیجه مطابق با یافته‌های صورت گرفته بر روی کتان (*Linum usitatissimum*) است که نشان دادند با افزایش تنش خشکی مقدار موسیلاژ بذر کاهش یافت (Rahimzadeh & Pirzad, 2019). تلقیح با قارچ مایکوریزا باعث افزایش موسیلاژ بذر هر دو گونه بالنگو در تمامی تیمارهای آبیاری شد (شکل ۹). گزارش شده است افزایش میزان موسیلاژ بذر در بذرهای بالنگو شهری (*Lallemantia iberica L.*) (Heydari & Pirzad, 2020) در شرایط کم آبی به‌دلیل تلقیح قارچ مایکوریزا است که جذب آب و عناصر غذایی را تسهیل می‌کند و منجر به بهبود فتوسنتز شده و میزان تجمع کربوهیدرات را در بذر نیز افزایش می‌دهد. مشاهده شد که میزان موسیلاژ بالنگو شیرازی تلقیح شده و تلقیح نشده در رژیم‌های متفاوت آبیاری بیشتر بود (شکل ۹)، که مطابق با یافته‌های پراور و همکاران (Paravar et al., 2018) بود که نشان دادند میزان موسیلاژ در بذرهای بالنگو شیرازی بالاتر از بالنگو شهری بود.

مشاهده شد که اثر رژیم آبیاری، کود و گونه گیاهی، رژیم آبیاری × کود، رژیم آبیاری × گونه گیاهی، کود × گونه گیاهی و اثر رژیم آبیاری × کود × گونه گیاهی بر محتوی روغن بذر معنی‌دار بود (جدول ۴). با توجه به نتایج بیشترین محتوی روغن در رژیم آبیاری ۶۰ درصد مشاهده شد. کاهش مقدار آب آبیاری (رژیم آبیاری ۹۰ درصد) (شکل ۱۰) سبب کاهش محتوی روغن شد که با یافته‌های برزو و همکاران (Borzoo et al., 2021) بر روی گیاه کاملینا (*Camelina sativa* L.) مطابق بود. این مطالعه نشان داد که کاهش محتوی روغن بذر کاملینا به‌دلیل کاهش محتوی فتوسنتز در شرایط کم آبی است. گزارش شده است که افزایش غلظت کلروفیل سبب بهبود فتوسنتز شده و منجر به تجمع کربوهیدرات بیشتری در بذر جهت سنتز روغن می‌شود (Heydari & Pirzad, 2020). تلقیح قارچ مایکوریزا در رژیم‌های مختلف آبیاری، محتوی روغن بذر را در هر دو گونه افزایش داد (شکل ۱۰). مطابق با این نتایج خادمیان و همکاران (Khademian et al., 2019)، دلیل افزایش محتوی روغن بذر در گیاهان تلقیح شده کنجد (*Sesamum indicum* L.) را ارتباط همزیستی قارچ مایکوریزا با ریشه گیاه میزبان دانسته که سبب تسهیل در جذب عناصر غذایی خصوصا فسفر گردیده است.

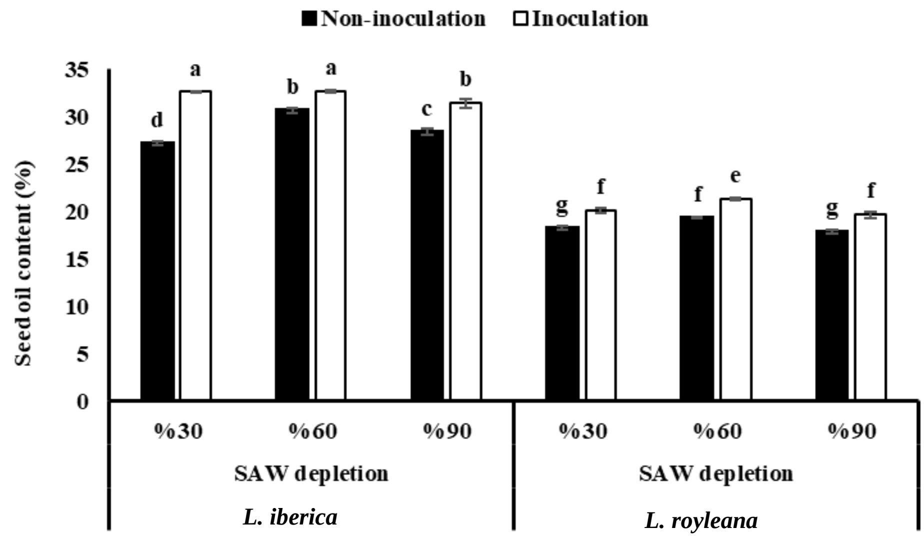


شکل ۹- تأثیر رژیم آبیاری و تلقیح قارچ مایکوریزا بر موسیلاژ بذر بالنگو شهری و شیرازی

Fig. 9-The effect of irrigation regime and mycorrhizal fungi inoculation on seed mucilage of *L. iberica* and *L. royleana*

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نمی‌باشد. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین می‌باشد.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at α= 5% probability level, The bars indicate the standard error of the means.



شکل ۱۰- تأثیر رژیم آبیاری و تلقیح قارچ مایکوریزا بر محتوی روغن بذر بالنگو شهری و شیرازی

Fig. 10-The effect of irrigation regime and mycorrhizal fungi inoculation on seed oil content of *L. iberica* and *L. royleana*

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نمی‌باشد. میله‌ها نشان‌دهنده خطای معیار میانگین می‌باشد.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at α= 5% probability level, The bars indicate the standard error of the means.

گزارش شده است که قارچ مایکوریزا با افزایش جذب فسفر، نهاده ضروری ATP و NADPH را برای مسیر سنتز اسیدهای چرب را تامین می‌کند (Mathimaran et al., 2017). بالاتر بودن محتوی روغن بذر در بالنگو شهری تلقیح شده و نشده در مقایسه با بالنگو شیرازی (شکل ۱۰) احتمالاً به‌دلیل بیشتر بودن میزان فسفر در بذرهای بالنگو شهری است (Heydari & Pirzad, 2020).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق کاهش تمامی صفات مورد بررسی در هر دو گونه بالنگو با کم شدن مقدار رطوبت در داخل خاک را نشان داد. در مقایسه به رژیم‌های آبیاری، هر دو گونه بالنگو به رژیم آبیاری ۶۰ درصد مقاومت بهتری نشان دادند. استفاده از قارچ مایکوریزا در تمامی صفات مورد بررسی توانست اثرات منفی تنش کم آبی را بر بالنگو شهری و شیرازی کاهش دهد و سبب افزایش محتوای کلروفیل و پارامترهای رشد و عملکرد دانه بالنگو شهری و شیرازی شود. قارچ مایکوریزا از طریق افزایش استعمار ریشه سبب افزایش کارایی مصرف آب، فسفر بذر و محتوی روغن بذر هر دو گونه بالنگو شد. در مقایسه بین دو گونه گیاهی، بالنگو شیرازی بیشترین مقاومت را به کم آبی در مقایسه بالنگو شهری نشان داد و از طرفی، بالا بودن میزان کلونیزاسیون ریشه در بالنگو شیرازی در مقایسه با بالنگو شهری، احتمالاً به‌دلیل وجود موسیلاژ بیشتر در بذرهای آن است که باعث افزایش استعمار ریشه‌هایش توسط قارچ مایکوریزا شده بود. بنابراین، به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط محدودیت منابع آبی، با مدیریت دقیق آبیاری (استفاده از رژیم آبیاری ۶۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده خاک) و کاربرد قارچ مایکوریزا می‌توان خسارت کم آبی را بر روی عملکرد دانه گونه‌های بالنگو کاهش داد.

Refrences

Abbaspour, H., Saeidi-Sar, S., Afshari, H., and Abdel-Wahhab, M., 2012. Tolerance of mycorrhiza infected pistachio (*Pistacia vera* L.) seedling to drought stress under glasshouse conditions. Journal of Plant Physiology 169: 704-709. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.01.014

Abdolahi, M., and Maleki Farahani, S., 2019. Seed quality, water use efficiency and eco physiological characteristics of lallemantia (*Lallemantia* sp.) species as effected by soil moisture content. Acta Agriculturae Slovenica 113: 307-320. https://doi.org/10.14720/aas.2019.113.2.12

Al-Snafi, A.E., 2019a. Medical benefit of *Lallemantia iberica*-A review. To Chemistry Journal 3: 97-102.

Al-Snafi, A.E., 2019b. Pharmacological and therapeutic effects of *Lallemantia royleana*-A review. IOSR Journal of Pharmacy 9: 43-50.

Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24: 1-15. https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1

Askari, A., Ardakani, M., Vazan, S., Paknejad, F., and Hosseini, Y., 2018. The effect of mycorrhizal symbiosis and seed priming on the amount of chlorophyll index and absorption of nutrients under drought stress in sesame plant under field conditions. Applied Ecology and Environmental Research 16: 335-357. https://doi.org/10.15666/aeer/1601_335357

Askari, A., Ardakani, M.R., Paknejad, F., and Hosseini, Y., 2019. Effects of mycorrhizal symbiosis and seed priming on yield and water use efficiency of sesame under drought stress condition. Scientia Horticulturae 257: 108749. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108749

Attarzadeh, M., Balouchi, H., Rajaie, M., Dehnavi, M.M., and Salehi, A., 2020. Improving growth and phenolic compounds of *Echinacea purpurea* root by integrating biological and chemical resources of phosphorus under water deficit stress. Industrial Crops and Products 154: 112763. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112763

Bhatt, A., Bhat, N., Suleiman, M.K., and Santo, A., 2019. Effects of storage, mucilage presence, photoperiod, thermoperiod and salinity on germination of *Farsetia aegyptia Turra* (Brassicaceae) seeds: Implications for restoration and seed banks in Arabian Desert. Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of

Plant Biology 153: 280-287. https://doi.org/10.1080/11263504.2018.1473524

Bonfante, P., and Genre, A., 2010. Mechanisms underlying beneficial plant–fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. Nature Communications 1: 1-11. https://doi.org/10.1038/ncomms1046

Borzoo, S., Mohsenzadeh, S., Moradshahi, A., Kahrizi, D., Zamani, H., and Zarei, M., 2021. Characterization of physiological responses and fatty acid compositions of *Camelina sativa* genotypes under water deficit stress and symbiosis with *Micrococcus yunnanensis*. Symbiosis 83: 79-90. https://doi.org/10.1007/s13199-020-00733-5

Chen, S., Zhao, H., Zou, C., Li, Y., Chen, Y., Wang, Z., and Ahammed, G.J., 2017. Combined inoculation with multiple arbuscular mycorrhizal fungi improves growth, nutrient uptake and photosynthesis in cucumber seedlings. Frontiers in Microbiology 8: 2516. https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02516

Declerck, S., Le Pioufle, O., Ganoudi, M., Calonne, M., and Ben Dhaou, F., 2019. Rhizophagus irregularis MUCL 41833 improves phosphorus uptake and water use efficiency in maize plants during recovery from drought stress. Frontiers in Plant Science 10: 897. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00897

Ebrahimian, E., Seyyedi, S.M., Bybordi, A., and Damalas, C.A., 2019. Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability. Agricultural Water Management 218: 149-157. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.031

Farahani, A., Lebaschi, H., Hussein, M., Hussein, S.A., Reza, V.A., and Jahanfar, D., 2013. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi, different levels of phosphorus and drought stress on water use efficiency, relative water content and proline accumulation rate of coriander (*Coriandrum sativum* L.). Journal of Medicinal Plants Research 2: 125-131. (In Persian with English Summary)

Ghanbarzadeh, Z., Mohsenzadeh, S., Rowshan, V., and Zarei, M., 2020. Mitigation of water deficit stress in *Dracocephalum moldavica* by symbiotic association with soil microorganisms. Scientia Horticulturae 272: 109549. https://doi.org/10.1016/j. scienta.2020.109549

Gholinezhad, E., Darvishzadeh, R., Moghaddam, S.S., and Popović-Djordjević, J., 2020. Effect of mycorrhizal inoculation in reducing water stress in sesame (*Sesamum indicum* L.): The assessment of agrobiochemical traits and enzymatic antioxidant activity. Agricultural Water Management 238: 106234. https://doi.org/10.1080/0972060X.2017.1362999

Hashem, A., Kumar, A., Al-Dbass, A.M., Alqarawi, A.A., Al-Arjani, A.-B.F., Singh, G., Farooq, M., and Abd Allah, E.F., 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi and biochar improves drought tolerance in chickpea. Saudi Journal of Biological Sciences 26: 614-624. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.11.005

Hosseinzadeh, M.H., Ghalavand, A., Mashhadi-Akbar-Boojar, M., Modarres-Sanavy, S.A.M., and Mokhtassi-Bidgoli, A., 2020. Increased medicinal contents of purslane by nitrogen and arbuscular mycorrhiza under drought stress. Communications in Soil Science and Plant Analysis 51: 118-135. https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1695828

Heydari, S., and Pirzad, A., 2020. Efficiency of *Funneliformis mosseae* and *Thiobacillus* sp. on the secondary metabolites (essential oil, seed oil and mucilage) of *Lallemantia iberica* under salinity stress. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 96: 249-259. https://doi.org/10.1080/14620316.2020.1833764

Karam, F., Lahoud, R., Masaad, R., Kabalan, R., Breidi, J., Chalita, C., and Rouphael, Y., 2007. Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. Agricultural Water Management 90: 213-223. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.03.009

Khademian, R., Asghari, B., Sedaghati, B., and Yaghoubian, Y., 2019. Plant beneficial rhizospheric microorganisms (PBRMs) mitigate deleterious effects of salinity in sesame (*Sesamum indicum* L.): Physio-biochemical properties, fatty acids composition and secondary metabolites content. Inustrial crops and Products. 136: 129-139. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.002

Khalid, K.A., 2006. Influence of water stress on growth, essential oil, and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). International Agrophysics 20: 289-296.

Khosrowshahi, Z.T., Slehi-Lisar, S.Y., Ghassemi-Golezani, K., and Motafakkerazad, R., 2018. Physiological responses of safflower to exogenous putrescine under water deficit. Journal of Stress Physiology and Biochemistry 14: 38-48.

Kormanik, P., and McGraw, A., 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. In Schenck N.C. (Ed.) Methods and principles of mycorrhizal research, pp. 37–45. St. Paul, Minn., American Phytopathological Society.

Langeroodi, A.R.S., Osipitan, O.A., Radicetti, E., and Mancinelli, R., 2020. To what extent arbuscular mycorrhiza can protect chicory (*Cichorium intybus* L.) against drought stress. Scientia Horticulturae 263: 109109. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109109

Mathimaran, N., Sharma, M.P., Mohan Raju, B., and Bagyaraj, D., 2017. Mycosphere Essay 17 Arbuscular mycorrhizal symbiosis and drought tolerance in crop plants. Mycosphere 8: 361-376.

Mathur, S., Tomar, R.S., and Jajoo, A., 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) protects photosynthetic apparatus of wheat under drought stress. Photosynthesis Research 139: 227-238. https://doi.org/10.1007/s11120-018-0538-4

Mohammadi, M., Modarres-Sanavy, S.A.M., Pirdashti, H., Zand, B., and Tahmasebi-Sarvestani, Z., 2018. How to change the ratio of unsaturated (omega 3, 6, 7 and 9) to saturated fatty acids in *Oenothera biennis* L. oil under water deficit stress, fertilizers and geographical zones. Plant Physiology and Biochemistry 133: 71-80. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.10.02

Mohammadi, M., Modarres-Sanavy, S.A.M., Pirdashti, H., Zand, B., and Tahmasebi-Sarvestani, Z., 2019. Arbuscular mycorrhizae alleviate water deficit stress and improve antioxidant response, more than nitrogen fixing bacteria or chemical fertilizer in the evening primrose. Rhizosphere 9: 76-89. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2018.11.008

Omidi, H., Shams, H., Sahandi, M.S., and Rajabian, T., 2018. Balangu (*Lallemantia* sp.) growth and physiology under field drought conditions affecting plant medicinal content. Plant Physiology and Biochemistry 130: 641-646. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.08.014

Paravar, A., Maleki Farahani, S., and Rezazadeh, A, 2021a. *Lallemantia* species response to drought stress and Arbuscular mycorrhizal fungi application. Industrial Crops and Products 172: 114002. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114002

Paravar, A., Maleki Farahani, S., and Rezazadeh, A., 2021b. The effect of mycorrhiza on catalase enzyme activity and growth and qualitative characteristics of Lady's mantle (*Lallemantia royleana*) under deficit irrigation. Journal Plant Process and Function 10: 235-248. (In Persian with English Summary)

Paravar, A., Maleki Farahani, S., and Rezazadeh, A., 2018. Effect of drought stress during seed development on seed vigour, membrane peroxidation and antioxidant activity in different species balangu (*Lallemantia* sp.). Journal oF Crops Improvement 20: 145-159. (In Persian with English Summary)

Pawar, P.B., Khadilkar, J.P., Kulkarni, M.V., and Melo, J.S., 2018. An approach to enhance nutritive quality of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) seed oil through endo mycorrhizal fertigation. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology 14: 18-22. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.01.012

Pirzad, A., and Mohammadzadeh, S., 2018. Water use efficiency of three mycorrhizal Lamiaceae species (*Lavandula officinalis*, *Rosmarinus officinalis* and *Thymus vulgaris*). Agricultural Water Management 204: 1-10. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.020

Plouznikoff, K., Asins, M.J., de Boulois, H.D., Carbonell, E.A., and Declerck, S., 2019. Genetic analysis of tomato root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi. Annals of Botany 124: 933-946. https://doi.org/10.1093/aob/mcy240

Rahimzadeh, S., and Pirzad, A., 2019. Pseudomonas and mycorrhizal fungi co-inoculation alter seed quality of flax under various water supply conditions. Industrial Crops and Products 129: 518-524. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.038

Schenck, N.C., and Perez, Y., 1990. M Manual for the Identifcation of VA Mycorrhizal Fungi Gainesville. Synergistic Publications, FL, USA.

Sharma, P., and Koul, A., 1986. Mucilage in seeds of *Plantago ovata* and its wild allies. Journal of Ethnopharmacology 17: 289-295.

Soares, G.F., Ribeiro Júnior, W.Q., Pereira, L.F., Lima, C.A.D., Soares, D. D.S., Muller, O., and Ramos, M.L.G., 2021. Characterization of wheat genotypes for drought tolerance and water use efficiency. Scientia Agricola 78(5): e20190304. https://doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0304

Stuffins, C., 1967. The determination of phosphate and calcium in feeding stuffs. Analyst 92: 107-111.

Visavadiya, N.P., Soni, B., and Dalwadi, N., 2009. Free radical scavenging and antiatherogenic activities of *Sesamum indicum* seed extracts in chemical and biological model systems. Food and Chemical Toxicology 47: 2507-2515. https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.07.009

Wu, Q.S., He, J.D., Srivastava, A., Zou, Y.N., and Kuča, K., 2019. Mycorrhizas enhance drought tolerance of citrus by altering root fatty acid compositions and their saturation levels. Tree Physiology 39: 1149-1158.

https://doi.org/10.1093/treephys/tpz039

Wu, Q.S., Srivastava, A.K., and 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

Xu, X., Zhang, M., Li, J., Liu, Z ,.Zhao, Z., Zhang, Y., Zhou, S., and Wang, Z., 2018. Improving water use efficiency and grain yield of winter wheat by optimizing irrigations in the North China Plain. Field Crops Research 221: 219-227. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.02.011

Zlatanov, M., Antova, G., Angelova-Romova, M., Momchilova, S., Taneva, S., and Nikolova-Damyanova, B., 2012. Lipid structure of *Lallemantia* seed oil: A potential source of omega-3 and omega-6 fatty acids for nutritional supplements. Journal of the American Oil Chemists' Society 89: 1393-1401. https://doi.org/10.1007/s11746-012-2042-x

Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

CC BY

Research Article
Vol. 14, No. 4, Winter 2023, p. 751-768

Estimation of Water Requirement and Wheat (Triticum aestivum L.) Yield under the Impact of Climate Change

Mojgan Ahmadi[1] and Hadi Ramezani Etedali[2*]

Received: 24-01-2021 Revised: 20-06-2021 Accepted: 01-09-2021 Available Online: 01-09-2021	**How to cite this article:** Ahmadi, M., and Ramezani Etedali, H., 2023. Estimation of water requirement and wheat (Triticum aestivum L.) yield under the impact of climate change. Journal of Agroecology 14(4): 751-768. DOI: 10.22067/agry.2021.68517.1015

Introduction

Crop production is directly dependent on climatic conditions, and climate determines the sources of production and productivity of agricultural activities. Therefore, long-term forecasting of climate variables and taking the necessary measures to mitigate the adverse effects of climate change have been considered by many researchers around the world. Climate change affects water requirement and crop yields in the future, so it is important to study changes in meteorological parameters and their impact on water requirement and crop yields in each region. So, in this study, the effect of climate change on the yield and water requirement of wheat in Qazvin synoptic station was investigated.

Materials and methods

In this study, the results of the scenarios were compared with the data of Qazvin station for wheat crop by statistical error criteria including Explanation coefficient statistics (R^2), root mean square error (RMSE) and maximum error (ME). For evaluation, from the general circulation models in the LARS-WG model (EC-Earth, GFDL-CM3, HadGEM2-ES, MIROC5, MPI-ESM-MR) and the scenarios of RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 in the baseline 1986-2015 was used. Yield and water requirement of wheat in the baseline and future periods 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 and 2081-2100 were calculated with Aqua Crop software.

Result and discussion

The coefficient of explanation for the maximum and minimum temperatures simulated with the LARS-WG model shows that the simulated data and the synoptic station data are highly correlated. An explanation coefficient greater than 90% indicates that more than 90% of the variance in the minimum and maximum temperature data of the synoptic station is described by the LARS-WG model data. The value of RMSE at the minimum and maximum temperature is less than 3 °C, which indicates the low temperature deviation simulated with the LARS-WG model compared to the actual temperature. The ME index value was obtained for the minimum temperature equal 6.93 °C and for the maximum temperature equal 7.76 °C. The coefficient of explanation for the precipitation simulated with the LARS-WG model shows that the simulated data and the data of the synoptic station do not have a high correlation and the coefficient of explanation decreases to less than 0.5. The values of RMSE and ME were 33.28 mm and 183.10 mm, respectively. The results show that the model is more accurate in simulating minimum and maximum temperatures than precipitation. In a study, Goudarzi et al. (2015) investigated the performance of LARS-WG and SDSM microscopic exponential models in simulating climate change in the catchment area of Lake Orumieh. The results showed that both models are more accurate in simulating temperature than precipitation, which is consistent with the

1- Ph.D. Student, Department of Water Science and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
2- Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
(*- Corresponding author's Email: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir)

results of the present study. The average wheat yield for the baseline was 7.67 (tons/ha). The yield average will increase in future periods, which is the highest in the HadGEM2-ES model with the RCP8.5 scenario and the period 2081-2100. Water requirement was obtained in the baseline 127.14 mm. The water requirement average will decrease in future periods.

Conclusion

The simulation results of the LARS-WG model in the baseline showed that the model has more accurate in the simulation of minimum temperature (Tmin) and maximum temperature (Tmin) than precipitation. This study findings have also showed that the temperature will increase in future periods. Precipitation changes were seen as both decreasing and increasing trend. The yield increased in future periods, which is the highest in the HadGEM2-ES model with the RCP8.5 scenario and the period 2081-2100. The water requirement decreased in future periods.

Keywords: Aqua Crop, General Atmospheric Circulation Models, LARS-WG Model, RCP Scenarios.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

برآورد نیاز آبی و عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تأثیر تغییر اقلیم (مطالعه موردی: دشت قزوین)

مژگان احمدی[1] و هادی رمضانی اعتدالی[2]*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۳/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۰

احمدی، م.، و رمضـــانی اعتدالی، ه.، ۱۴۰۱. برآورد نیاز آبی و عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تأثیر تغییر اقلیم (مطالعه موردی: دشت قزوین). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۴): ۷۶۸-۷۵۱.

چکیده

در عصر حاضر، تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار در توسعه پایدار، کشاورزی و امنیت غذایی مطرح می‌باشد. گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از محصـولات مهم و اسـتراتژیک در جهان و ایران محسـوب می‌شـود. به همین منظور، در این پژوهش به تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد و نیاز آبی گندم آبی در دشـت قزوین در دوره‌های آتی پرداخته شـده اسـت. برای ارزیابی، از مدل‌های گردش عمومی موجود در مدل LARS-WG (EC-Earth، GFDL-CM3، HadGEM2-ES، MIROC5، MPI-ESM-MR) و سـناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در دوره پایه ۲۰۱۵- ۱۹۸۶و در دوره‌های آتی۲۰۴۰- ۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰- ۲۰۶۱ و ۲۱۰۰- ۲۰۸۱ اسـتفاده شـد. نیاز آبی و عملکرد گندم در دوره پایه و دوره‌های آتی با نرم‌افزار Aqua Crop محاسبه شد. در این پژوهش، نتایج حاصل از سناریوها با داده ایستگاه قزوین برای محصول گندم، توسط معیارهای آماری خطا شامل آماره‌های ضریب تبیین (R^2)، خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)، حداکثر خطا (ME)، مقایسه شدند. نتایج شبیه‌سازی مدل LARS-WG در دوره پایه نشان داد که مدل در شبیه سازی دمای حداقل و حداکثر دقت بیشتری نسبت به بارش دارد. میانگین عملکرد گندم برای دوره پایه ۷/۶۷ (تن بر هکتار بر فصل) به‌دست آمد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که میانگین عملکرد گندم در دوره‌های آتی افزایش می‌یابد که این میزان در دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۱ و مدل HadGEM2-ES با سناریوی RCP8.5 بیشترین مقدار را دارد. میانگین نیاز آبی در دوره پایه ۱۲۷/۱۴ (میلی‌متر بر فصل) به‌دست آمد که این میزان در دوره‌های آتی کاهش می‌یابد. بنابراین، پیش‌بینی افزایش عملکرد در دشت قزوین بیانگر آن است که این منطقه از پتانسیل مطلوبی در کشت و توسعه این محصول برخوردار خواهد بود که علاوه‌بر مساعد بودن شرایط اقلیمی، بهبود مدیریت و نهاده‌های کشاورزی نیز می‌تواند باعث افزایش عملکرد این محصول در طی سال‌های آتی گردد.

واژه‌های کلیدی: سناریوهای RCP، مدل‌های گردش عمومی اتمسفر، مدل LARS-WG، Aqua Crop

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران.
۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: ramezani@eng.ikiu.ac.ir)
DOI: 10.22067/agry.2021.68517.1015

مقدمه

تغییرات اقلیمی اخیر به‌طور گسترده بر اکوسیستم طبیعی تأثیر گذاشته است. اتمسفر و اقیانوس‌ها گرم‌تر شده‌اند، مقادیر برف و یخچال‌های قطبی کاهش داشته‌اند و سطح دریاها بالاتر آمده‌اند. ادامه انتشار گازهای گلخانه‌ای سبب گرم‌تر شدن هوا وتغییرات بیشتری در مؤلفه‌های اقلیمی خواهد شد (IPCC, 2014).

امروزه، تغییر اقلیم و پدیده گرمایش، یکی از مباحث مهم و کلیدی است. تغیر اقلیم بر بخش‌های مختلف مانند کشاورزی، جنگل‌داری، آب، صنعت، گردشگری، انرژی و غیره اثر می‌گذارد (Kemfert, 2009). تولید محصولات زراعی مستقیماً به شرایط اقلیمی وابسته است و اقلیم تعیین‌کننده منابع تولید و بهره‌وری فعالیت‌های کشاورزی است (Reilly, 1999). بنابراین، پیش‌بینی بلندمدت متغیرهای اقلیمی و در نظر گرفتن تمهیدات لازم به‌منظور تعدیل اثرهای سوء ناشی از تغییرات اقلیمی مورد توجه بسیاری از پژوهشگران جهان قرار گرفته است. به همین منظور، مدل‌های گردش عمومی جو توسعه یافته‌اند. در این مدل‌ها، شبیه سازی عنصرهای اقلیمی در مقیاس بزرگ مکانی و زمانی انجام می‌شود و برای استفاده این عنصرهای اقلیمی در مقیاس کوچک‌تر، می بایست خروجی این مدل ها با تکنیک های مختلف کوچک‌مقیاس شوند (Samadi et al., 2007). روش‌های ریزمقیاس‌نمایی به‌طور کلی، به دو دسته دینامیکی و آماری تقسیم می‌شوند. از مدل های ریزمقیاس دینامیکی می‌توان به MM5، REGCM3 و PRECIS اشاره کرد. برای انواع مدل‌های ریزمقیاس آماری می‌توان CLIGEN، LARS WG، ASD، USCLIMATE و SDSM را نام برد. روش آماری در مقایسه با روش دینامیکی، در مواقعی که هزینه کمتر و ارزیابی سریع‌تر عوامل مؤثر بر تغییرات آب و هوایی مورد نیاز باشد، مزیت‌ها و قابلیت‌های بیشتری دارد (Zarei et al., 2019).

در زمینه مدل‌های ریزمقیاس نمایی و اثرات تغییر اقلیم پژوهش‌های متعددی در سطح جهانی صورت گرفته است. در مطالعه‌ای به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات کشاورزی پرداختند. نتایج نشان داد که در اثر تغییرات اقلیمی، عملکرد اکثر محصولات کاهش و هزینه‌های تولید افزایش می‌یابد (Azuara et al., 2011). پژوهشگران با استفاده از مدل SDSM تحت سناریوهای RCP به بررسی اثرات تغییر اقلیم در حوضه رودخانه خیانگ جیان چین پرداختند. نتایج نشان داد که در دوره‌های آتی، میزان تبخیر تعرق پتانسیل در تمامی سناریوها افزایش می‌یابد و بیشترین افزایش در سناریوی RCP8.5 مشاهده شد (Tao et al., 2015). محققان اثر تغییر اقلیم بر تقاضای آب کشاورزی تحت سناریوهای اقلیمی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در حوضه شانکسی در چین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش نشان داد، در دوره آتی درجه حرارت، بارش مؤثر و رطوبت نسبی افزایش و سرعت باد کاهش می‌یابد. همچنین نیاز آبیاری محصولات اصلی با توجه به بارش مؤثر روند نزولی دارد (Sun et al., 2018). در مطالعه‌ای، اثر تغییر اقلیم را بر هیدرولوژی و تولید محصول گندم (Triticum aestivum L.) در جنوب استرالیا بررسی کردند. نتایج نشان داد که با وجود کاهش بارندگی، محصول شبیه سازی شده کاهش نیافت (Ludwig & Asseng., 2008). در پژوهشی به بررسی اثر تغییر اقلیم بر پتانسیل تولید ذرت (Zea mays L.) در غنا پرداختند. نتایج نشان داد که متوسط عملکرد ذرت در افق ۲۰۳۰ تحت سناریوی RCP8.5، ۵۷ درصد افزایش خواهد یافت (Srivastava et al., 2018). در پژوهشی به تأثیر تغییر اقلیم بر بیلان آب و رواناب با استفاده از مدل SWAT در حوضه آبخیز سد لتیان تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی Lars-WG پرداخته شد (Jalali et al., 2020). در پژوهشی، تأثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی و پیش‌بینی رواناب حوضه رودخانه نکا را طی دوره‌های آتی را تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 بررسی کردند (Babolhakami et al., 2020). در بررسی که در شمال شرق ایران در شرایط اقلیم با دو مدل اقلیمی HadCM3 و CGCM2 با دو سناریوی A2 و B2 صورت گرفت نتایج نشان داد، بین عملکرد دانه گندم دیم و بارندگی ارتباط مثبت و قابل توجهی وجود دارد و با افزایش بارندگی عملکرد دانه گندم نیز افزایش می‌یابد (Eyshi Rezaie & Bannayan, 2012). پژوهشگران تأثیر تغییر اقلیم را بر تولید گندم در مناطق اصلی تولید گندم در چین بررسی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که عملکرد گندم دیم در مناطق شمال چین در آینده کاهش می‌یابد، در حالی که عملکرد در مناطق جنوبی افزایش نشان داد. همچنین در شرایط آبیاری کامل عملکرد گندم تا حدودی در بین همه مناطق تولید، افزایش یافت (Lv et al., 2013). در پژوهشی در شمال شرقی ایالات متحده، یک ارزیابی منطقه‌ای از عملکرد گندم با استفاده از مدل‌های اقلیمی به همراه دو سناریوی RCP انجام شد (Karimi et al., 2017). در این پژوهش پیش‌بینی شد که در دهه ۲۰۷۰ بارندگی و میانگین دما در طول دروه رشد گندم زمستانه نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. از سوی دیگر، نتایج شبیه سازی‌های این پژوهش افزایش عملکرد در کل منطقه را نشان دادند. در مطالعه‌ای در پاکستان به بررسی اثرات متغیرهای تغییر اقلیم بر تولید گندم پرداختند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که تغییر اقلیم، تولید گندم در پاکستان را تحت تأثیر قرار

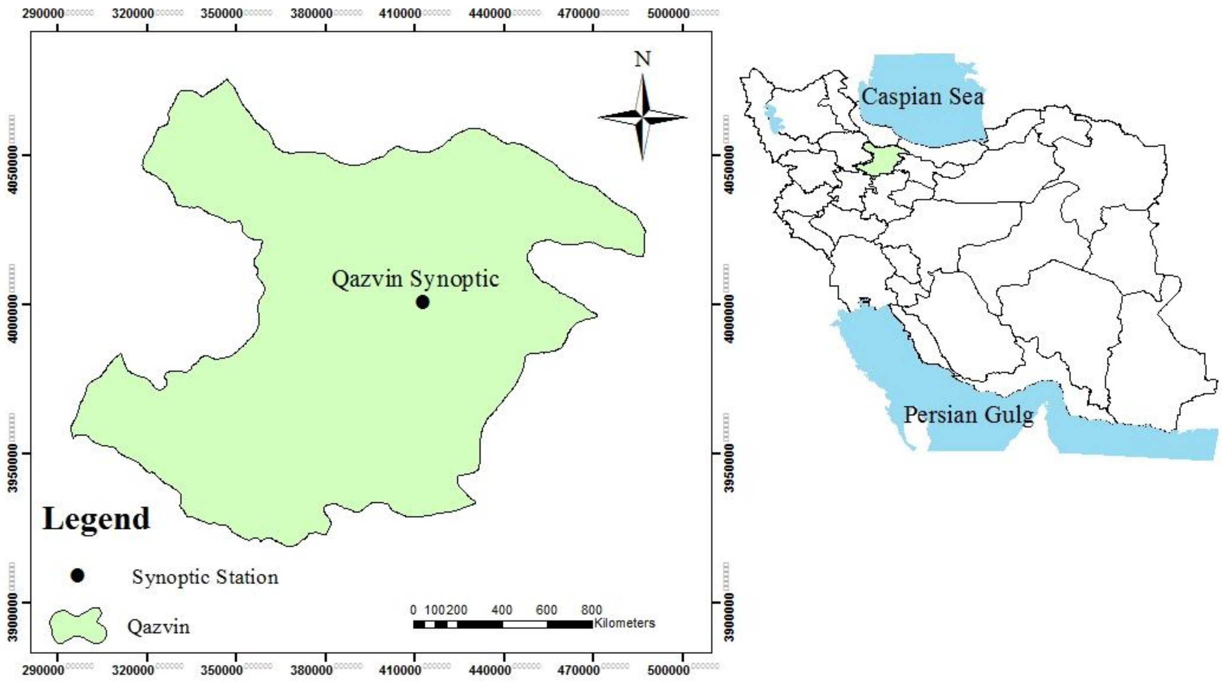
نمی‌دهد (Janjua et al., 2014).

در این پژوهش به بررســی اثر تغیر اقلیم بر عملکرد و نیاز ابی گندم در ایســتگاه ســینوپتیک قزوین با اســتفاده از مدل‌های گردش عمومی موجود در مدل LARS-WG (EC-Earth، GFDL-CM3، HadGEM2-ES،MIROC5 ، MPI-ESM-MR) و ســناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در دوره پـایـه ۲۰۱۵-۱۹۸۶و در دوره های آتی۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان قزوین با مساحتی معادل ۱۵۸۲۱ کیلومترمربع به‌ترتیب بین طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه و ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۵۰ در جه و ۳۵ دقیقه و ۳۵ در جه و ۱۸ دقیقه در حوزه مرکزی ایران واقع شده است. موقعیت استان قزوین در شکل ۱ نشان داده شده است. میانگین بارش سالانه در سطح استان از ۲۱۰ میلی‌متر در بخش‌های شــرقی تا بیش از ۵۵۰ میلی‌متر در ارتفاعات شــمال شــرقی متغیر اســت. در این مطالعه از داده‌های ایســتگاه ســینوپتیک قزوین اســتفاده شــده اســت. طول جغرافیایی این ایســتگاه ۵۰/۰۳ و عرض جغرافیایی آن ۳۶/۱۵ و ارتفاع آن ۱۲۷۹/۲ می‌باشد.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

Fig. 1- Study area

برآورد تبخیر تعرق مرجع

مدل تبخیر تعرق هرگریوز–ســامانی برای محاســبه تبخیر تعرق روزانه نیازی به اطلاعات گســترده ندارد. در پژوهشــی که به ارزیابی روش‌های تبخیر و تعرق پتانسیل در د شت قزوین پرداخته شد، نتایج نشــان داد که روش هارگریوز ســامانی با r=۰/۸۷ و RMSE =۰/۳۴ میلی‌متر در روز بهترین روش برای برآورد تبخیر تعرق پتانســیل در دشت قزوین است (Nazari & Kaviani, 2016). همچنین این مدل در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر محصولات کشاورزی در مطالعات سایر محققان (Nikbakhtshahbazi, 2018; Koohi et al., 2020) مورد استفاده قرار گرفته اســت، به همین منظور، این مدل برای محاســبه تبخیر تعرق روزانه محصــول گندم برای دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۶۸) و دوره‌های شبیه سازی شده انتخاب شده است. مدل هارگریوز سامانی برای برآورد تبخیر تعرق روزانه در معادله ۱ آورده شده است.

$$ET_0 = 0.0135 K_T R_a TD^{0.5}(T + 17.8) \quad \text{(۱) معادله}$$

$$K_T = 0.00185 TD^{0.5} - 0.0433 TD + 0.4023 \quad \text{(۲) معادله}$$

$$TD = T_{max} - T_{min} \quad \text{(۳) معادله}$$

که در آن، T_{min} و T_{max}: به‌ترتیب حداقل و حداکثر دمای هوا در

دوره مورد نظر بر حسب درجه سانتی‌گراد، R_a: تابش خورشیدی در بالای جو و K_T: ضریب تصحیح است.

معرفی مدل Aqua Crop

مدل گیاهی Aqua Crop عملکرد قابل انتظار محصول را تحت رژیم‌های آبیاری مختلف شبیه‌سازی می‌کند (Soria-Ruiz et al., 2012). Aqua Crop مستقیماً عملکرد محصول و آب مصرفی را مرتبط کرده و مقدار تولید زیست‌توده حاصل از تعرق واقعی محصول را بر اساس پارامتر بهره‌وری که هسته اصلی Aqua Crop است تخمین می‌زند (Steduto et al., 2012). مدل Aqua Crop همانند مدل‌های crop wat و Budget از معادله دورنبوس و کاسام که در نشریه ۳۳ فائو برای محاسبه ضریب حساسیت کم‌آبی بر اساس تعیین نسبت تبخیر- تعرق نسبی و عملکرد نسبی بیان شده است، استفاده می‌کند و هر سه مدل بر اساس معادله بیلان آب عمل می‌کنند.

معادله (۴)
$$\frac{Y_x-Y_a}{Y_x}=K_y\left(\frac{ET_x-ET_a}{ET_x}\right)$$

که در آن، Y_x: عملکرد بیشینه، Y_a: عملکرد واقعی، ET_x: تبخیر-تعرق بیشینه، ET_a: تبخیر-تعرق واقعی و K_y: ضریب حساسیت به کم آبی (ضریب واکنش عملکرد به آب) می‌باشد. ($\frac{Y_x-Y_a}{Y_x}$): معرف کاهش محصول و ($\frac{ET_x-ET_a}{ET_x}$): بیان‌کننده تنش آبی است.

مدل با تفکیک تبخیر-تعرق (ET) به تعرق از گیاه (Tr) و تبخیر از سطح (E) و بسط مدل رشد اولیه[1] تا پیری پوشش گیاهی[2]، برآورد و پیش‌بینی عملکرد به‌عنوان تابعی از زیست‌توده نهایی[3] و شاخص برداشت و تفکیک تنش آبی در چهار بخش: رشد پوشش تاجی، پیری پوشش تاجی گیاه، تعرق از سطح گیاه و شاخص برداشت محصول (HI[4]) توسعه یافته است (Steduto et al., 2009).

برآورد تعرق گیاه (Tr)، سبب تفکیک مصارف مفید و غیرمفید می‌شود. تعرق روزانه به‌واسطه تبخیر- تعرق پتانسیل روزانه (ET_0) و بهره‌وری آب نرمال‌شده (WP*) مطابق با معادله ۵ به زیست‌توده گیاهی یا قسمت هوایی گیاه تبدیل می‌شود.

معادله (۵)
$$B_i=WP\times\left(\frac{Tr}{ET0}\right)$$

WP* بهره‌وری آب نرمال شده و مقدار آن برای گیاه مشخص در شرایط اقلیمی مشابه، ثابت است و پس از نرمال کردن بهره‌وری آب برای شرایط اقلیمی متفاوت، مقدار آن به یک پارامتر ثابت تبدیل می‌شود. مزیت معادله مورد استفاده در مدل Aqua Crop این است که شبیه‌سازی فرایندهای رشد گیاه در این نرم‌افزار با استفاده از گام‌های زمانی روزانه صورت می‌گیرد، در حالی که در معادله ۴، شبیه‌سازی به‌صورت ماهانه یا فصلی و بر اساس ضریب K_y است.

از دیگر ویژگی‌های مدل این است که به‌جای شاخص سطح برگ از پوشش سبز سطح پوشاننده زمین استفاده می‌کند، که در آن شاخص درجه روز رشد اهمیت ویژه‌ای دارد و به‌جای ضریب کاهش عملکرد محصول به بررسی شاخص بهره‌وری می‌پردازد. این مدل در دامنه وسیعی از محصولات زراعی همچون: علوفه‌ای، سبزیجات، غلات، میوه، روغنی و غده‌ای قابل استفاده است (Steduto et al., 2009).

در تمام دوره رشد گیاه، مقدارآب ذخیره شده در ناحیه ریشه از طریق بیلان آبی جریان ورودی (آبیاری و بارندگی) و خروجی (رواناب، نفوذ عمقی و تبخیر- تعرق) در ناحیه ریشه شبیه‌سازی می‌شود. شدت ضرایب تنش آبی (Ks) مؤثر بر توسعه پوشش تاجی (CC)، شدت تعرق، پیری و کاهش پوشش تاجی و شاخص برداشت (HI) به‌وسیله کسر تخلیه آب در ناحیه ریشه تعیین می‌شود. به‌علاوه برخی جنبه‌های مدیریتی آبیاری و زراعی از طریق تأثیراتی که بر توسعه ریشه گیاه، بهره‌وری آب و تعدیل محصول به تنش دارند، بیان می‌شوند. در نهایت، مقدار عملکرد محصول با استفاده از جرم قسمت هوایی پوشش گیاهی شبیه‌سازی شده و شاخص برداشت تعدیل شده محاسبه می‌شود.

معرفی مدل LARS-WG

یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای ارزیابی اقلیم آینده، استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو می‌باشد. این مدل‌ها، معتبرترین ابزار برای بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف محسوب شده و قادرند پارامترهای اقلیمی را برای یک دوره طولانی‌مدت بر اساس سناریوهای تأیید شده IPCC مدل‌سازی نمایند (Khaliliaqdam et al., 2012). گروهی از این مدل‌ها، اطلاعات مفیدی درباره پاسخ جو به افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای فراهم می‌کنند. با توجه به وضوح مکانی کم در مدل‌های گردش عمومی جو، به ناچار مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی پیشنهاد شدند. این مدل‌ها با استفاده از خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی و به کارگیری سناریوهای اقلیمی، داده‌های گردش عمومی در مقیاس درشت را به مقیاس‌های ریزتر تبدیل می‌کنند. روش‌های متداولی برای ریزمقیاس‌نمایی وجود دارد که شامل استفاده از سلول اصلی یا روش

1- Initial
2-Senescence
3- Biomass = B
4 -Harvest Index

تناسبی[1]، روش‌های آماری[2] و روش‌های دینامیکی[3] می‌باشند. روش‌های ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی نیاز به سخت‌افزارهای قوی داشته و زمان‌بر می‌باشند. در مقابل، مدل‌های آماری ارزان‌تر بوده و سرعت بالاتری دارند. می‌توان از مدل‌های آماری بدون نیاز به ابررایانه‌ها و یا رایانه‌های سریع استفاده کرد.

از جمله مدل‌های آماری، مدل LARS-WG می‌باشد. این مدل مولد آب و هوایی بر پایه روش سری‌ها است که می‌تواند به‌منظور شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیمی فعلی و آینده استفاده شود. نسخه اولیه این مدل در بوداپست مجارستان در سال ۱۹۹۱ به‌عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک‌های کشاورزی توسط Racsko و همکاران ابداع شد. سپس توسط Semenov و Barrow ارتقا یافت. کارایی دو مدل LARS-WG[4] و WGEN[5] در ۱۸ ایستگاه آمریکا، اروپا و آسیا بررسی و معلوم شد که مدل LARS نتایج بهتری تولید می‌کند.

در مدل LARS-WG، مدل‌سازی بارش و احتمال وقوع آن از روش توزیع نیمه‌تجربی و زنجیره‌ی مارکف، مدل‌سازی تابش بر اساس توزیع نیمه‌تجربی و مدل سازی دما با استفاده از سری فوریه انجام می‌شود. در گزارش پنجم تغییر اقلیم مدل‌های گردش عمومی مختلفی ارائه شده است. نام این مدل‌ها به همراه مرکز ارائه‌دهنده و سناریوهای موجود در مدل LARS-WG به شرح جدول ۱ می‌باشد:

سناریوهای واداشت تابشی[6] تغییر اقلیم

سناریوهای تغییر اقلیمی ارائه شده در گزارش پنجم به‌صورت RCP نمایش داده می‌شوند که نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای هستند. سناریوهای به‌کار رفته در مدل LARS-WG دارای تعاریفی به شرح ذیل هستند:

RCP2.6: به‌معنای کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن می‌باشد. مطابق این سناریو حداکثر مقدار انرژی تابشی قبل از سال ۲۱۰۰ به‌حدود ۳ وات بر مترمربع می‌رسد. همچنین، انتشار گاز کربن دی اکسید از سال ۲۰۲۰ کاهشی و تا سال ۲۱۰۰ به صفر خواهد رسید. میزان انتشار گاز متان نیز تا سال ۲۱۰۰ به نصف مقدار موجود در سال ۲۰۲۰ تقلیل می‌یابد. همچنین اکسید سولفور به ۱۰ درصد مقدار موجود در دهه ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ کاهش می‌یابد. در صورت وقوع سناریوی RCP2.6 افزایش دمای کره زمین تا سال ۲۱۰۰ در حدود زیر دو درجه سانتی‌گراد خواهد بود.

RCP4.5: به‌عنوان سناریوی متوسط شناخته می‌شود که انرژی تابشی بعد از سال ۲۱۰۰ میلادی به ۴/۵ وات بر مترمربع خواهد رسید. آستانه این سناریو برای انتشار گازهای گلخانه‌ای در حدود سال ۲۰۴۰ میلادی اتفاق می‌افتد و بعد از آن به‌صورت کاهشی است. به‌طور جزئی‌تر، دی اکسید کربن تا سال ۲۰۴۵ میلادی شروع به کاهش می‌نمایند و تا سال ۲۱۰۰ مقدار آن به نصف مقدار سال ۲۰۵۰ خواهد رسید. همچنین افزایش انتشار گاز متان تا سال ۲۰۵۰ متوقف شده و مقدار آن رفته رفته به ۷۵ درصد سطح متان موجود در سال ۲۰۴۰ می‌رسد. مقدار سطح گاز دی اکسید سولفور نیز به ۲۰ درصد آنچه که در دهه ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ بوده، خواهد رسید. برای تحقق سناریوی RCP4.5 انتشار منفی گاز دی‌اکسید کربن همانند جذب توسط درختان باید در حدود دو گیگاتن در سال باشد.

جدول ۱- مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای تغییر اقلیمی موجود در مدل LARS-WG

Table 1- Atmospheric circulation models and climate change scenarios in LARS-WG model

نام مدل گردش عمومی General circulation model name	نام مرکز ارائه‌دهنده Name of provider center	سناریوهای تغییر اقلیم Climate change scenarios RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
EC-Earth	European community Earth-System			
GFDL-CM3	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory			
HadGEM2-ES	Hadley Centre Global Environment			
MIROC5	International Center for Earth Simulation			
MPI-ESM-MR	Max Planck Institute for Meteorology Earth System			

1- Proportional downscaling
2- Statistical downscaling
3- Dynamical downscaling
4- Long ashton research station weather generator
5- Weather generator
6- Representative concentration pathways

در صورت وقوع این سناریو میزان افزایش دمای تا سال ۲۱۰۰ بین ۲ تا ۳ درجه سانتی‌گراد بوده و افزایش سطح دریا حدود ۳۵ درصد بیشتر از سناریوی RCP2.6 خواهد بود. با این‌حال، بسیاری از درختان و گونه‌های جانوری قادر به ادامه حیات تحت این سناریو نخواهند بود.

RCP8.5: این سناریو به‌عنوان بدترین حالت وقوع تغییر اقلیمی شناخته می‌شود. زیرا انتشار گازهای گلخانه‌ای در آن طی قرن ۲۱ به صورت پیو سته افزایش یافته، به‌گونه‌ای که انرژی تاب شی به حدود ۸/۵ وات بر مترمربع قبل از سال ۲۱۰۰ خواهد رسید.

شاخص‌های آماری

در این تحقیق، نتایج حاصل از سناریوها با داده ایستگاه قروین برای محصول گندم، توسط معیارهای آماری خطا شامل آماره‌های ضریب تبیین (R^2)[1]، خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)[2] و خطا (ME)[3] مقایسه شدند.

ضریب تبیین یکی از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی ارتباط میان دو متغیر x و y است که به‌صورت بی بعد نمایش داده می‌شود. این ضریب ارتباط مستقیمی با ضریب همبستگی دارد. به این ترتیب که با جذر گرفتن از ضریب تبیین می‌توان ضریب همبستگی میان دو سری مورد برر سی را به‌د ست آورد. همانند ضریب همب ستگی هر چه مقدار ضریب تبیین به یک نزدیک‌تر باشد، ارتباط قوی‌تری میان دو متغیر وجود دارد. در صورت ضرب ضریب تبیین در عدد ۱۰۰ مقدار به‌دست آمده بیان‌گر درصد واریانس تغییرات متغیر x است که با متغیر y تو صیف می شود. طبقه‌بندی ضریب پیر سون در جدول ۲ آورده شده است (Joinior et al., 2017).

برای محاسبه ضریب تبیین از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

ریشه دوم میانگین خطا (RMSE) که به شکل معادله ۶ نشان داده می‌شود، یکی دیگر از آماره‌هایی است که معمولاً از آن برای ارزیابی دقت پیش‌بینی‌های یک مدل در برابر مشاهده‌ها استفاده می‌شود. این آماره در واقع واریانس خطای مدل را در پیش‌بینی مقادیر واقعی نشان می‌دهد.

بنابراین، هر چه مقدار این آماره به صفر نزدیک‌تر باشد، مدل خطای کمتری در پیش‌بینی مقادیر مشاهده‌ای خواهد داشت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i-P_i)^2}{n}}$$ معادله (۶)

شاخص ME، بیش‌ترین خطا در مدل را نشان می‌دهد که با استفاده از معادله ۷ محاسبه می‌شود. مقدار زیاد ME نشان‌دهنده بدترین حالت کارکرد است.

$$ME = Max\,|O_i - P_i|$$ معادله (۷)

که در این معادله‌ها، O_i و P_i: مقدار مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده، $\bar{O}$: میانگین مقادیر مشاهده‌ای و n: تعداد داده‌ها یا طول سری زمانی است.

نتایج و بحث

ارزیابی متغیرهای اقلیمی

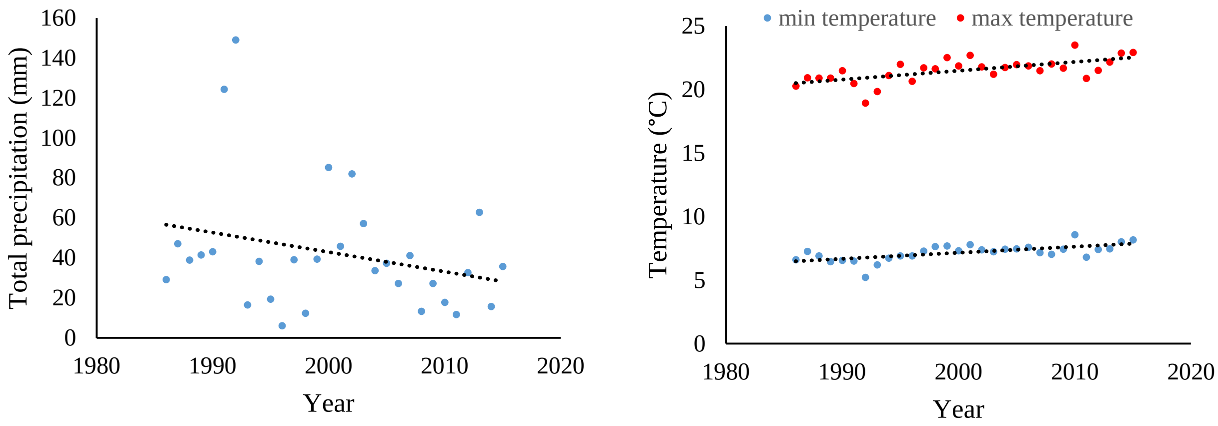
شکل ۲ میانگین نوسانات سالانه مؤلفه‌های اقلیمی طی بازه ۱۹۸۶-۲۰۱۵ را برای ایستگاه قزوین نشان می‌دهد. دمای حداقل و حداکثر با شیب نسبتاً ملایمی طی این سال‌ها افزایش و از طرف دیگر، مقدار بارش روند کاهشی داشته است.

جدول ۲- تقسیم‌بندی نتایج شبیه‌سازی ضریب پیرسون

Table 2- Classification of Pearson coefficient

نتایج تخمین Estimation result	بدون همبستگی Not correlated	ضعیف Weak	متوسط Moderate	قوی Strong
R^2	**<0.1**	**0.1 to 0.2**	**0.2 to 0.5**	**>0.5**

1- Determination coefficient
2- Root mean square error
3- Maximum error



شکل ۲- تغییرات مؤلفه‌های بارش و حداقل و حداکثر دما طی سال‌های ۲۰۱۵- ۱۹۸۶

Fig. 2- Precipitation and minimum and maximum temperature changes during the years 1986-2015

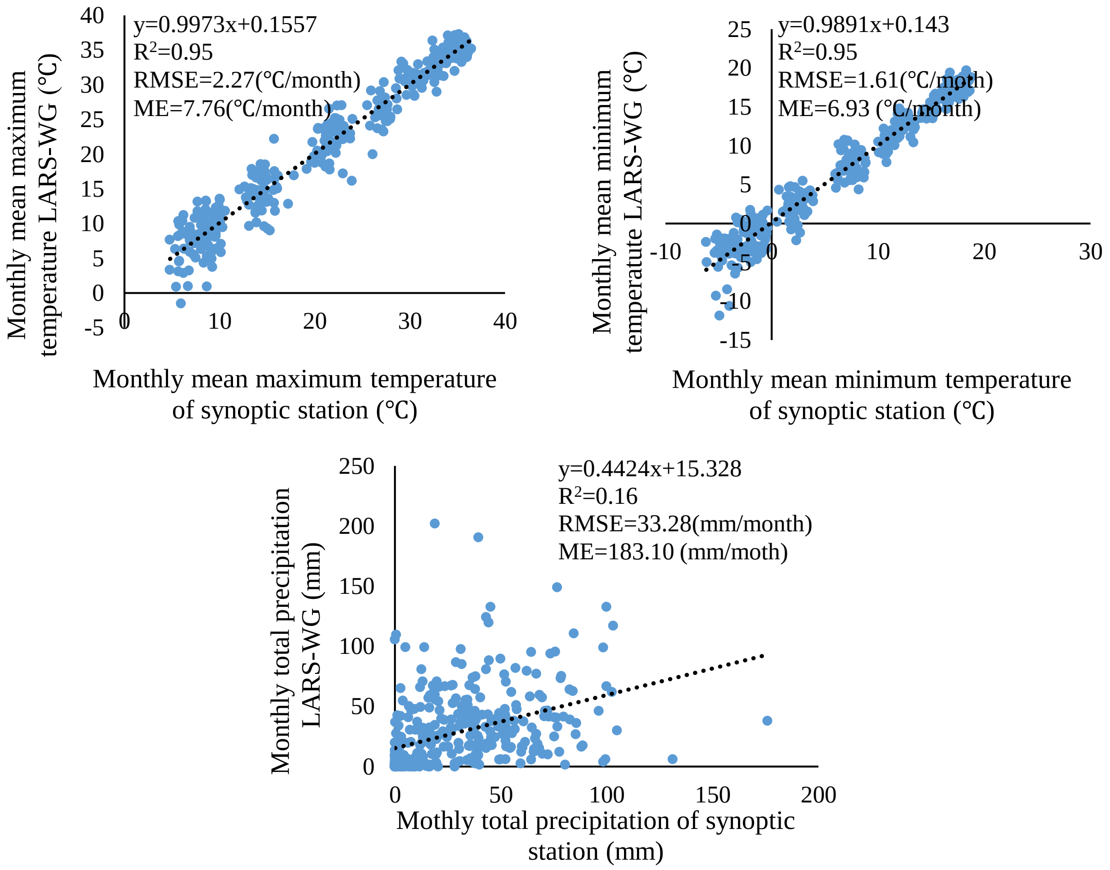
برای ارزیابی، از مدل‌های گردش عمومی موجود در مدل LARS-WG (EC-Earth، GFDL-CM3، HadGEM2-ES، MIROC5، MPI-ESM-MR) و سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در دوره پایه ۲۰۱۵- ۱۹۸۶ استفاده شد. نیاز آبی و عملکرد گندم در دوره پایه و دوره‌های آتی با نرم‌افزار Aqua Crop محاسبه شد.

نتایج ارزیابی داده های بارش، دمای حداقل و حداکثر ایستگاه سینوپتیک قزوین و شبیه سازی شده با مدل LARS-WG در دوره پایه (۲۰۱۵- ۱۹۸۶) در شکل ۳ آورده شده است.

ضریب تبیین برای دمای حداکثر و حداقل شبیه‌سازی شده با مدل LARS-WG در شکل ۳ نشان می‌دهد که داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های ایستگاه سینوپتیک همبستگی بالایی دارند. مقدار ضریب تبیین بیش از ۹۰ درصد نشان می‌دهد که بیش از ۹۰ درصد واریانس موجود در داده‌های دمای حداقل و حداکثر ایستگاه سینوپتیک با داده‌های مدل LARS-WG توصیف می‌شود. مقدار RMSE در دمای حداقل و حداکثر کمتر از سه درجه سانتی‌گراد است که بیانگر انحراف کم دمای شبیه سازی شده با مدل LARS-WG در مقایسه با دمای واقعی است. مقدار شاخص ME برای دمای حداقل برابر ۶/۹۳ (درجه سانتی‌گراد بر ماه) و برای دمای حداکثر برابر ۷/۷۶ (درجه سانتی‌گراد بر ماه) به‌دست آمد.

ضریب تبیین برای بارش شبیه سازی شده با مدل LARS-WG در شکل ۳ نشان می‌دهد که داده‌های شبیه سازی شده و داده‌های ایستگاه سینوپتیک همبستگی بالایی ندارند و ضریب تبیین به‌کمتر از ۰/۵ کاهش می یابد. مقدار RMSE و ME به‌ترتیب برابر ۳۳/۲۸ (میلی‌متر بر ماه) و ۱۸۳/۱۰ (میلی‌متر بر ماه) به‌دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که مدل در شبیه سازی دمای حداقل و حداکثر دقت بیشتری نسبت به بارش دارد. در پژوهشی عملکرد مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه بررسی کردند. نتایج حاصل نشان داد که هر دو مدل در شبیه‌سازی دما دقت بیشتری نسبت به بارش دارند که با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد (Goudarzi et al.,2015).

درصد تغییرات دمای حداقل، حداکثر و بارش در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه در جداول ۳ تا ۵ آورده شده است.



شکل ۳- نتایج ارزیابی ماهانه مجموع بارش، میانگین دمای حداقل و حداکثر ایستگاه سینوپتیک قزوین و شبیه‌سازی شده با مدل LARS-WG در دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸٦)

Fig. 3- Results of monthly evaluation of total precipitation, mean minimum and maximum temperature of Qazvin synoptic station and simulated with LARS-WG model in the baseline (1986-2015)

جدول ۳- درصد تغییرات دمای حداقل تحت سه سناریو و دوره‌های آتی در مقایسه با دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸٦)

Table 3- Percentage of minimum temperature changes under the three scenarios and future periods compared to the base period (1986-2015)

مدل‌های گردش عمومی GCMs	سناریوها Scenario	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
EC-EARTH	RCP4.50	13.03	23.14	29.17	28.29
	RCP8.50	12.94	27.86	45.45	44.56
GFDL-CM3	RCP4.50	19.48	30.80	39.01	38.13
	RCP8.50	24.64	37.17	55.75	54.88
HadGEM2-ES	RCP2.60	19.18	26.03	24.05	23.17
	RCP4.50	16.44	26.95	37.83	36.95
	RCP8.50	21.47	36.28	57.93	57.06
MIROC5	RCP4.50	12.13	21.11	26.19	25.31
	RCP8.50	12.25	27.51	42.00	41.13
MPI-ESM-MR	RCP4.50	13.15	21.54	28.95	28.08
	RCP8.50	15.59	31.03	47.87	47.00

جدول ٤- درصد تغییرات دمای حداکثر تحت سه سناریو و دوره‌های آتی در مقایسه با دوره پایه (۲۰۱۵- ۱۹۸٦)

Table 4- Percentage of maximum temperature changes under the three scenarios and future periods compared to the base period (1986-1986)

مدل‌های گردش عمومی GCMs	سناریوها Scenario	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
EC-EARTH	RCP4.50	4.08	7.46	9.48	9.44
	RCP8.50	4.04	9.06	14.91	14.87
GFDL-CM3	RCP4.50	8.24	13.65	17.23	17.18
	RCP8.50	10.33	16.60	24.59	24.53
HadGEM2-ES	RCP2.60	7.14	10.72	9.09	9.03
	RCP4.50	6.89	10.43	15.95	15.90
	RCP8.50	8.47	14.67	23.17	23.12
MIROC5	RCP4.50	4.94	8.32	11.37	11.31
	RCP8.50	4.00	10.72	15.97	15.91
MPI-ESM-MR	RCP4.50	5.82	8.10	11.77	11.72
	RCP8.50	6.05	11.78	18.90	18.86

جدول ٥- درصد تغییرات بارش تحت سه سناریو و دوره‌های آتی در مقایسه با دوره پایه (۲۰۱۵- ۱۹۸٦)

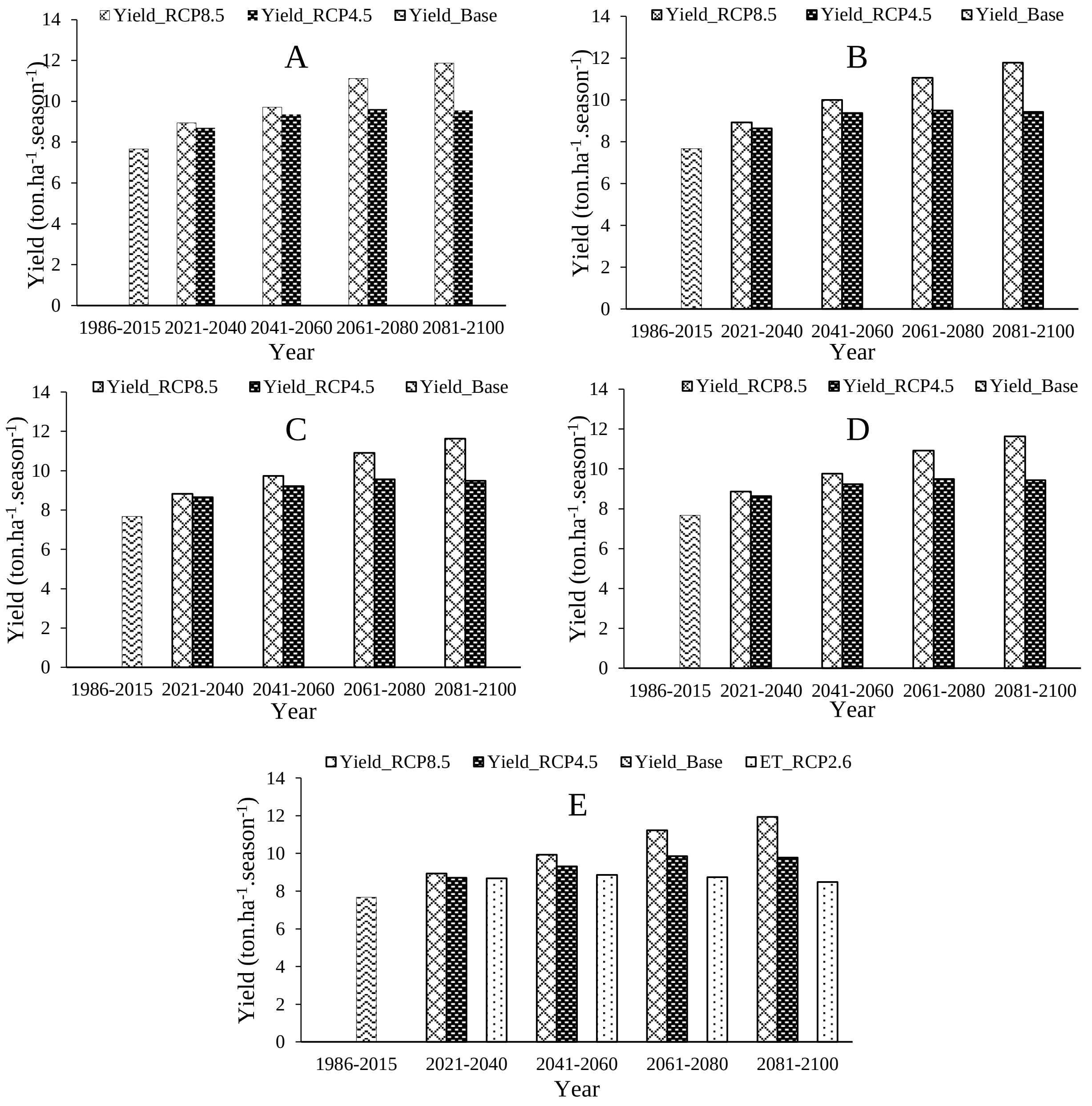
Table 5- Percentage of precipitation changes under the three scenarios and future periods compared to the base period (1986-2015)

مدل‌های گردش عمومی GCMs	سناریوها Scenario	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
EC-EARTH	RCP4.50	9.73	10.70	13.86	0.34
	RCP8.50	11.28	16.69	12.03	-1.31
GFDL-CM3	RCP4.50	4.03	0.37	-3.65	-16.11
	RCP8.50	0.53	-0.05	-2.04	-13.44
HadGEM2-ES	RCP2.60	17.72	12.84	22.93	9.02
	RCP4.50	9.24	25.72	18.92	5.05
	RCP8.50	7.39	12.00	17.98	4.12
MIROC5	RCP4.50	4.71	14.23	0.71	-10.63
	RCP8.50	15.92	7.21	11.85	-1.13
MPI-ESM-MR	RCP4.50	-4.02	8.01	-1.83	-13.51
	RCP8.50	7.61	-3.01	-7.12	-17.49

نتایج جدول۳ نشـــان می‌دهد که دمای حداقل در همه مدل‌های (EC-Earth، HadGEM2-ES، MIROC5، GFDL-CM3 و MPI-ESM-MR) مورد بررســی تحت هر ســه ســناریو (RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5) در دوره‌های آتی (۲۱۰۰-۲۰۸۰، ۲۰۸۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۴۰ و ۲۰۴۱-۲۰۲۱) نســبت به دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۶) افزایش می‌یابد و بیشترین در صد تغییرات در مدل HadGEM2-ES تحت سناریوی RCP8.5 در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ محاسبه شده است. نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که دمای حداکثر در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد و بیشــترین درصــد تغییرات در مدل GFDL-CM3 تحت ســناریوی RCP8.5 در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ حاصـل شـد. نتایج جدول ۵ نشـان می‌دهد که درصـد تغییرات بارش شبیه سازی شده در مدل‌های متخلف و تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در دوره های آتی نســبت به دوره پایه بین ۲۵/۷۲ تا ۱۷/۴۹- درصــد متغیر اســت. در پژوهشــی برای بررســی تغییرات دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعت آفتابی همدان در دوره ۲۰۶۵- ۲۰۴۶ از مدل LARS-WG و ســناریوهای A_2، A_1B و B_1 استفاده کردند. نتایج نشان داد که دمای حداقل و حداکثر افزایش می‌یابد و تغییرات بارش، هم به‌صــورت افزایشــی و هم به‌صــورت کاهشی برآورد شد (Asadi et al., 2020) که با نتیجه مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد.

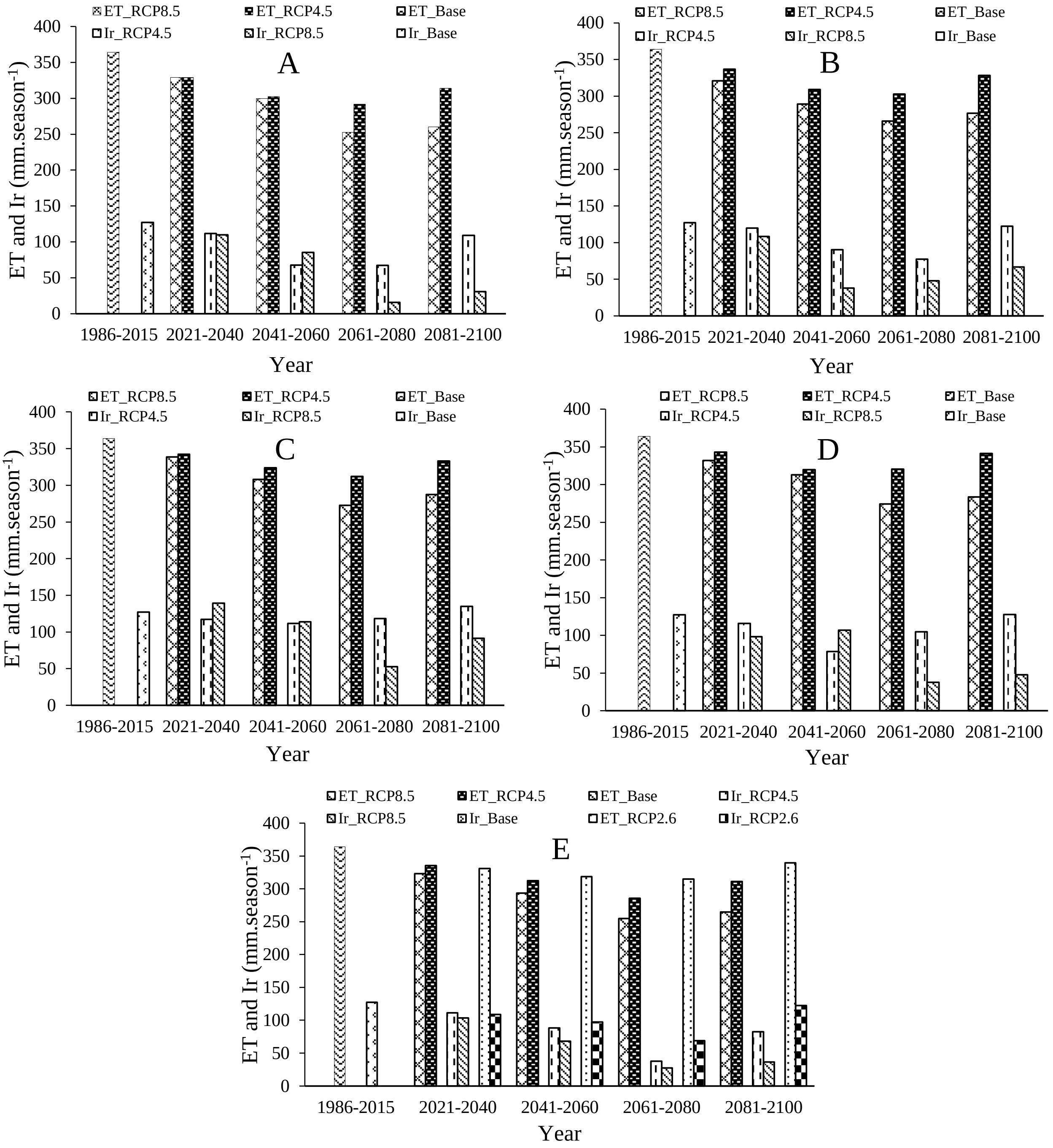
ارزیابی عملکرد و نیاز آبی گندم

آنالیز حساسیت موضعی مدل Aqua Crop برای محصول گندم در دشت قزوین (Adabi et al., 2020)، واسنجی این مدل (Kamali et al., 2016) و کالیبراسیون مدل LARS-WG در دشت قزوین (Akbari et al., 2019) توسط محققان صورت گرفته و به همین دلیل در این مطالعه به آنالیز حساسیت و واسنجی پرداخته نشده است. برای برآورد عملکرد و نیاز آبی در دوره‌های آتی از داده‌های بارش و دما پیش‌بینی شده مدل LARS-WG6 و دی‌اکسید کربن سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 موجود در مدل Aqua Crop استفاده شد.



شکل ٤- الف) نتایج میانگین سالانه عملکرد گندم مدل EC-EARTCH، ب) نتایج میانگین سالانه عملکرد گندم مدل GFDL-CM3، ج) نتایج میانگین سالانه عملکرد گندم مدل MPI-ESM-MR، د) نتایج میانگین سالانه عملکرد گندم مدل MIROC5 و ه) نتایج میانگین سالانه عملکرد گندم مدل HadGEM2-ES برای بازه‌های (۲۰۴۰-۲۰۲۱)، (۲۰۶۰-۲۰۴۱)، (۲۰۸۰-۲۰۶۱) و (۲۱۰۰-۲۰۸۱)

Fig. 4- A) Results of annual mean yield EC-EARTCH model, B) Results of mean annual yield GFDL-CM3 model, C) Results of mean annual yield MPI-ESM-MR model, D) Results of mean annual yield MIROC5 model, and E) Results of mean annual yield HadGEM2-ES model for the periods (2021-2040), (2041-2060), (2061-2080) and (2081-2100)



شکل ۵- الف) نتایج میانگین سالانه نیاز آبی و تبخیر تعرق گندم مدل EC-EARTCH، ب) نتایج میانگین سالانه نیاز آبی و تبخیر تعرق گندم مدل GFDL-CM3، ج) نتایج میانگین سالانه نیاز آبی و تبخیر تعرق گندم مدل MPI-ESM-MR، د) نتایج میانگین سالانه نیاز آبی گندم و تبخیر تعرق مدل MIROC5 و ه) نتایج میانگین سالانه نیاز آبی و تبخیر تعرق گندم مدل HadGEM2-ES برای بازه‌های (۲۰۴۰-۲۰۲۱)، (۲۰۶۰-۲۰۴۱)، (۲۰۸۰-۲۰۶۱) و (۲۱۰۰-۲۰۸۱)

Fig. 5- A) Results of the mean annual water requirement and evapotranspiration EC-EARTCH model, B) Results of mean annual water requirement and evapotranspiration GFDL-CM3 model, C) Results of mean annual water requirement and evapotranspiration MPI-ESM-MR model, D) Results of mean annual water requirement and evapotranspiration MIROC5H model and E) Results mean annual water requirement and evapotranspiration HadGEM2-ES model for the periods (2021-2040), (2041-2060), (2061-2080) and (2081-2100)

نتایج عملکرد، تبخیر تعرق و نیاز آبی گندم برآورد شـــده با مدل Aqua Crop در ایســـتگاه ســـینوپتیک قزوین برای ســـناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 و مدل های گردش عمومی موجود در مدل LARS-WG (EC-Earth، GFDL-CM3، HadGEM2-ES، MIROC5، MPI-ESM-MR) در دوره‌های آتی ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ در شـــکل های ۴ و ۵ آورده شده است.

میانگین عملکرد گندم برای دوره پایه ۷/۶۷ (تن بر هکتار بر فصل) به‌دست آمد. میانگین عملکرد در دوره‌های آتی افزایش می‌یابد که این میزان در مدل HadGEM2-ES با سناریوی RCP8.5 و دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۱ بیشـــترین مقدار را دارد. نیاز آبی در دوره پایه ۱۲۷/۱۴ (میلی‌متر بر فصـــل) به‌دســـت آمد. میانگین نیاز آبی در دوره‌های آتی کاهش می یابد. حداکثر عملکرد گندم در دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۶) ۸/۵۹ (تن بر هکتار بر فصـــل) بود و حداکثر عملکرد گندم پیش‌بینی شده در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ و مدل MIROC5 با سناریوی RCP8.5 برابر ۹/۸۶ (تن بر هکتار بر فصل)، در دوره ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و GFDL-CM3 با ســـناریوی RCP8.5 برابر ۱۰/۵۰ (تن بر هکتار بر فصـــل)، و در دوره‌های ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ و مدل HadGEM2-ES با سناریوی RCP8.5 به‌ترتیب برابر ۱۱/۷۸ و ۱۲/۲۹ (تن بر هکتار بر فصـــل) برآورد شـــد. حداقل عملکرد گندم در دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۶) ۶/۹۶ (تن بر هکتار بر فصـــل) به‌دســـت آمد و حداقل عملکرد گندم پیش‌بینی شده در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ و مدل MIROC5 با سناریوی RCP4.5 برابر ۸/۲۲ (تن بر هکتار بر فصـــل) و در دوره‌های ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ و مدل HadGEM2-ES با ســـناریوی RCP2.6 به‌ترتیب برابر ۸/۵۶، ۸/۴۰ و ۸/۲۸ (تن بر هکتار بر فصل) حساب شده است. میزان میانگین تبخیر تعرق در دوره پایه ۳۱۳/۳۴ میلی‌متر بود. نتایج نشـــان می‌دهد که تبخیر تعرق در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ افزایش می یابد. در دوره های ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ تبخیر تعرق هم به‌صـــورت افزایشـــی و هم به‌صـــورت کاهشـــی دیده شـــد. در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱، مدل EC-EARTH با سناریوی RCP8.5 بیشترین درصد تغییرات برآورد تبخیر تعرق گندم را داشـــته اســـت. حداکثر تبخیر تعرق دوره پایه ۳۶۴ (میلی‌متر بر فصـل) بود و حداکثر تبخیر تعرق پیش‌بینی شـده در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ و مدل MIROC5 با ســـناریوی RCP4.5 برابر ۳۹۴ (میلی‌متر بر فصـل)، در دوره ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و مدل MPI-ESM-MR با سناریوی RCP4.5 برابر ۳۶۶ (میلی‌متر بر فصل)، در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و مدل MIROC5 با سـناریوی RCP4.5 برابر ۳۵۴ (میلی‌متر بر فصـــل) و دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۱ و مدل MIROC5 با ســـناریوی RCP4.5 و مدل HadGEM2-ES با سـناریوی RCP2.6 برابر ۳۸۳ (میلی‌متر بر فصـل) محاسـبه شـد. یکی از دلایلی که نیاز آبی کاهش پیدا کرده اسـت افزایش درصـد بارندگی در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ است. در صد تبخیر تعرق در این دوره افزایشی بوده، امّا به‌دلیل آنکه در صد بارندگی بیشتر بوده در نتیجه، نیاز آبی کاهشی شده است.

در پژوهشی که در برآورد نیاز آبی گندم زمستانه دشت گرگان در شرایط تغییر اقلیم انجام دادند، مقدار نیاز آبی گندم زمستانه بر اساس هر ســـه ســـناریوی انتشـــار RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 کاهش داشته است که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد (Arefinia et al., 2020). در پژوهشی به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی در استان خراسان رضوی پرداختند (Zeinali Mobarakeh et al., 2019). نتایج آن‌ها نشـــان داد که اگر تغییرات اقلیمی در آینده با افزایش غلظت دی‌اکســـید کربن همراه باشـــد اثرات منفی اقلیمی از جمله افزایش دما و کاهش بارندگی بر رشد و گندم در استان خراسان رضـوی خنثی گردیده و موجب افزایش عملکرد و کارایی مصـرف آب گندم می‌شـود. غلظت دی‌اکسـید کربن یک متغیر مهم مورد نیاز در شبیه سازی رشد گیاهان C_3 است. افزایش غلظت دی‌اکسید کربن علی‌رغم نقش مســـتقیمی که در تغییرات اقلیمی دارد، به‌دلیل افزایش فتوسـنتز، کاهش هدایت روزنه‌ای و در نتیجه، کاهش تعرق از سـطح برگ موجب افزایش عملکرد و بهره‌وری آب گیاهان زراعی می‌شـــود (Burkart et al., 2011).

نتایج ارزیابی درصد تغییرات عملکرد، نیاز آبی گندم و تبخیر تعرق در جدول ۶ تا ۸ آورده شده است.

جدول ٦- درصد تغییرات عملکرد گندم در ایستگاه سینوپتیک قزوین تحت سه سناریو و چهار دوره آتی در مقایسه با دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸٦)

Table 6- Percentage of changes in wheat yield in Qazvin synoptic station under three scenarios and four future periods compared to the baseline (1986-2015)

مدل‌های گردش عمومی GCMs	سناریوها scenario	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
EC-EARTH	RCP4.5	13.41	21.90	25.46	24.60
	RCP8.5	16.68	26.55	44.94	54.71
GFDL-CM3	RCP4.5	12.60	22.24	23.83	22.93
	RCP8.5	16.46	30.36	44.32	53.66
HadGEM2-ES	RCP2.6	13.11	15.41	13.95	10.54
	RCP4.5	13.44	21.32	28.43	27.42
	RCP8.5	16.54	29.46	46.43	55.68
MIROC5	RCP4.5	12.57	20.40	23.71	22.91
	RCP8.5	15.47	27.28	42.23	51.62
MPI-ESM-MR	RCP4.5	12.76	20.07	24.61	23.63
	RCP8.5	15.07	26.96	42.11	51.47

جدول ۷- درصد تغییرات نیاز آبی گندم در ایستگاه سینوپتیک قزوین تحت سه سناریو و چهار دوره آتی در مقایسه با دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸٦)

Table 7- Percentage of changes in wheat water requirement in Qazvin synoptic station under three scenarios and four future periods compared to the baseline (1986-2015)

مدل‌های گردش عمومی GCMs	سناریوها scenario	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
EC-EARTH	4.5	-12.22	-46.67	-47.06	-14.34
	8.5	-13.56	-32.91	-87.77	-75.97
GFDL-CM3	4.5	-5.61	-28.86	-39.04	-3.61
	8.5	-14.70	-70.15	-62.40	-47.34
HadGEM2-ES	2.6	-14.38	-23.39	-45.81	-3.69
	4.5	-12.30	-30.63	-70.27	-34.95
	8.5	-18.59	-46.32	-78.49	-71.41
MIROC5	4.5	-9.00	-38.29	-17.53	0.36
	8.5	-22.68	-16.07	-70.43	-62.56
MPI-ESM-MR	4.5	-7.66	-12.26	-6.87	6.18
	8.5	9.45	-10.53	-58.47	-28.03

جدول ۸- درصد تغییرات تبخیر و تعرق گندم در ایستگاه سینوپتیک قزوین تحت سه سناریو و چهار دوره اتی در مقایسه با دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸٦)

Table 8- Percentage of changes in wheat evapotranspiration in Qazvin synoptic station under three scenarios and four future periods compared to the baseline (1986-2015)

مدل‌های گردش عمومی GCMs	سناریوها Scenario	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
EC-EARTH	4.5	5.16	-3.22	-6.91	0.23
	8.5	5.10	-4.04	-19.42	-17.01
GFDL-CM3	4.5	7.70	-0.87	-3.29	4.80
	8.5	2.73	-7.33	-15.14	-11.65
HadGEM2-ES	2.6	5.75	2.07	0.48	8.38
	4.5	7.23	0.06	-8.87	-0.75
	8.5	3.23	-5.96	-18.70	-15.51
MIROC5	4.5	9.65	2.39	2.33	8.91
	8.5	6.05	0.04	-12.52	-9.52
MPI-ESM-MR	4.5	9.40	3.54	-0.40	6.26
	8.5	8.19	-1.34	-12.94	-8.28

نتایج نشان می‌دهد که عملکرد محصول در دوره‌های آتی افزایش می یابد. در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ مدل EC-EARTH در ســـناریوی RCP8.5 بیشترین درصد تغییرات برآورد عملکرد گندم را داشته است. مدل GFDL-CM3 در ســـناریوی RCP8.5 در دوره ۲۰۶۰-۲۰۴۱

بیشـترین میانگین عملکرد را نسـبت به دوره پایه شـبیه‌سـازی کرده اسـت. در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ مدل HadGEM2-ES در سناریوی RCP8.5 بیشترین درصد تغییرات برآورد عملکرد گندم را دا شته ا ست. نیاز آبی طی دوره‌های آتی کاهش می‌یابد که این میزان کاهش در اکثر سـناریوهای RCP8.5 بیشـتر از دیگر سـناریوها بود. یکی از دلایلی که نیاز آبی در دوره های آتی کاهش یافته، کاهش تبخیر تعرق گیاه به‌علت کاهش طول دوره ر شد می‌با شد. در پژوهشی که بر روی برآورد نیاز آبی گندم زمستانه در کشور چین انجام دادند، به نتایج م شابهی د ست یافتند که با نتایج پژوهش حا ضر هم‌خوانی دارد (Xing et al., 2018). یکی دیگر از دلایل کاهش نیاز آبی را می‌توان به کاهش هدایت روزنه‌ای نا شی از افزایش غلظت CO_2 و نیز کاهش طول فصل رشد ناشی از افزایش دما نسبت داد. در پژوهشی در بیرجند تحت شـرایط تغییر اقلیم به این نتیجه رسـیدند که با کوتاه‌تر شـدن طول دوره رشـد گندم و جو، میزان نیاز آبی این دو گیاه در کل دوره ر شد ن سبت به دوره پایه کاهش می‌یابد (Rahmani et al., 2016). در پژوهشی به بررسی رخداد تغییر اقلیم و تأثی آن بر فنولوژی عملکرد گندم دیم در منطقه غرب و شـمال غرب ایران پرداختند. نتایج نشـان داد که عملکرد دا نه گ ندم ۳۵ درصـــد افزایش خوا هد داشـــت (Mohammadi et al., 2020) که با نتیجه مطالعه حاضـر هم‌خوانی دارد. حداکثر ن یاز آبی دوره پا یه (۲۰۱۵-۱۹۸۶)، ۲۷۴ (میلی‌متر بر ف صل) بود و حداکثر نیاز آبی پیش‌بینی شده در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ در مدل MPI-ESM-MR با سناریوی RCP8.5 برابر ۲۶۵ (میلی‌متر بر فصل)، برای دوره ۲۰۶۰-۲۰۴۱ در مدل HadGEM2-ES با سناریوی RCP4.5 برابر ۱۶۷ (میلی‌متر بر فصـــل)، در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ در مدل های GFDL-CM3 و EC-EARTH با ســـناریوی RCP4.5 برابر ۱۶۳ (میلی‌متر بر فصـــل) و در دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۱ در مدل GFDL-CM3 با سـناریوی RCP4.5 برابر ۲۵۴ (میلی‌متر بر فصـل) برآورد شد. در پژوهشی به مدل سازی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبیاری و کارایی مصـرف آب در گندمزارهای اسـتان خوزسـتان پرداخته شـد (Deihimfard et al., 2017). نتایج آن‌ها ن شان داد که عملکرد دانه گندم در شـرایط تغییر اقلیم نسـبت به دوره پایه افزایش می‌یابد و با توجه به افزایش دما و افزایش غلظت CO_2، کاهش رشـد و کاهش تبخیر و تعرق نیاز آبی در شرایط تغییر اقلیم کاهش می‌یابد که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به ارزیابی ماهانه دمای حداقل و حداکثر و بارش دوره پایه (۲۰۱۵-۱۹۸۶) و شـبیه‌سـازی شـده با مدل LARS-WG پرداخته شـد. نتایج نشـــان داد که داده‌های دمای حداقل و حداکثر شبیه‌سازی شده و داده‌های ایستگاه سینوپتیک همبستگی بالایی دارند و ضـریب تبیین در دوره پایه بیش از ۹۰ درصـد به‌دسـت آمد. برای متغیرهای دمای حداقل و حداکثر، مقدار RMSE کمتر از سـه (درجه سانتی‌گراد بر ماه) محا سبه شد. ضریب تبیین برای بارش شبیه سازی شده با مدل LARS-WG ن شان داد که داده‌های شبیه سازی شده و داده‌های ایستگاه سینوپتیک همبستگی بالایی ندارند و ضریب تبیین به کمتر از نیم کاهش می‌یابد. به‌طور کلی، ارزیابی آماری نشان داد که مدل در شبیه سازی دمای حداقل و حداکثر دقت بی شتری ن سبت به بارش دارد. همچنین برای برآورد عملکرد و نیاز آبی در دوره‌های آتی از داده های بارش و د ما پیش‌بینی شـــده مدل LARS-WG6 و دی‌اکسید کربن سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 موجود در مدل Aqua Crop اسـتفاده شـد. میانگین عملکرد گندم برای دوره پایه ۷/۶۷ (تن بر هکتار بر فصـل) به‌دسـت آمد. میانگین عملکرد در دوره های آتی افزایش می یابد که این میزان در مدل HadGEM2-ES با سناریوی RCP8.5 و دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۱ بیشترین مقدار را دارد. نیاز آبی در دوره پایه ۱۲۷/۱۴ (میلی‌متر بر فصل) به‌دست آمد. میانگین نیاز آبی در دوره‌های آتی کاهش می‌یابد. در کل می‌توان بیان کرد که در دوره های آتی عملکرد گندم در دشـــت قزوین افزایش و نیاز آبی کاهش می‌یابد. غلظت دی‌اکسـید کربن یک متغیر مهم مورد نیاز در شبیه سازی ر شد گیاهان C_3 ا ست. افزایش غلظت دی‌اک سید کربن علی‌رغم نقش مسـتقیمی که در تغییرات اقلیمی دارد، به‌دلیل افزایش فتوسـنتز، کاهش هدایت روزنه‌ای و در نتیجه کاهش تعرق از سـطح برگ موجب افزایش عملکرد و بهره‌وری آب گیاهان زراعی می‌شـود. نتایج تحقیق حاضـــر در رابطه با تأثیر شـــرایط تغییر اقلیم آینده بر عملکرد و نیاز آبی گندم در دشت قزوین می‌تواند ابزار سودمندی برای مدیران، کار شنا سان، برنامه‌ریزان و سیا ست‌گذاران بخش آب به‌منظور مدیریت صحیح و پایدار منابع آب و در راستای توسعه کشاورزی باشد.

Refrences

Adabi, V., Azizian, A., Ramezani Etedali, H., Kaviani, and A., Ababaei, B., 2020. Local swnsitivity analysis of Aqua Crop model for wheat and maize in plain and Moghan Pars-Abad in Iran. Iranian Journal of Irrigation and Derainage 6(13): 1565-1579. (In Persian with English Summary)

Akbari, M., Najafi Alamdalo, H., and Mosavi, S.H., 2019. Impacts of climate change and drought on imcome risk and crop pattern in Qazvin plain irrigation network. Journal of Water Research in Agriculture 33(2): 265-282. DOI:10.22092/JWRA.2019.119742 .(In Persian with English Summary)

Arefinia, A., Ahmadali, K., and Nasiri Mirian, M., 2020. Estimation of water requirement of winter wheat in Gorgan plain in the conditions of climate change. Iranian Soil and Water Research 51(7): 1868-1857. (In Persian with English Summary)

Asadi, M., Zarabianeh, H., Delavar, N., and Asadi, A., 2020. The effect of climate change phenomenon on climate parameters of Hamedan. Environmental Science and Technology 21(9): 1-14. (In Persian with English Summary)

Azuara, J., Howitt, R., MacEwan, D., and Lund, J., 2011. Economic impacts of climate-related changes to California agriculture. Journal of Climatic Change 109: 387-405.

Babolhakami, A., Gholami-Sefidkoohi, M., and Emadi, M., 2020. The effect of climate change on the evaporation of reference transpiration in Mazandaran province. Iranian Soil and Water Research 51(2): 387-401. (In Persian with English Summary)

Burkart, S., Manderscheid, R., Wittich, K.P., Löpmeier, F., and Weigel, H.J., 2011. Elevated CO_2 effects on canopy andsoil water flux parameters measured using a large chamber in crops grown with free-air CO_2 enrichment. Plant Biol (Stuttg)13: 258-269. DOI: 10.1111/j.1438-8677.2010.00360.x

Deihimfard, D., Eyni Nargeseh, H., and Farshadi, S., 2017. Modeling the effects of climate change on irrigation requirement and water use efficiency of wheat fields of Khuzestan province. Journal of Water and Soil 31(4): 1015-1030.

Eyshi Rezaie, E., and Bannayan, M., 2012. Rainfed wheat yields under climate change in Northeastern Iran. Meteorological Application 19: 346-354.

Goudarzi, M., Salahi, B., and Hosseini, S.A., 2015. Performance assessment of LARS-WG and SDSM Downscaling Models in simulation of climate changes in Urmia Lake Basin. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering 9(31):11-22. (In Persian with English Summary)

IPCC. Summary for policymakers. In: Climate Change. 2014. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge. United Kingdom and New York. NY. USA. pp. 1-32.

Jalali, M., Sarai Tabrizi, M., and Babazadeh, H., 2020. Investigation of the effect of climate change on runoff and water balance of Latian dam catchment using SWAT model. Echo Hydrology 7(1): 17-28. (In Persian with English Summary)

Janjua, P.Z., Samad, G., and Khan, N., 2014. Climate change and wheat production in Pakistan. Autoregressive distributed lag approach. NJAS – Wageningen. Journal of Life Sciences (68): 13-19.

Joinior, W., Loireau, M., Fargette, M., Filho, B., and Wele, A., 2017. Correlation between soil erodibility and satellite data on areas of current desertification: A case study in Senegal. *Ciência & Trópico*. 42(2): 51-66.

Kamali, B., Ramezani Etedali, H., and Sotoodehnia, A., 2016. Determining appropriate time for rainfed lentil sowing and supplementary irrigation in Qazvin's Plain using AquaCrop Model. Iranian Journal of Irrigation and Derainage 5(10): 613-621. (In Persian with English Summary)

Karimi, T., Stöckle, C., Higgins, S., and Nelson, R., 2017. Climate change and dryland wheat systems in the US Pacific Northwest. Agricultural Systems. 159: 144-156. DOI.org/10.1016/j.agsy.2017.03.014

Kemfert, C., 2009. Climate protection requirements the economic impact of climate change. Bausch & Burkhard Schwenker (ed.), Handbook Utility Management, chapter 42, 725-739. doi.org/10.1007/978-3-540-79349-6_42.

Khaliliaqdam, N., Masaedi, A., Soltani, A., and Kamkar, B., 2012. Evaluation of the ability of LARS-WG model in predicting some atmospheric parameters of Sanandaj. Journal of Soil and Water Conservation Research (4)19: 122-85. (In Persian with English Summary)

Koohi, M., Shirmohammadi, Z., Khani, A., Mohammadian, A., and Habibi-Nokhandan, H., 2020. Spatial-temporal distribution of reference temperature and evapotranspiration using CRU data in Khorasan Razavi and predicting future

changes based on CMIP5 climate models. Remote Sensing and GIS Iran 12(1): 72-55. (In Persian with English Summary)

Ludwig, F., and Asseng, S., 2008. Impacts and adaptation to climate change in Western Australian wheat cropping systems. Agricultural Systems, 90: 159-179.

Lv, Z., Lio, X., Cao, W., and Zhu, Y., 2013. Climate change impacts on regional winter wheat production in main wheat production regions of China. Agricultural of Forest Meteorology 171: 234-248.

Mohammadi, E., Movahedi, S., Mohammadi, R., and Golgari, S. 2020. Investigation of climate change occurrence and its impact on dryland wheat yield phenology in the West and Northwest of Iran. Climatological Research. 11(43): 159-170. (In Persian with English Summary)

Nazari., R., and Kaviani., A., 2016. Evaluation of potential evaporation and transpiration methods and evaporation pan with elysimeter values in a semi-arid climate (Case study: Qazvin plain). Echo Hydrology 3(1): 19-30. (In Persian with English Summary)

Nikbakhtshahbazi, A., 2018. Investigation of precipitation changes and evapotranspiration of agricultural products in Khuzestan province under the influence of climate change. Water and Soil Conservation Research 25(6): 139-123. (In Persian with English Summary)

Rahmani, M., Jami Al-Ahmadi, M., Shahidi, A., and Hadizadeh Azghandi, M., 2016. Effects of climate change on length of growth stages and water requirement of wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) (Case study: Birjand plain). Journal of Agroecology 7(4): 443-460. (In Persian with English Summary)

Reilly, J., 1999. What does climate change mean for agriculture in developing countries? A comment on Mendelsohn and Dinar. The World Bank Research Observer. (14): 295-305.

Samadi, Z., Massahbovani, A., and Madavi, M., 2007. Investigating the effect of small regression scaling methods on river flood regime. Technical workshop on the effects of climate change on water resources management. https://civilica.com/doc/115812

Soria-Ruiz, J., Fernandes-Ordonez, Y., Quijano-Carranza, A., Macías-Cervantes, J., Sauceda, P., Gonzalez, D., and Quintana, J., 2012. Remote Sensing and Simulation Model for Crop Management. Proceedings of the PIERS Proceedings, Kuala Lumpur, Malaysia, 27-30.

Srivastava, A.K., Mboh, C.M., Zhao, G., Gaiser, T., and Ewert, F., 2018. Climate change impact under alternate realizations of climate scenarios on maize yield and biomass in Ghana. Agricultural Systems.159: 157-174. DOI.org/10.1016/j.agsy.2017.03.011

Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., and Raes, D., 2012. Crop yield response to water (Vol. 1028): Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome.

Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D., and Fereres, E., 2009. AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. Agronomy Journal 101(3): 426-437.

Sun, S.K., Li, C., Wu, P.T., Zhao, X.N., and Wang, Y.B., 2018. Evaluation of agricultural water demand under future climate change scenarios in the Loess Plateau of Northern Shaanxi, China. Ecological Indicators 84: 811-819.

Tao, X.E., Chen, H., Xu, C.Y., Hou, Y.K., and Jie, M.X., 2015. Analysis and prediction of reference evapotranspiration with climate change in Xiangjiang River Basin, China. Water Science and Engineering 8(4): 273-281.

Xing, W., Wang, W., Shao, Q., and Ding, Y., 2018. Estimating net irrigation requirements of winter wheat across Central-Eastern China under present and future climate scenarios. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 144(7): 05018005.

Zarei, K., Mohammadi, H., and Bazgir, S., 2019. Simulation of Gorgan Synoptic Station Temperature and Precipitation with RCP Scenarios. Physical Geography Research 51(4): 579-563. (In Persian with English Summary) DOI.10.22059/jphgr.2019.280943.1007378

Zeinali Mobarakeh, Z., Deihimfard, R., Kambouzia, J. 2019. Evaluation of the effects of climate change and its adaptation strategies on the performance and efficiency of water use of water wheat (Triticum aestivum): a case study of Razavi Khorasan province. Plant production research (agricultural sciences and natural resources) 26 (3): 71-87.

Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

CC BY

Research Article
Vol. 14, No. 4, Winter 2023, p. 769-782

Effect of Rice Residue Management on Growth and Quantitative and Qualitative Yield of Rapeseed (*Brassica napus*) Cultivars

Hamid Amanipor[1] and Seyed Keyvan Marashi[2*]

Received: 01-02-2021
Revised: 17-10-2021
Accepted: 30-10-2021
Available Online: 30-10-2021

How to cite this article:
Amanipor, H., and Marashi, S.K., 2023. Effect of rice residue management on growth and quantitative and qualitative yield of rapeseed (*Brassica napus*) cultivars. Journal of Agroecology 14(4): 769-782.
DOI: 0.22067/agry.2021.68463.1018

Introduction

One of the problems of agriculture in arid and semi-arid regions is low soil organic matter. Plant residues are a natural and important renewable source of plant nutrients that can be used together with other inputs to improve soil health and improve production. The method of preserving crop residues on the surface and cultivating directly inside the residues with minimal soil disturbance can be an alternative method for burning the residues, especially in summer cultivation. Therefore, in the present study, the effect of different rice residue managements on the growth and quantitative and qualitative yield of rapeseed cultivars was studied.

Materials and Methods

The experiment was performed as split plot layout based on a randomized complete block design with three replications. The main factor included the management of rice residues at four levels, including 1- According to conventional cultivation,2- Cultivation in plowed land with rice residues, 3- Cultivation in rice residues with 20 cm height, 4- Cultivation in rice residues with 40 cm height and the secondary factor of three rapeseed cultivars included 401, 4815 and okapi cultivars. In conventional cultivation (control), after harvesting the rice, the field was set on fire and after exposing the ground, plowing, disc and plotting of the land were done and planting according to the custom of the region in a row with distant 20 cm was planted. In the management of cultivation in plowed land with rice residues, after harvesting rice, plowing, disc and plot cultivation were done and planting was done in a row according to the custom of the region in a row with distances between planting lines of 20 cm. In the management of cultivation in rice residues with a height of 20 and 40 cm, rice harvesting from a height of 20 and 40 cm above the ground is done manually and then scattering rapeseed seeds similar to seed density in the custom method cultivation and then with the help of chisel plow rapeseed seeds it was mixed with the soil completely superficially at a depth of about 0.5-1 cm.

Results and Discussion

The results of analysis of variance showed that the effect of rice residue management on plant height, number of branches per plant, number of pods per plant, number of grains per pod, 1000- grain weight, grain yield, oil percentage and grain protein percentage was significant. The effect of cultivar types on number of pods per plant and grain yield was significant but not significant for other traits. Interaction of rice residue management and

1- M.Sc. of Agronomy, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
(*- Corresponding author's Email: marashi_47@yahoo.com)

cultivar type was significant on plant height, number of branches per plant, number of pods per plant, number of grains per pod and yield. The maximum grain yield in the cultivation of plowed land with rice residues in cultivar 4815 by 2449.48 kg/ha and the minimum grain yield in the cultivation of rice residues with a height of 40 cm in cultivar 401 by 1187.41 kg/ha was observed. The maximum oil percentage and grain protein percentage in the cultivation of plowed land with rice residues by 21.62 and 48.16 were observed, respectively and regard to other residue managements were not significant.

Conclusion

In general, the results showed that the rapeseed cultivation in plowed bed along with rice residues is effective in improving most of the growth and yield traits of rapeseed. In addition, cultivar 4815 is more suitable than cultivar 401 and okapi in terms of cultivation in plowed land with rice residues and this cultivar can be recommended for farmers and region.

Keywords: Residues preservation, residues burning, protein percentage, oil percentage

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

تأثیر مدیریت بقایای برنج بر خصوصیات رشدی، عملکرد کمّی و کیفی ارقام کلزا(*Brassica napus*)

حمید امانی‌پور[1] و سید کیوان مرعشی[2]*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۷/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۸

امانی‌پور، ح.، و مرعشی، س.ک.، ۱۴۰۱. تأثیر مدیریت بقایای برنج بر خصوصیات رشدی، عملکرد کمّی و کیفی ارقام کلزا(*Brassica napus*). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۴): ۷۸۲-۷۶۹.

چکیده

حفظ بقایای گیاهی با حداقل بهم خوردگی خاک می‌تواند جایگزین مناسبی برای سوزاندن بقایا بعد از برداشت برنج باشد. بر این اساس و به‌منظور بررسی اثر مدیریت‌های مختلف بقایای برنج بر صفات کمّی و کیفی کلزا (*Brassica napus*) ، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۹۸- ۱۳۹۷ در اراضی کشاورزی جهاد کشاورزی شهرستان ایذه واقع در شمال استان خوزستان انجام شد. عامل اصلی مدیریت بقایای برنج در چهار سطح شامل ۱- کشت مرسوم و مطابق عرف منطقه ۲- کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای برنج ۳- کشت در بقایای برنج با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر ۴- کشت در بقایای برنج با ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر و عامل فرعی سه رقم کلزا شامل رقم ۴۰۱، ۴۸۱۵ و Okapi بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثر مدیریت بقایای برنج بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، درصد روغن و درصد پروتئین دانه معنی‌دار بود. اثر نوع رقم بر تعداد خورجین در بوته و عملکرد دانه معنی‌دار بود، ولی در مورد سایر صفات معنی‌دار نبود. اثر متقابل مدیریت بقایای برنج و نوع رقم بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین وعملکردانه معنی‌دار، ولی بر وزن هزار دانه، درصد روغن و درصد پروتئین دانه معنی‌دار نبود. بیشترین عملکرد دانه (۲۴۴۹/۴۶ کیلوگرم در هکتار) در تیمار کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای برنج در رقم ۴۸۱۵ و کمترین عملکرد دانه (۱۱۸۷/۴۱ کیلوگرم در هکتار) در مدیریت کشت در بقایای برنج با ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر در رقم ۴۰۱ مشاهده شد. بیشترین درصد پروتئین و روغن دانه در تیمار کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای برنج به‌ترتیب به‌میزان ۲۱/۶۲ و ۴۸/۱۶ درصد حاصل شد و در مورد سایر مدیریت‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که استفاده از کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای برنج در بهبود اکثر صفات رشدی و عملکردی کلزا مؤثر بود. ضمناً رقم ۴۸۱۵ در شرایط استفاده از کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای برنج در کلیه صفات مورد بررسی مناسب‌تراز رقم ۴۰۱ و Okapi بود و این رقم در این نوع مدیریت کشت در منطقه توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: حفظ بقایا، سوزاندن بقایا، درصد پروتئین، درصد روغن

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۲- استادیار، گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: marashi_47@yahoo.com)

DOI: 0.22067/agry.2021.68463.1018

مقدمه

دانه‌های روغنی بعد از غلات دومین منبع مهم تأمین انرژی مورد نیاز جوامع انسانی به‌شمارمی‌رود. در حال حاضر، بیش از ۸۵ درصد مصرف داخلی روغن خوراکی کشور از طریق واردات تأمین می‌گردد (Khaledian, 2021)، لذا لزوم برنامه‌ریزی بلندمدت و منسجم با هدف نیل به خودکفایی در تولید روغن خوراکی اجتناب‌ناپذیراست. کلزا (*Brassica napus* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که در سطح دنیا جهت استخراج روغن کشت شده و از بیشترین میزان رشد سالیانه از لحاظ سطح زیر کشت در میان گیاهان دانه روغنی مهم جهان برخوردار است. کلزا پس از سویا (*Glycine max*) و نخل روغنی (*Elaeis guineensis*)، سومین منبع تولید روغن گیاهی در جهان به شمار رفته و حدود ۱۴/۷ درصد از کل روغن گیاهی مصرفی دنیا را تأمین می کند (Azimi Rad, 2018). کلزا در بین دانه‌های روغنی به‌دلیل دارا بودن ویژگی‌های زراعی متنوع و بعضاً منحصر به فرد و نیز به خاطر درصد روغن و پروتئین کنجاله بالا و کیفیت مطلوب در جهت تأمین روغن داخلی و دارا بودن محدوده وسیع قابلیت کشت و کار در کشور از جایگاه ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (Pirasteh-Anosheh, 2016).

بقایای گیاهی یک منبع تجدیدپذیر طبیعی و مهم از عناصر غذایی گیاهی است که می‌تواند همراه با سایر نهاده‌ها برای اصلاح سلامت خاک و بهبود تولید مورد استفاده قرار گیرد. در واقع، کشاورزی پایدار بر حفظ منابع تأکید دارد. در مزرعه، پایداری به‌معنای تولید غذا با کیفیت بالا، به‌مقدار کافی و توأم با حفظ محیط زیست می‌باشد (Khamad et al., 2015). یکی از مشکلات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک پایین بودن مواد آلی خاک است. عدم مدیریت صحیح در استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی (استفاده بی‌رویه و ترافیک سنگین ماشین‌آلات و ادوات)، سوزاندن بقایای گیاهی، بارندگی‌های شدید، عدم رعایت تناوب زراعی، استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی و عوامل دیگر باعث شده تا خاک‌های اراضی این مناطق در معرض فرسایش آبی و بادی قرار گرفته و هر ساله حجم زیادی از خاک این اراضی در اثر بارندگی و آبیاری‌های بی‌رویه از مزرعه خارج و وارد رودخانه‌ها گردد (Asoudar et al., 2017). روش حفظ بقایای گیاهی در سطح و کشت مستقیم درون بقایا با حداقل به‌هم‌خوردگی خاک می‌تواند روش جایگزینی برای سوزاندن بقایا به‌خصوص در کشت تابستانه باشد. مدیریت بقایای گیاهی یکی از عوامل ضروری در حفظ کیفیت خاک و جلوگیری از تخریب خصوصیات آن است (Mirzaei et al., 2017). با روش نگهداری بقایا در سطح خاک در فصل تابستان و مدفون کردن آن‌ها در فصل پاییز ضمن جلوگیری از مصرف بیش از حد کودهای نیتروژنه و علف-کش‌ها و حفظ عملکرد مورد انتظار کشاورزان می‌توان به افزایش مواد آلی خاک و صرفه‌جویی در مصرف آب می‌توان به‌شکل اساسی زراعت در مناطق خشک دست یافت. با اعمال این روش تلفیقی در طی چند سال و افزایش میزان مواد آلی و موادغذایی در خاک به‌خصوص افزایش نیتروژن قابل دسترس گیاه در خاک می‌توان خاک‌ورزی حفاظتی را برای چند محصول ادامه داد و برگردادنار کردن خاک را هر چند سال یک بار انجام داد (Fooladivand et al., 2009).

یکی از مشخصات آب و هوای مناطق خشک و نیمه خشک، پایین بودن رطوبت نسبی هوا است. پایین‌بودن رطوبت موجود در هوا، موجب افزایش شدت تبخیر و تعرق و در نتیجه، افزایش آب مورد نیاز گیاهان می‌گردد. یکی از راه‌های کاهش تبخیر، قبل از سایه انداختن کامل گیاه اصلی پوشش خاک با بقایای گیاهی حاصل از محصول قبلی می‌باشد (Asoudar et al., 2017). سوزاندن بقایای گیاهی یکی از روش‌های معمول پس از برداشت محصول است. سوزاندن بقایای گیاهی باعث فقیرتر شدن خاک مناطق خشک از مواد آلی و رسیدن میزان آن به کمتر از یک درصد در خاک‌های ایران شده است. به‌طور کلی، آلودگی‌های زیست‌محیطی و کاهش حاصلخیزی خاک از عوارض سوزاندن بقایای گیاهی هستند (Chegeni et al., 2014). کشت دوم کلزا پس از برنج (*Oryza sativa*) سبب کاهش فرسایش خاک در طول زمستان، جذب نیترات اضافی از خاک و کاهش آبشویی طی بارندگی‌های شدید زمستانه شده و ریشه‌های کلزا نیز با نفوذ در خاک شالیزار موجب تخلیه اسیدهای آلی در خاک و تبدیل فسفر خاک به فرم محلول می‌شوند (Amoli et al., 2007). از جمله اثرات مثبت بقایای گیاهی در خاک می‌توان به افزایش ظرفیت جذب و تبادل عناصر غذایی، آب و بهبود ساختمان خاک اشاره کرد، ولی با این حال بقایا با افزایش نسبت C/N خاک موجب افزایش رشد و فعالیت ریزجانداران و در نتیجه، افزایش قدرت رقابت آن‌ها در مقایسه با گیاه در حال رشد برای جذب بیشتر نیتروژن از خاک می‌گردد. به‌علاوه مقدار زیاد بقایا موجب عدم تماس مطلوب بذر با خاک و در

نتیجه، تأخیر جوانه‌زنی و یا ایجاد گیاهچه‌های بیمار در مراحل اولیه رشد به خاطر گسترش بیشتر عوامل بیماریزا خاکزی در دمای پایین‌تر بستر کشت می‌گردد (Gharineh & Nadian, 2005). با روش نگهداری بقایا در سطح خاک در فصل تابستان و مدفون کردن آن‌ها در فصل پاییز ضمن جلوگیری از مصرف بیش از حد کودهای نیتروژنه و علف‌کش‌ها و حفظ عملکرد مورد انتظار کشاورزان می‌توان به دو شکل اساسی به افزایش مواد آلی خاک و *صرفه‌جویی* در مصرف آب در مناطق خشک دست یافت (Fooladivand et al., 2009). همچنین بیان شده است که استفاده از واریته‌های با پتانسیل عملکرد بالا نقش اساسی در افزایش عملکرد در واحد سطح دارند. در مطالعه-ای در مقایسه عملکرد ۱۲ رقم کلزا در منطقه خوزستان گزارش شد که بین ارقام از نظر صفات عملکردی تفاوت معنی‌دار وجود داشت (Moradi & Ghodrati, 2014). در تحقیق دیگری در ارزیابی خصوصیات کمّی و کیفی ۲۵ رقم کلزای پاییزه در منطقه کرج بیان شد که بین ارقام مختلف کلزای پاییزه از نظر عملکرد دانه و درصد روغن دانه اختلاف معنی‌دار وجود داشت (Farzin et al.,2007). محققین دیگر نیز به تفاوت معنی‌دار ارقام مختلف کلزا از نظر عملکرد کمّی و کیفی اشاره کرده‌اند (Azad Marzabadiet al., 2012; Khoshanazaret al., 2000).

در منطقه ایذه هر ساله در اراضی زیادی زیر کشت برنج قرار می‌گیرد. در این منطقه کشت کلزا بعد از برنج مرسوم است. یکی از مشکلات عمده کشت کلزا، نحوه مدیریت مطلوب بقایای برنج در این منطقه است. در این منطقه اکثر کشاورزان اقدام به سوزاندن بقایا می‌کنند که منجر به کاهش مواد آلی خاک می‌گردد. از این‌رو، این پژوهش، با هدف بررسی اثر مدیریت‌های مختلف بقایای برنج بر مؤلفه‌های رشدی و عملکردی ارقام کلزا در شرایط آب و هوایی ایذه به مورد اجرا گذاشته شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در اراضی کشاورزی جهاد کشاورزی شهرستان ایذه واقع در شمال استان خوزستان با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و ارتفاع ۷۶۷ متری از سطح دریا اجرا شد. متوسط بارندگی منطقه، ۶۹۴ میلی‌متر و متوسط دمای ۲۰ ساله ایذه، ۲۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل اصلی شامل مدیریت بقایای برنج در چهار سطح شامل ۱- کشت مرسوم و مطابق عرف منطقه (شاهد) ۲- کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای برنج ۳- کشت در بقایای برنج با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر ۴- کشت در بقایای برنج با ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر و عامل فرعی سه رقم کلزا شامل ارقام ۴۰۱، ۴۸۱۵ و okapi بود. قبل از شروع آزمایش و به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری به‌صورت تصادفی از زمین محل اجرای آزمایش برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد، که در جدول ۱ نتایج خاک ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physical and chemical characteristics of soil

بافت Texture	پتاسیم K (mg.kg^{-1})	فسفر P (g.kg^{-1})	لای Silt (%)	رس Clay (%)	شن Sand (%)	مواد آلی OC (%)	هدایت الکتریکی EC×10^3	Na^+ (mg.kg^{-1})	Ca^{2+} (mg.kg^{-1})	Mg^{2+} (mg.kg^{-1})	واکنش خاک pH
لومی‌رسی Clay loam	162.23	13.36	37	30	33	0.92	1.82	4.75	4.4	1.7	7.7

در مدیریت کشت مرسوم و مطابق عرف منطقه (شاهد)، پس از برداشت برنج اقدام به آتش زدن مزرعه گردید و پس از برهنه شدن سطح زمین، اقدام به شخم، دیسک و در نهایت، احداث کرت‌های اصلی و فرعی شد و کاشت مطابق با عرف منطقه در تاریخ ۱۳۹۷/۰۸/۱۶ به‌صورت ردیفی با فواصل بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر انجام شد. کرت‌های فرعی به ابعاد ۳×۶ متر و کرت‌های اصلی با رعایت یک متر حاشیه بین کرت‌های فرعی معادل ۶×۱۱ متر در نظر گرفته شد. در مدیریت کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای برنج، پس از برداشت برنج اقدام به شخم، دیسک و کرت‌بندی زمین کرده و کاشت مطابق عرف منطقه به‌صورت ردیفی با فواصل بین خطوط کاشت ۲۰ سانتی‌متر انجام شد. در مدیریت کشت در بقایای برنج با ارتفاع ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متر، برداشت برنج از ارتفاع ۲۰ و ۴۰

سانتمتری سطح زمین بـه‌صـورت دسـتی انجـام و سـپس اقـدام بـه پراکندن بذر کلزا مشابه با تراکم بذر در روش مرسوم شد و سپس بـه کمک گاوآهن چیزل بذور کلزا به‌صورت کاملاً سطحی در عمق حدود ۱-۰/۵ سانتی‌متری با خاک مخلوط شد. فاصله بین کرت‌های فرعـی یک پشته به عرض حدود نیم متر و فاصله بین کـرت‌هـای اصـلی دو متر در نظر گرفته شد. در این آزمایش از کودهای شیمیایی نیتروژنـه، فسفره و پتاسـه اسـتفاده شـد. نیتـروژن از منبـع اوره بـه‌میـزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت ۳۰ درصد پایـه و در زمـان کاشـت و ۷۰ درصد به‌صورت سرک در دو مرحله پایان مرحله روزت (۳۵ درصـد) و ابتدای مرحله گل‌دهی (۳۵ درصد) اسـتفاده شـد و بلافاصـله پـس از کودپاشی اقدام به آبیاری زمین شد. آبیاری‌های بعدی نیز براساس نیاز آبی گیاه و وضعیت بارندگی‌ها در منطقه به‌طـور معمـول انجـام شـد. کودهای شیمیایی فسفره و پتاسه به‌ترتیب از منبع سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم هرکدام به‌میـزان ۱۰۰ کیلـوگرم در هکتـار از منبـع کودهای کلاته با پوشش گوگردی تأمین شد (Ghasemi Nejad et al., 2018). این کودها بـه‌صـورت گرانـول و محلـول در آب بـوده و همزمان با کاشت به‌صورت پایه مصرف و بلافاصله پس از کودپاشی اقدام به آبیاری زمین شد. مقدار بذر مصرفی مطابق عرف منطقـه ۱۰ کیلوگرم در هکتار بود که مقداردقیق بذر مصرفی با توجـه بـه درصـد خلوص و قوه نامیه تعیین شد. آفت و یا بیماری قابـل ملاحظـه‌ای در طول دوره رشد مشاهده نشد و کنترل علف‌های هرز به‌روش دسـتی و بدون مصرف هرگونه علف‌کش انجام شد.

در اواخر فصل رشد، پس از زرد شدن بوته‌ها و رسیدگی بوته‌ها، از هر کرت آزمایشی تعداد ۱۰ بوته در مساحتی معـادل ۰/۰۲۸ مترمربـع به‌طور تصادفی انتخاب و میانگین ارتفاع بوته، شاخه در بوتـه و تعـداد خورجین در بوته در آن‌ها اندازه‌گیری شد. جهت بررسی تعداد دانـه در خورجین ۳۰ عدد خورجین از ۱۰ بوته در هر کـرت بـه‌طـور تصـادفی انتخاب و میـانگین تعـداد دانـه در خـورجین در آن‌هـا محاسـبه شـد. به‌منظور اندازه‌گیری وزن هزار دانـه بعـد از برداشـت محصـول، یـک نمونه ۱۰۰۰ تایی از بذور هر کرت آزمایشی انتخاب و وزن هزار دانـه آن تعیین گردید. برای اندازه گیری عملکرد دانه، پس از خـرمن‌کـوبی در دو مترمربع از هر کـرت، عملکـرد دانـه آن تعیـین گردیـد. جهـت اندازه‌گیری درصد روغن، ابتدا دانه‌های کلزا خرد شد. سپس ۲۵ گرم از دانه‌های خرد شده در دستگاه سوکسله و با استفاده از حـلال هگـزان روغن‌گیری شد (Latif & Anwar, 2008). میزان پـروتئین دانـه بـر اساس روش کجلدال نمونه ها هضم و سپس با تیتراسیون (N×6.25) مقدار کل پـروتئین رسـوبی در فـاز آبـی محاسـبه گردیـد (AOAC, 2005).

داده‌های حاصـل از آزمـایش، توسـط نـرم‌افـزار SAS 9.1 مـورد تجزیه واریانس قرار گرفت. مقایسـه میـانگین تیمارهـا بـا اسـتفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر مـدیریت بقایـای بـرنج و اثـر متقابل مدیریت بقایا و ارقام بر ارتفاع بوته معنی‌دار، ولی در مـورد اثـر رقم معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین ارتفاع بوته در تیمار کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای برنج در رقم ۴۸۱۵ به‌میزان (۱۳۳/۳۸ سانتی‌متـر) و کمتـرین آن در تیمـار کشت در بقایـای بـرنج بـا ارتفـاع ۲۰ سـانتی‌متـری در رقم Okapi (۸۰/۳۸ سانتی‌متر) به‌دست آمد (جدول ۳). نتایج همچنـین نشـان داد که در روش کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای برنج و روش کشت مرسوم رقم ۴۸۱۵ تفاوت معنی‌داری از لحاظ ارتفاع بوته با سایر ارقام نداشت. این در حالی است که در روش کشت در بقایا بـا ارتفـاع ۲۰ سـانتی‌متـر در روش کشـت در بقایـا بـا ارتفـاع ۴۰ سـانتی‌متـر تفاوت‌هایی بین برخی از ارقام از لحاظ آمـاری مشـاهده شـد. در ایـن آزمایش، مخلوط نمودن بقایا با خاک در روش شـخم همـراه بـا بقایـا منجر به افزایش ارتفاع ارقام مختلف کلزا نسبت به سـایر مـدیریت‌هـا شد، هر چند که در برخی مـوارد اخـتلاف بـین آن‌هـا معنـی‌دار نبـود (جدول ۳). از دلایل آن می‌توان به بهبود ساختمان خاک و رشد بهتـر ریشه در خاک اشاره کـرد (Mousavi Booger, 2017). بیـان شـده است که تراکم خاک بر وزن مخصوص ظاهری، درجه پوکی، تخلخل کل خاک، تخلخل تهویه‌ای، نفوذپذیری خاک نسبت به آب تأثیر دارد که نقش مؤثری در جذب آب، بـازده عناصـر غـذایی و در نهایـت، در رشد گیاه دارند (Reintam et al., 2005). در این تحقیق نیز به نظر می‌رسد که بهبود تراکم خاک در افزایش عملکـرد دو روش کشـت در زمین شخم خورده همراه با بقایـای بـرنج و روش کشـت مرسـوم در مقایسه با روش کشت در بقایا با ارتفاع ۴۰ و ۲۰ سانتی‌متر مؤثر بـوده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر مدیریت بقایای برنج بر مؤلفه‌های رشدی و عملکردی ارقام کلزا

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for effect of rice residue management on growth parameter and yield of rapeseed cultivars

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه در بوته Number of branches per plant	تعداد خورجین در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در خورجین Number of grains per pod	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Grain yield	درصد روغن Oil percentage	درصد پروتئین Protein percentage
تکرار Replication	2	286.91*	3.37**	1031/91**	1.11ns	0.21ns	63122.41ns	158.22*	23.08*
مدیریت بقایا Residue management	3	930.96**	4.03**	4968.76**	34.89**	1.75*	863345.0*	160/30*	25.90*
خطای a Error a	6	52.22	0.26	23.09	1.83	0.35	132511.99	18.89	3.30
رقم Cultivar	2	511.19ns	0.70ns	836.49*	1.77ns	0.19ns	843149.0*	12.18ns	2.05ns
مدیریت بقایا × رقم Residue management× cultivar	6	672.31*	1.71**	622.20**	4.10*	0.19ns	502226.23**	34.88 ns	6.57ns
خطای b Error b	16	239.41	0.31	146.62	1.48	0.35	11569.48	23.83	3.87
درصد تغییرات C.V (%)	-	13.93	13.38	15.87	7.71	17.58	18.61	11.63	10.18

ns، **، *: به‌ترتیب نشانگر عدم وجود اثر معنی‌دار، و اثر معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشد.

ns, **, *: are no significant and significant effect at the probability level of 1 and 5%, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل مدیریت بقایای برنج و ارقام کلزا بر مؤلفه‌های رشدی و عملکردی کلزا

Table 3- Mean comparison for interaction effect of rice residue management and rapeseed cultivars on growth parameters and yield of rapeseed

مدیریت بقایای برنج Rice residue management	ارقام Cultivars	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه در بوته Number of branches per plant	تعداد خورجین در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در خورجین Number of grains per pod	عملکرد دانه Grain yield ($kg.h^{-1}$)
کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایا Cultivation in plowed land with residues	401	123.32^{ab}	5.25^{ab}	243.39^{ab}	20.64^{ab}	2360.18^{ab}
	Okapi	114.75^{abc}	4.41^{abc}	226.53^{abc}	19.59^{ab}	1941.63^{abc}
	4815	133.38^{a}	5.46^{a}	247.46^{a}	21.03^{a}	2449.46^{a}
کشت در بقایا با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر Cultivation in residues with 20 cm height	401	115.35^{abc}	4.01^{abcd}	194.31^{de}	16.79^{cd}	1765.28^{bcde}
	Okapi	80.38^{d}	2.85^{d}	180.69^{e}	15.35^{d}	1275.86^{de}
	4815	101.25^{bcd}	3.37^{cd}	185.08^{e}	16.01^{d}	1476.61^{cde}
کشت در بقایا با ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر Cultivation in residues with 40 cm height	401	91.21^{cd}	3.30^{cd}	177.37^{e}	15.05^{d}	1187.41^{e}
	Okapi	106.58^{abcd}	3.90^{bcd}	192.94^{e}	16.66^{cd}	1720.05^{bcde}
	4815	130.87^{ab}	5.26^{ab}	219.36^{bcd}	18.64^{bc}	2364.51^{ab}
کشت مرسوم Conventional cultivation	401	115.91^{abc}	4.24^{abcd}	19756^{de}	17.07^{cd}	1874.56^{abcd}
	Okapi	115.98^{abc}	4.48^{abc}	203.55^{cde}	17.25^{cd}	1780.91^{abc}
	4815	103.94^{abcd}	3.47^{cd}	186.04^{e}	16.11^{d}	1813.34^{cde}

* در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد با یکدیگر ندارند.

*In each column, the means with the same letters are not significant based on Duncan's multiple range test at %5 probability level.

در تحقیق دیگری، سعیدی‌پور (Saeedipoor, 2016) بـه تـأثیر منفی کشت در زمین بدون شخم بر ارتفاع گیاه ذرت (*Zea mays* L.) اشاره نمود. محققین دیگر رشد زیاد علف‌های هرز به‌علت پوشش کم بذر در خاک و تجمع بقایای گیاهی در سطح خاک را دلیل کـاهش رشد گیاه در اراضی بـا سیستم خاک‌ورزی حداقل در نظر گرفته انـد(Omidi et al., 2006). همچنین موسوی بـوگر (Mousavi Booger, 2017) نیز عنوان کرد استفاده از شخم همراه با بقایا باعث بهبود خصوصیات رشدی نسبت به تیمار بدون خاک‌ورزی (کشت مستقیم) می‌گردد. مرادی و قدرتی (Moradi & Ghodrati, 2014) نیز در مقایسه عملکرد ۱۲ رقم کلزا در منطقه خوزستان گزارش کردند که واکنش ارقام در شرایط محیطی مختلف متفاوت است. ایـن محققان دلیل آن را به تفاوت ژنتیکی آن‌ها نسبت دادندکه با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

تعداد شاخه در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثر مدیریت بقایای برنج و اثـر متقابل مدیریت بقایا و ارقام کلزا بر تعداد شاخه در بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین تعداد شاخه در بوته در تیمار کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای بـرنج در رقم ۴۸۱۵ به‌میزان ۵/۴۶ شاخه (جدول ۳) و کمترین آن در تیمار کشت در بقایای برنج با ارتفاع کلش ۲۰ سانتی‌متری در رقم Okapi با ۲/۸۵ شاخه به‌دست آمد. کمیلی و همکاران (Komeili et al., 2017) بیان نمودند که کاهش جذب مواد غذایی و در نتیجه، کـاهش منابع محیطی اختصاص یافته به جوانه‌های رویشی جانبی در سیستم بدون خاک‌ورزی از دلایل کمتر بودن تعداد شاخه‌های فرعی آن نسبت به سیستم‌های خاک‌ورزی معمول و حداقل می‌باشد. ایـن محققین دلیل آن را به کاهش میزان بقایای گیاهی وارد شده نسبت داده‌اند. از دلایل احتمالی دیگر، کاهش تعداد شاخه در بوته در سیستم کم‌خاک‌ورزی را می‌توان بـه فشردگی خـاک و در نتیجه، کـاهش تخلخل و نفوذپذیری خاک اشاره نمود که نقش مؤثری در جذب آب، بازده عناصر غذایی و در نهایت، در رشد گیاه دارند (Reintam et al., 2005). همچنین در روش کشت مرسوم کـه پس از برداشت برنج اقدام به آتش زدن مزرعه گردید و پس از برهنه شدن سطح زمین، اقدام به شخم زمین شد، به‌دلیل کمی میزان بقایا در خاک مـی‌تواند به‌عنوان دلیل کاهش تعداد شاخه در بوته در این تیمار نسبت به تیمار کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای برنج در نظر گرفت. در این آزمایش رقم ۴۸۱۵ در تیمار کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای برنج بیشترین تعداد شاخه در بوته، ولی همین رقم در کشت مرسوم نسبت به دو رقم دیگر کمترین تعداد شاخه در بوته را داشت و اختلاف آن‌ها نیز از لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین در روش کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای برنج و در کشت مرسوم و کشت در بقایا با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر از نظر تعداد شاخه جانبی تفاوت معنی‌داری بین رقم ۴۸۱۵ و دو رقم دیگر وجود نداشت. این در حالی است که در روش کشت در بقایا با ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر اختلاف بین رقم ۴۸۱۵ با ۴۰۱ معنی‌دار، ولی با رقم Okapi معنی‌دار نبود. به نظر می‌رسد که واکنش ارقام مختلف کلزا در شرایط محیطی مختلف متفاوت است. این تفاوت‌ها می‌تواند به اختلافات ژنتیکی بین آن‌ها ارتباط داشته باشد (Moradi & Ghodrati, 2014). بیان شده است که کاهش وزن مخصوص خاک و بیشتر بودن خلل و فرج و تراکم کمتر خاک در کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای برنج (شخم با بقایا) احتمالاً موجب افزایش انتشار اکسیژن در منافذ خاک و بهبود (Reintam et al., 2005) تنفس ریشه‌ها، افزایش توسعه و نفوذ ریشه‌ها و در نهایت، افزایش رشد و توسعه گیاه مـی‌گردد (Mousavi Booger, 2017). جان و همکاران (Jan et al., 2012) نیز بـه کاهش تعداد شاخه در نخود (*Cicer aeritinum* L.) در شرایط بدون خاک‌ورزی اشاره نمودند. در تحقیق دیگری بـر ذرت اضافه شدن مواد آلی بـه خـاک و بهبود ساختمان خـاک و کـاهش فشردگی خاک را دلیل بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی در شرایط کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایا گندم نسبت به عدم مخلوط کردن بقایا در خاک عنوان نمودند (Saeedipoor, 2016) که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

تعداد خورجین در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثر مدیریت بقایای برنج، ارقام و اثر متقابل مدیریت بقایا و ارقام کلزا بر تعداد خورجین در بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد بیشترین تعداد خورجین در بوته در تیمار کشت در زمین شخم خورده همراه بـا بقایای برنج در رقم ۴۸۱۵ به‌میزان ۲۴۷ و کمترین تعداد در تیمار

کشت در بقایای برنج با ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر در رقم ۴۰۱ به‌میزان ۱۷۷ خورجین مشاهده شد (جدول ۳). نتایج همچنین نشان داد که در روش کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای برنج رقم ۴۸۱۵ تفاوت معنی‌داری از لحاظ تعداد خورجین در بوته با سایر ارقام در همین مدیریت نداشت. ضمناً همین رقم در مدیریت کشت در بقایای برنج با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر وکشت مرسوم با وجود اینکه کمترین تعداد خورجین را تولید کرد، ولی تفاوت معنی‌دار با سایر ارقام نداشت، این در حالی است که همین رقم در روش کشت در بقایا با ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر بیشترین تعداد خورجین در بوته را داشت و تفاوت آن با دو رقم دیگر نیز معنی‌دار بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد که واکنش ارقام کلزا در شرایط محیطی مختلف متفاوت است. دلیل آن احتمالاً به تفاوت ژنتیکی ارقام مختلف مربوط باشد (Moradi & Ghodrati, 2014). رضایی (Rezaei, 2014) عنوان کرد که افزایش ارتفاع بوته کلزا با تشکیل محور گل‌آذین بلندتر و تعداد گل و خورجین بیشتر همراه می‌باشد. در این مطالعه نیز کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای برنج ارتفاع بوته بالاتری داشت که احتمالاً این افزایش ارتفاع منجر به افزایش تعداد گل و خورجین در این تیمار شده است. فلاح و یدوی (Fallah & Yadavi, 2013) نیز بیان کردند که در کرت‌هایی که مقدار بقایای ذرت در خاک زیاد است تعداد خورجین در بوته کلزا بیشتر بوده که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت.

تعداد دانه در خورجین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثر اصلی مدیریت بقایای برنج و اثر متقابل مدیریت بقایا بر تعداد دانه در خورجین معنی‌دار، ولی اثر رقم از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد، بیشترین تعداد دانه در خورجین در تیمار کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای برنج در رقم ۴۸۱۵ به‌میزان ۲۱ دانه مشاهده شد که با تیمارکشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای برنج در رقم‌های okapi و ۴۰۱ اختلاف معنی‌دار نداشت. در این تحقیق، رقم ۴۰۱ کمترین تعداد دانه در خورجین در شرایط کشت در بقایای برنج با ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر به‌میزان ۱۵ دانه را داشت و تفاوت آن با رقم ۴۸۱۵ در همین شرایط کشت از لحاظ آماری معنی-دار، ولی با سایر ارقام در مدیریت کشت در بقایا با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و مدیریت کشت مرسوم معنی‌دار نبود (جدول ۳). دلیل افزایش تعداد دانه در خورجین در شرایط کشت همراه با بقایای برنج را می‌توان به بهبود ساختمان خاک، وضعیت بهتر استقرار گیاهان، توسعه بیشتر سیستم ریشه‌ای در عمق خاک و جذب بهتر عناصر غذایی نسبت داد (Jan et al., 2012). همچنین کاهش استقرار و رشد اولیه گیاهچه و تغییر خواص فیزیکی خاک، از دلایلی است که توسط محققان مختلف برای کاهش رشد در سیستم کشت در بقایا گزارش شده است (Hammel, 1995; Mousavi Booger, 2017).

وزن هزار دانه

اثر مدیریت بقایای بر وزن هزار دانه معنی‌دار، ولی اثر رقم و اثر متقابل آن‌ها تأثیری معنی‌دار بر وزن هزار دانه نداشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین وزن هزار دانه در تیمار کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای برنج به‌میزان ۳/۹۶ گرم و کمترین مقدار در شرایط کشت در بقایا با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متربه‌میزان ۲/۹۸ گرم مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد بین تیمارهای کشت مرسوم و تیمار کشت در بقایای برنج با ارتفاع کلش ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متری از نظر وزن هزار دانه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). فلاح و یدوی (Fallah & Yadavi, 2013) و موسوی طلب و حبیبی اصل (Mosavitalab & HabibiAsl, 2014) در تحقیقات خود در خصوص حفظ بقایای برنج و ذرت عنوان کردند که وجود بقایا در خاک باعث افزایش وزن هزار دانه گندم و کلزا شده است. این محققین بیشتر بودن وزن هزار دانه در شرایط حفظ بقایا را به افزایش قدرت حفظ رطوبت خاک در این سیستم نسبت دادند. به نظر می‌رسد در این مطالعه نیز، حفظ بقایای برنج و خرد شدن آن‌ها همراه با شخم منجر به حفظ بهتر رطوبت در خاک گشته و این در افزایش وزن هزار دانه تأثیر مثبت داشته است. همچنین افزایش وزن هزار دانه در سیستم کشت در بقایای برنج ناشی از کاهش فشردگی خاک و فراهم بودن شرایط مناسب برای رشد ریشه می‌باشد. این کاهش فشردگی به افزایش طول ریشه منجر شده و در نهایت، جذب آب و مواد غذایی افزایش می‌یابد (Mousavi Booger, 2017). در این‌خصوص، نتایج مشابهی توسط سایر محققین گزارش شده است (Putte et al., 2010; Messiga et al., 2012; Khattak & Khan, 2005). همچنین بیان شده است که وجود بقایا در زمین باعث آزادسازی تدریجی نیتروژن می‌گردد. بنابراین، در روش شخم همراه با بقایای برنج به‌نظر می‌رسد آزادسازی تدریجی نیتروژن در زمان پرشدن دانه‌ها، احتمالاً باعث بهبود شرایط فتوسنتزی و در نتیجه، افزایش وزن دانه‌ها شده باشد (Fallah & Yadavi, 2013; KeliddarMohammadi et al., 2010).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر مدیریت بقایای برنج بر وزن هزار دانه، درصد روغن و پروتئین کلزا

Table 4- Mean comparison for effect of rice residue management on 1000-grain weight, oil and protein percentage of rapeseed

مدیریت بقایا Residue management	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	روغن Oil (%)	پروتئین دانه Grain protein (%)
کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایا Cultivation in plowed land with residues	3.96 [a]	48.16 [a]	21.62 [a]
کشت در بقایا با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر Cultivation in residues with 20 cm height	2.98 [b]	39.07 [b]	19.59[ab]
کشت در بقایا با ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر Cultivation in residues with 40 cm height	3.13 [b]	39.57 [b]	18.22 [b]
کشت مرسوم Conventional cultivation	3.17 [b]	41.00 [b]	17.89 [b]

*در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد با یکدیگر ندارند.

*In each column, the means with the same letters are not significant based on Duncan's multiple range testat %5 probability level.

عملکرد دانه

اثر مدیریت بقایای برنج و ارقام در سطح احتمال پنج درصد و اثر متقابل مدیریت بقایا و رقم در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد، بیشترین عملکرد دانه در تیمار کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای برنج در رقم ۴۸۱۵ به‌میزان ۲۴۴۹/۴۸ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن در تیمار کشت در بقایای برنج با ارتفاع۴۰ سانتی‌متری در رقم ۴۰۱ به‌میزان ۱۱۸۷/۴۱کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (جدول ۳). نتایج همچنین نشان داد که به استثنای روش کشت در بقایای برنج با ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری بین ارقام مختلف در مدیریت-های مختلف بقایای برنج مشاهده نشد. ضمنا در مدیریت کشت در بقای برنج با ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر، بیشترین عملکرد مربوط به رقم ۴۸۱۵ به‌میزان ۲۳۶۴/۵۱ کیلوگرم و کمترین مقدار نیز به رقم ۴۰۱ به‌میزان ۱۱۸۷/۴۱کیلوگرم در هکتار تعلق داشت (جدول ۳). نتایج این آزمایش نشان داد که واکنش ارقام کلزا در مدیریت‌های مختلف بقایای برنج یکسان نمی‌باشد و رقم ۴۰۱ با وجود اینکه در مدیریت کشت در بقای برنج با ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر کمترین عملکرد دانه را داشته است، ولی همین رقم در مدیریت کشت مرسوم و مدیریت کشت در بقایا با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر بیشترین عملکرد را داشته است. هرچند که تفاوت آن‌ها از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. فولادی وند و همکاران (Fooladivand et al., 2009) به کمترین عملکرد دانه کلزا در تیمار بدون خاک‌ورزی (کشت مستقیم) اشاره کردند. به نظر می‌رسد که توسعه بیشتر ریشه در بوته‌های مربوط به سیستم شخم همراه با بقایای گیاهی، سبب افزایش شدت تنفس ریشه‌ها و افزایش دسترسی آن‌ها به عناصرغذایی گردیده که نتیجه آن، منجر به تأثیر مثبت بر رشد و افزایش عملکرد گیاهان شده است (Mousavi Booger, 2017). در تحقیق دیگری، کاهش عملکرد دانه در سیستم کشت در بقایای برنج را به کاهش رشد و سرعت جذب خالص نسبت داده‌اند که علت آن، ارتباط مستقیم بین مقاومت مکانیکی خاک و میزان دسترسی به مواد غذایی، رطوبت و اکسیژن بوده است (Ossible et al., 1992).

درصد روغن دانه

اثر اصلی مدیریت بقایای برنج بر درصد روغن دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل مدیریت بقایا و رقم از این نظر معنی‌دار نشد (جدول ۲). بیشترین درصد روغن دانه در تیمار کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای برنج به‌میزان ۴۸/۱۶ درصد کمترین مقدار در تیمار کشت در بقایا با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر به‌میزان ۳۹/۰۷ درصد مشاهده شد (جدول ۴). همچنین درصد روغن دانه در تیمارهای کشت مرسوم و کشت در بقایای برنج با ارتفاع کلش ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متری تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). مالهای و همکاران (Malhie et al., 2006) با بررسی اثر بقایای گیاهی بر خاک گزارش کردند که کیفیت و نوع مدیریت بقایای گیاهی تأثیر چشمگیری در فرایندهای تجزیه بقایا، معدنی شدن عناصر و دسترسی گیاه به عنصر غذایی خاک برای رشد دارد. موسوی بوگر (Mousavi Booger, 2017) نشان داد که نفوذ آب به داخل خاک در کشت

همراه با بقایای گیاهی به‌شکل معنی‌داری بیش از روش‌های خاک- ورزی متداول می‌باشد. سعیدی‌پور (Saeedipoor, 2016) نیز گزارش کرد که مخلوط کردن بقایا در خاک باعث تغییر ساختمان فیزیکی خاک می‌شود. با توجه به نظرات بیان شده، به‌نظر می‌رسد افزایش درصد روغن در مدیریت کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایا گیاهی به‌دلیل تأثیرگذاری بقایا بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و نیز بهبود رشد نسبت به سایر مدیریت‌های خاک‌ورزی باشد.

درصد پروتئین دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثر اصلی مدیریت بقایای برنج بر درصد پروتئین دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل مدیریت بقایا و رقم از این نظر معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین درصد پروتئین در تیمار کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای برنج به‌میزان ۲۱/۶۲ درصد به‌دست آمده که از این نظر با تیمار کشت در بقایای برنج با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). نتایج همچنین نشان داد کمترین درصد پروتئین دانه در تیمار کشت مرسوم به‌میزان ۱۷/۸۹ درصد مشاهده شد که تفاوت آن با تیمار کشت در بقایای برنج با ارتفاع ۴۰ و ۲۰ سانتی‌متراز لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۴). توشیه (Toushieh, 2004) در گزارشی عنوان کرد مدیریت صحیح کاه و کلش و خرد کردن بقایا گندم، منجر به افزایش پروتئین دانه گندم می‌گردد که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. به‌دلیل عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای کشت مرسوم و با دو تیمار حفظ بقایا شامل کشت در بقایای برنج با ارتفاع ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متر روی سطح زمین از لحاظ پروتئین دانه به نظر می‌رسد سهم بقایا در آزاد نمودن تدریجی نیتروژن به‌خصوص در اواخر فصل رشد که می‌تواند نقش مؤثری در افزایش پروتئین دانه داشته باشد، بسیار اندک و بی‌تاثیر باشد. نتایج حاصل از این بررسی با نتایج محققین دیگر که اظهار داشتند که نیتروژن حاصل از پوسیدن تدریجی بقایا در خاک قابل استفاده توسط گیاه نبوده و مورد استفاده گیاهان در کشت‌های بعدی قرارمی‌گیرد، مطابقت دارد (KeliddarMohammadiet al., 2010).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که مدیریت بقایای برنج بر تمامی صفات رویشی، کمّی و کیفی شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، درصد روغن و درصد پروتئین تأثیر داشت. نتایج همچنین نشان داد که تأثیر نوع رقم فقط بر برخی از صفات کمّی نظیر تعداد خورجین در بوته و میزان عملکرد دانه مؤثر بود و بر صفات کیفی شامل درصد روغن و پروتئین دانه و همچنین صفات رویشی شامل ارتفاع بوته و تعداد شاخه در بوته تأثیری نداشت. در این تحقیق، اثر متقابل نوع مدیریت بقایای برنج و رقم بر تمامی صفات رویشی و صفات کمّی بجز وزن هزار دانه تأثیر داشت، ولی بر صفات کیفی تأثیری معنی‌دار نداشت. در این تحقیق بهترین عملکرد دانه در تیمار کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای برنج در رقم ۴۸۱۵ و کمترین عملکرد دانه در تیمار کشت در بقایای برنج با ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر در رقم ۴۰۱ مشاهده شد. ضمناً بیشترین درصد پروتئین و روغن دانه در تیمار کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای برنج حاصل شد و در مورد سایر مدیریت‌ها تفاوت معنی‌داری حاصل نشد. به‌طور کلی با توجه به نتایج حاصل شده، رقم ۴۸۱۵ در شرایط کشت در زمین شخم خورده همراه با بقایای برنج نسبت به دو رقم دیگر ارجحیت دارد و در منطقه توصیه می‌گردد.

Refrences

Amoli, N., Kashi, A.K., and Rameah, V.A., 2007. Effects of planting date, plant density and nitrogen fertilizer on yield of cauliflower as second crop after rice in Mazandaran. Seed and Plant 22(4): 473-487. (In Persian with English Summary) doi.org/10.22092/spij.2017.110699

Asoudar, M.A., Zalqi, F., and Shahrestani, S.A., 2017.Rinciples of crop residue management, tillage and rotation in conservation agriculture. Publication of Agricultural Education. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Iran. (In Persian)

Association of Official Analytical Chemists, (AOAC), 2005. Official Methods of Analyses, 14th Ed; Association of official Analytical Chemists: Washington, DC, USA.

Azad Marzabadi, M., Mostafavi Rad, M., and Faraji, S., 2012. Evaluation of growth stages, physiologic traits and seed

qualitative characteristics in advanced winter rapeseed varieties in Arak. New Finding in Agriculture 7(1): 5-18. (In Persian with English Summary)

Azimi Rad, M.R., 2018. Characteristics and yield of eleven spring rapeseed cultivars in Ardabil region. M.Sc. Thesis, Mohaghegh Ardabili University, Iran. (In Persian with English Summary)

Chegeni, M., Ansari-dust, S., and Eskandari, H., 2014. Effect of tillage methods and residuals management on some physical properties of soil to achieve sustainable agriculture. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 24(2): 31-40. (In Persian with English Summary)

Daneshvarran, Z., Esfahani, M., Payman, M., Rabiei, M., and Samiezadeh, H., 2009. Effect of seedbed preparation methods on grain yield, yield components and some growth indices of rapeseed (*Brassica napus* L.) as a second crop in paddy fields. Journal of Water and Soil Science 12(46): 189-202. (In Persian with English Summary) doi.org/20.1001.1.22518517.1387.12.46.47.1

Fallah, S., and Yadavi, A., 2013.Interaction of residues of maize cropping and fertilizer on seed and oil yield of rapeseed. Journal of Crop Production and Processing 3(7): 25-36. (In Persian with English Summary) doi.org/20.1001.1.22518517.1392.3.7.3.2

Farzin, A.R., Noor-Mohammadi, G., and Shiranirad, A.H., 2007. An investigation on quantitative and qualitative characters of 25 winter rapeseed cultivars. Journal of Agricultural Sciences 12(2): 429-437. (In Persian with English Summary)

Fooladivand, S., Aynehband, A., and Naraki, F., 2009. Effects of tillage method, seed rate and microelement spraying time on grain yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.) in warm dryland condition. Journal of Food, Agriculture and Environment 7(3&4): 627-633.

Frouzandeh Shahraky, A., and Khajehpour, M.R., 2006. Effects of seed preparation methods on vegetative growth, yield components and seed and oil yields of sunflower as the second crop. Journal of Science and Technology of Agricultural and Natural Resources 9(4): 161-170. (In Persian with English Summary) doi.org/20.1001.1.22518517.1384.9.4.11.0

Gharineh, M.H., and Nadian, H., 2005. Sustainable agriculture and its approaches. Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. 421 p. (In Persian)

Ghasemi Nejad, M., Seyed Ahmadi, S.A., Basirizadeh, M.H., Heidarzadeh, I., and Amirizadeh, K., 2018. Executive program and technical instructions for autumn crops. Jahad Agricultural Organization of Khuzestan, Iran. (In Persian)

Hammel, J.E., 1995. Long-term tillage and crop rotation effects on winter production in northern Idaho. Agronomy Journal 87: 16-22.

Jan, A., Amanullah, Akbar, H., and Blaser, B.C., 2012. Chickpea response to tillage system and phosphorus management under daryland conditions. Journal of Plant Nutrition 35(1): 64-70.

KeliddarMohammadi, B., Ghadiri, H., and Kazemeini, A.R., 2010. Effect of wheat residue, common and new herbicides on the growth, yield and yield components of corn. pp. 318. In: Proceedings of 11th Iranian Crop Science Congress. Tehran, Iran. (In Persian)

Khaledian, P., 2021. The world of economics examines the oil industry: The opportunity to liberalize prices. World Economy Newspaper. Issue 5008. (In Persian)

Khamadi, F., Mesgarbashi, M., Hasibi, P., Farzaneh, M., and Enayatzamir, N., 2015. Influence of crop residue and nitrogen levels on nutrient content in grain wheat. Applied Field Crops Research 28(4): 158-166. (In Persian with English Summary) doi.org/10.22092/aj.2016.106753

Khattak, M.K., and Khan, M.J., 2005. Effect of different tillage practices on weed and yield of chickpea under sandy loam soil conditions. Pakistan Journal of Weed Science Research 11(3-4): 157-164.

Khoshanazar, M.R., Ahmadi, M.R., and Ghanadha, M.R., 2000. A study of adaptation and yield capacity of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars and line. Iranian Journal of Agricultural Science 31: 341-352. (In Persian with English Summary)

Komeili, H., RezvaniMoghaddam, P., Ghodsi, M., Nassiri Mahallati, M., and Jalal Kamali, M., 2017. Effect of different tillage methods and the rate of crop residues on yield, yield components and economic efficiency of wheat. Cereal Research 6(3): 323-337. (In Persian with English Summary) doi.org/20.1001.1.22520163.1395.6.3.5.7

Latif, S., and Anwar, F., 2008. Quality assessment of moringa concanensis seed oil extracted through solvent and aqueous enzymatic techniques. Grasas Aceites 59: 67–73. doi.org/10.3989/gya. 2008.v59. i1.493

Malhi, S.S., Lemke, R., Wang, Z.H., and Chhabra, B.S., 2006. Tillage, nitrogen and crop residue effects on cropyield, nutrient uptake, soil quality and greenhouse gas emissions. Soil and Tillage Research 90: 171-183. doi.org/10.1016/j.still.2005.09.001

Messiga, A.J., Ziadi, N., Morel, C., Grant, C., Tremblay, G., Lamarre, G., and Parent, L.E., 2012. Long term impact of tillage practices and biennial P and N fertilization on maize and soybean yields and soil P status. Field Crop Research 133: 10–22. doi.org/10.1016/j.fcr.2012.03.009

Mirzaei, M., Mahmoudabadi M., and Naghavi, H., 2017. Investigation of the effect of burning and mixing plant residues on the concentration of some soil-soluble cations in field conditions. Second International Conference on Plant, Water, Soil and Air Modeling, Kerman, Iran. (In Persian with English Summary)

Moradi, M., and Ghodrati, G., 2014. Comparison of yield potential of 12 varieties of rapeseed under climatic conditions of Khuzestan. Journal of Plant Production Sciences 3(2): 1-7. (In Persian with English Summary)

Mosavitalab, S., and HabibiAsl, J., 2014. Study methods of tillage in volume of water and yield for wheat production method in Khuzestan. Applied Field Crops Research 27(103): 55-60. (In Persian with English Summary) doi.org/10.22092/aj.2014.101205

Mousavi Booger, A., 2017. Investigation of the effect of tillage methods in different cycles on crop yield and physical and chemical properties of soil in climatic conditions of Karaj. Ph.D. Thesis, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Iran. (In Persian)

Omidi, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Ghalavand, A., and Modarres Sanavi, S.A.M., 2006. Evaluation of tillage systems and row distances on grain yield and oil content in two canola (*Brassica napus*) cultivars. Iranian Journal of Field Crop Science 7(2): 97-111. (In Persian with English Summary) doi.org/20.1001.1.15625540.1384.7.2.1.5

Ossible, M., Crookston, R.K., and Larson, W.E., 1992. Sub surface compaction reduces the root and shoot growth and gain yield of wheat. Agronnomy Journal 84: 34-38. doi.org/10.2134/agronj1992.00021962008400010008x

Pirasteh-Anosheh, 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) doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.02.016

Putte, A.V., Govers, G., Diels, J., Gillijns, K., and Demuzere, M., 2010.Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. European Journal of Agronomy 33: 231–241. doi.org/10.1016/j.eja.2010.05.008

Reintam, E. Kuht, J., Loogus, H., Nugis, E., and Trukmann, K., 2005. Soil compaction and fertilisation effects on nutrient content and cellular fluid pH of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) Agronomy Research 3(2): 189–202.

Rezaei, D., 2014. Effect of biological fertilizer on growth traits and yield of canola under drought stress. M.Sc. Thesis, Islamic Azad University- Ilam branch, Iran. (In Persian with English Summary)

Saeedipoor, S., 2016.The effect of different tillage operations and different irrigation regimes on growth indices, yield and yield components of maize in Izeh climatic conditions. M.Sc. Thesis, Islamic Azad University- Ahvaz Branch, Iran. (In Persian with English Summary)

Toushieh, V., 2004. Effect of dryland wheat straw on yield and protein content at dryland wheat. 2004. Iranian Journal of Soil and Water Research 17: 151-162. (In Persian with English Summary)

Contents

Calibration and Validation of WOFOST Model for Predicting the Phenology and Yield in Potato (Solanum tuberosum L.) Growing Regions in Iran **601**
Mojtaba Torkaman, Mehdi Nassiri Mahallati and Alireza Koocheki

Zoning of areas susceptible to cultivation of twenty medicinal plant species in Qom province using analytic hierarchy process model (AHP) **617**
Mohammad Mahdi Fattahi, Rasool Mahdavi, Marzieh Rezaei and Yahya Esmaeilpour

Effect of Tillage Systems, Plant Residue Management and Potassium Fertilizer Application on Yield and some Physiological Characteristics of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) **633**
Zahra Mir, Ahmad Ghanbari, Mahdi Dahmardeh, Mahmmod Ramroudi and Mohammad Reza Asgharipour

Effect of Biochar, Nitrogen Fertilizer and *Azospirillum lipofrom* on Nitrogen Use Efficiency Indices **of Rice Plant in Flooded and Alternation Irrigation** **649**
Mohammad Kaveh, Mohammad Ali Esmaeli, Hemmat Allah Pirdashti and Mohammad Reza Ardakani

Investigation of the Effect of Different Amounts of Nitrogen Fertilizer on Yield, Yield Components and Nitrogen Use Efficiency of Two Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) Cultivars in Southern Khuzestan Province **671**
Payvand Papan, Ali Mokhtaran and Sajjad Ansari ardali

Analysis of Water and Energy Consumption and Environment Impacts of Agricultural Production in Miandarband Plain of Kermanshah Province **693**
Faranak Karamian, Ali Asghar Mirakzadeh and Arash Azari

Simulation of Phonological Development and Growth Duration in Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) using SSM-iSorghum Model (Case Study: Gorgan County) **713**
Ali Rahemi Karizaki, Hamid Kouhkan, Mohammad Taghi Feyzbakhsh and Nabi Khaliliaqdam

Responses of Dragon's Head (*Lallemantia iberica*) and Lady's Mantle (*Lallemantia royleana*) Inoculated by Mycorrhiza to Different Irrigation Regimes **731**
Arezoo Paravar, Saeede Maleki Farahani and Alireza Rezazadeh

Estimation of Water Requirement and Wheat (Triticum aestivum L.) Yield under the Impact of Climate Change **751**
Mozhgan Ahmadi and Hadi Ramezani Etedali

Effect of Rice Residue Management on Growth and Quantitative and Qualitative Yield of Rapeseed (*Brassica napus*) Cultivars **769**
Hamid Amanipor and Seyed Keyvan Marashi

Journal of Agroecology (Quarterly)

Vol. 14 No. 4 Winter 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. 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. Reza Ghorbani, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Alireza Koocheki, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Mohammad Galavi, Faculty of Agriculture, Zabol University

Prof. Mehdi Nassiri Mahallati, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

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

Ferdowsi University of Mashhad

Vol. 14 No. 4

Winter 2023

Journal of Agroecology (Quarterly)

ISSN: 2008-7713

Contents

Calibration and Validation of WOFOST Model for Predicting the Phenology and Yield in Potato (Solanum tuberosum L.) Growing Regions in Iran 601
Mojtaba Torkaman, Mehdi Nassiri Mahallati and Alireza Koocheki

Zoning of areas susceptible to cultivation of twenty medicinal plant species in Qom province using analytic hierarchy process model (AHP) 617
Mohammad Mahdi Fattahi, Rasool Mahdavi, Marzieh Rezaei and Yahya Esmaeilpour

Effect of Tillage Systems, Plant Residue Management and Potassium Fertilizer Application on Yield and some Physiological Characteristics of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) 633
Zahra Mir, Ahmad Ghanbari, Mahdi Dahmardeh, Mahmmod Ramroudi and Mohammad Reza Asgharipour

Effect of Biochar, Nitrogen Fertilizer and *Azospirillum lipofrom* on Nitrogen Use Efficiency Indices of Rice Plant in Flooded and Alternation Irrigation 649
Mohammad Kaveh, Mohammad Ali Esmaeli, Hemmat Allah Pirdashti and Mohammad Reza Ardakani

Investigation of the Effect of Different Amounts of Nitrogen Fertilizer on Yield, Yield Components and Nitrogen Use Efficiency of Two Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) Cultivars in Southern Khuzestan Province 671
Payvand Papan, Ali Mokhtaran and Sajjad Ansari ardali

Analysis of Water and Energy Consumption and Environment Impacts of Agricultural Production in Miandarband Plain of Kermanshah Province 693
Faranak Karamian, Ali Asghar Mirakzadeh and Arash Azari

Simulation of Phonological Development and Growth Duration in Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) using SSM-iSorghum Model (Case Study: Gorgan County) 713
Ali Rahemi Karizaki, Hamid Kouhkan, Mohammad Taghi Feyzbakhsh and Nabi Khaliliaqdam

Responses of Dragon's Head (*Lallemantia iberica*) and Lady's Mantle (*Lallemantia royleana*) Inoculated by Mycorrhiza to Different Irrigation Regimes 731
Arezoo Paravar, Saeede Maleki Farahani and Alireza Rezazadeh

Estimation of Water Requirement and Wheat (Triticum aestivum L.) Yield under the Impact of Climate Change 751
Mozhgan Ahmadi and Hadi Ramezani Etedali

Effect of Rice Residue Management on Growth and Quantitative and Qualitative Yield of Rapeseed (*Brassica napus*) Cultivars 769
Hamid Amanipor and Seyed Keyvan Marashi