نشریه علمی

بوم شناسی کشاورزی (فصلنامه)

جلد ۱۴ شماره ۱

زمستان ۱۴۰۱

(شماره پیاپی ۵۱)

شاپا: ۷۷۱۳-۲۰۰۸

عنوان مقالات

ارزیابی تنوع زیستی کشاورزی در بوم‌نظام‌های باغچه‌ای برخی مناطق استان خراسان رضوی ۳

مهدی نصیری محلاتی، علیرضا کوچکی، آرش قلعه گلاب بهبهانی و جواد شباهنگ

اثر باکتری‌های افزاینده رشد و قارچ میکوریزا بر صفات مهم زراعی دو رقم گندم (*Triticum aestivum* L.; *Triticum turgidum* var. durum) در شرایط دیم ۲۱

رحیم ناصری، مهرشاد براری، محمدجواد زارع، کاظم خاوازی و زهرا طهماسبی

رفع محدودیت آبیاری بهاره در کاشت ذرت(*Zea mays*) با استفاده از کشت مخلوط تأخیری با کلزا(*Brassica napus* L.) ۳۷

علیرضا کوچکی، قربانعلی اسدی، بهاره بیجرانلو و میلاد باقری شیروان

تأثیر کودهای آلی بر ترکیب و عملکرد اسانس در کشت پایدار گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) ۵۵

محمدتقی درزی، بیژن صادقی نکو و محمدرضا حاج سیدهادی

ارزیابی و پهنه‌بندی کارآیی مصرف آب در استان خراسان رضوی ۷۱

علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی، سارا اسدی و حسین زارع

واکنش رشد و عملکرد ارزن (*Panicum miliaceum* L.) معمولی به مصرف سطوح مختلف کود دامی و سولفات روی ۹۷

منیره هاشمی، محمدعلی بهدانی، مجید جامی الاحمدی و حمید رضا فلاحی

بررسی تأثیر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و سولفات مس بر خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) ۱۱۷

محمدحسین امینی فرد، محبوبه عسگریان، مهدی خیاط و مهدی جهانی

تحلیل پایداری نظام تولید گندم (*Triticum aestivum* L.)و جو (*Hordeum vulgare* L.) دیم در ایران ۱۳۵

سید محمد جعفر اصفهانی و حامد جوادی

بررسی عملکرد بوته و اجزای عملکرد نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.) و وزن و ارتفاع بوته کاهو (*Lactuca sativa* L.) تحت تأثیر نیتروژن و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط ۱۶۱

حسن محمدی‌پور، علی نخ‌زری‌مقدم، مهدی ملاشاهی و معصومه نعیمی

برآورد ردپای آب و آب مجازی برای تعیین الگوی کشت بهینه؛ مطالعه موردی: شهرستان‌های قائنات و زیرکوه ۱۷۵

حمیدرضا ابوترابی، محمود رمرودی، محمدرضا اصغری‌پور و محمد صادق غضنفری مقدم

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 ۱ بهار 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، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

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

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

دکتر سعید زهتاب سلماسی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

دکتر حمید شاهنده، پژوهشگر علوم خاک، گروه علوم خاک و گیاهان زراعی، دانشگاه 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

ارزیابی تنوع زیستی کشاورزی در بوم‌نظام‌های باغچه‌ای برخی مناطق استان خراسان رضوی ۳

مهدی نصیری محلاتی، علیرضا کوچکی، آرش قلعه گلاب بهبهانی و جواد شباهنگ

اثر باکتری‌های افزاینده رشد و قارچ میکوریزا بر صفات مهم زراعی دو رقم گندم (*Triticum aestivum* L.; *Triticum turgidum* var. durum) در شرایط دیم ۲۱

رحیم ناصری، مهرشاد براری، محمدجواد زارع، کاظم خاوازی و زهرا طهماسبی

رفع محدودیت آبیاری بهاره در کاشت ذرت(*Zea mays*) با استفاده از کشت مخلوط تأخیری با کلزا(*Brassica napus* L.) ۳۷

علیرضا کوچکی ، قربانعلی اسدی، بهاره بیچرانلو و میلاد باقری شیروان

تأثیر کودهای آلی بر ترکیب و عملکرد اسانس در کشت پایدار گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) ۵۵

محمدتقی درزی، بیژن صادقی نکو و محمدرضا حاج سیدهادی

ارزیابی و پهنه‌بندی کارآیی مصرف آب در استان خراسان رضوی ۷۱

علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی، سارا اسدی و حسین زارع

واکنش رشد و عملکرد ارزن (*Panicum miliaceum* L.) معمولی به مصرف سطوح مختلف کود دامی و سولفات روی ۹۷

منیره هاسمی، محمدعلی بهدانی، مجید جامی الاحمدی و حمید رضا فلاحی

بررسی تأثیر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و سولفات مس بر خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) ۱۱۷

محمدحسین امینی فرد، محبوبه عسگریان، مهدی خیاط و مهدی جهانی

تحلیل پایداری نظام تولید گندم (*Triticum aestivum* L.)و جو (*Hordeum vulgare* L.) دیم در ایران ۱۳۵

سید محمد جعفر اصفهانی و حامد جوادی

بررسی عملکرد بوته و اجزای عملکرد نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.) و وزن و ارتفاع بوته کاهو (*Lactuca sativa* L.) تحت تأثیر نیتروژن و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط ۱۶۱

حسن محمدی‌پور، علی نخ‌زری‌مقدم، مهدی ملاشاهی و معصومه نعیمی

برآورد ردپای آب و آب مجازی برای تعیین الگوی کشت بهینه؛ مطالعه موردی: شهرستان‌های قائنات و زیرکوه ۱۷۵

حمیدرضا ابوترابی، محمود رمرودی، محمدرضا اصغری‌پور و محمد صادق غضنفری مقدم

اسامی ارزیابان جلد ۱۴ شماره ۱ (بهار۱۴۰۱) نشریه بوم شناسی کشاورزی (به ترتیب الفبا)

دکتر حمیدرضا اصغری	دانشگاه صنعتی شاهرود
دکتر محمدبهزاد امیری	مجتمع آموزش عالی گناباد
دکتر الهه برومند رضازاده	شرکت صنایع غذایی به آرا
دکتر لیلا تبریزی	دانشگاه تهران
دکتر حامد جوادی	دانشگاه پیام نور
دکتر محسن جهان	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر سرور خرم دل	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر محمدتقی درزی	دانشگاه آزاد اسلامی – واحد رودهن
دکتر محمود رمرودی	دانشگاه زابل
دکتر هادی رمضانی اعتدالی	دانشگاه بین المللی امام خمینی(قزوین)
دکتر الهام عزیزی	دانشگاه پیام نور سبزوار
دکتر یاسر علیزاده	دانشگاه ایلام
دکتر عبدالعلی غفاری	مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجانغربی
دکتر مهدی فراوانی	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی طرق
دکتر بهنام کامکار	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر علیرضا کوچکی	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر روح اله مرادی	دانشگاه کرمان
دکتر حامد منصوری	مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان

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 LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند" حذف شود.

-

- **صفحه آخر** شامل عنوان مقاله، چکیده انکلیسی و کلمات کلیدی همگی به زبان انگلیسی بوده و از ذکر اسامی و آدرس نویسندگان در این صفحه خودداری شود. چکیده انگلیسی برگردان کامل چکیده فارسی باشد.

فهرست منابع:

الف- کلیه منابع فارسی و انگلیسی به زبان انگلیسی و با قلم Times New Roman اندازه ۱۲ در فهرست منابع نوشته شوند. در نوشتن لیست منابع در قسمت فرمت Hanging اندازه ۰/۵ انتخاب گردد.

ب- کلیه منابع فارسی به زبان انگلیسی برگردان شده و در آخر هر منبع، در صورت داشتن خلاصه انگلیسی (In Persian with English Summary) و در صورت نداشتن خلاصه انگلیسی داخل پرانتز (In Persian) نوشته شود.

ج- در نوشتن منابع، اسامی مجلات بصورت کامل نوشته شوند.

د- در صورتی که در نوشتن منابع مقاله از برنامه EndNote استفاده می‌شود، در قسمت Bibliography style نوع Agri Ecosys Enviro انتخاب گردد.

مثال‌هایی از نحوه نوشتن فهرست منابع در ذیل آمده است:

۱- مجلات:

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, K., Mondani, F., Feizi, H., and Amirmoradi, S., 2014. Determination of optimal strip width in strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Northeast Iran. Journal of Cleaner Production 85: 1-8.

۲- کتاب تالیف شده:

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

۳- مقاله یا یک فصل از کتاب تدوین شده (Edited book):

Ison, R. 2008. Systems thinking and practice for action research. In P. Reason and H. Bradbury (Eds.). Handbook of Action Research: Participative Inquiry and Practice. Sage Publications, London. p. 139–158.

۴- مقاله در نشریه برخط (On-line):

Flora, C.B. 2004. Agricultural change and rural development. Rural Development News 27(3):1–3. Available at Web site http://www.ag.iastate.edu/centers/rdev/newsletter/Vol27No3-2004/agchange.htm (verified 5 September 2000).

۵- مقاله یا نوشته از اینترنت مربوط به یک دانشگاه یا اداره دولتی همراه با نام نگارنده:

Watson, R.T., Zinyowera, M.C., and Moss, R.H. 2006. IPCC Special Report on The Regional Impacts of Climate Change. An Assessment of Vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change. Available at Web site http://www.grida.no/climate/ipcc/regional/index.htm (verified 5 September 2007).

۶- مقاله یا نوشته از اینترنت مربوط به یک دانشگاه یا اداره دولتی بدون نام نگارنده:

Food and Agriculture Organization (FAO). 2006. The FAOSTAT Database. Available at Web site http://faostat.fao.org/default.aspx (verified 5 September 2007).

۷- رساله‌های تحصیلی:

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

۸- 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.

- **تمامی ارجاعات داخل متن باید به رفرنس مربوطه لینک شوند.**
- **درج شناسه DOI (درصورت وجود) در انتهای هر رفرنس الزامی است.**

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: ۳۸۸۰۴۶۵۴-۰۵۱ نمابر: ۳۸۷۸۷۴۳۰- ۰۵۱ 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. 1, Spring 2022, p. 1-18

Assessing Agrobiodiversity in Home Garden Ecosystems of some Regions in Khorasan Razavi Province

M. Nassiri Mahallati[1], A. Koocheki[1*], A. Ghale Golab Behbahani[2] and J. Shabahang[2]

Received: 11-11-2015
Revised: 14-05-2016
Accepted: 20-05-2016
Available Online: 15-06-2022

How to cite this article:
Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Ghale Golab Behbahani, A., and Shabahang J., 2022. Assessing agrobiodiversity in home garden ecosystems of some regions in Khorasan Razavi province. Journal of Agroecology 14(1):1-18
DOI:10.22067/jag.v1i1.51345

Introduction

Characteristics such as the high levels of agrobiodiversity, the efficiency of the nutrition, and also variety in ecological and socio-economic functions have altered home gardens into the appropriate model for achieving a sustainable agricultural system. So far, fewer studies in relation to these features have been done in home gardens of dry and semi-arid regions. Protection of diversity with a particular emphasis on agricultural biodiversity is fundamental to sustainable development in food production and hence food security. Expansion of industrial agriculture in the form of monoculture for the purpose of maximizing the yield with the aid of high-yielding varieties and intensive use of inputs has hampered the ecological functions of food production systems worldwide. This problem can be overcome by the application of a wide array of ecological agriculture practices, of which food production in home gardens is only one of them. This environmentally sound practice is an old system of land use almost in all parts of the world with a wide range of dimensions. A combination of different plants, from herbs to trees and in cases with poultry and other low-weight animals, provides a complex sustainable system of food production. This type of subsistence food production is based on local knowledge and normally is part of the residential area or, to the, low input. Food produced in this system is consumed locally, and women are the main element in both production and marketing. Exchanges of experience and knowledge, seed, and also tools, and labors are very common in neighboring communities. The purpose of the present study was to investigate the agrobiodiversity of home gardens in an arid environment of Khorasan Razavi Province.

Materials and Methods

Data collection for this study was based on the fieldwork with the distribution of questioners. For this purpose, 17 villages from 3 highly populated counties of Mashhad/ Quchan and Nyshabour were selected, and 164 questioners were distributed with a face-to-face procedure. After the collection and validation of data, only 136 questionnaires were selected, data were extracted, and finally, an analysis was carried out. Afterward, the Shannon biodiversity index, Simpson index, and species richness were calculated. The amount of carbon sequestered was also calculated by an equation referred to in the literature. For the calculation of biodiversity indices, the area under cultivation of each species was used. Based on the available previous studies, seven basic functions for home gardens were assigned.

Results and Discussion

Results showed the highest Shannon index of species diversity equal to 1.88 for the county of Neishabour; however, the highest functional diversity was found in Quchan. More the 79 percent of changes in the Shannon index are caused by changes in species richness. Stepwise regression analysis revealed that changes in species richness, home area, and household population were the factors that caused 84 percent of changes in functional

1- professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
2- PhD in Agricultural Ecology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: akooch@um.ac.ir)

diversity. Home gardens in these three counties sequester 8.1 tons of carbon dioxide per hectare, and this amount showed a decreasing trend where the distance from the vehicle roads was increased.

Conclusion

It was revealed that with taking distance from the main roads, the amount of carbon dioxide (kg per m^2) decreased by tree species.

Acknowledgments

The authors acknowledge the financial support of this project (grant number 2/19719) by the Vice President for Research and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

Keywords: Carbon sequestration; Conservation; Shannon index; Simpson index; Sustainable development

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

مقاله پژوهشی

ارزیابی تنوع زیستی کشاورزی در بوم‌نظام‌های باغچه‌ای برخی مناطق استان خراسان رضوی

مهدی نصیری محلاتی[1]، علیرضا کوچکی[1*]، آرش قلعه گلاب بهبهانی[2] و جواد شباهنگ[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۲۰
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۰۲/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۳۱

نصیری محلاتی، م.، کوچکی، ع.، قلعه گلاب بهبهانی، آ.، و شباهنگ، ج.، ۱۴۰۱. ارزیابی تنوع زیستی کشاورزی در بوم‌نظام‌های باغچه‌ای برخی مناطق استان خراسان رضوی. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۱): ۱۸-۱.

چکیده

امروزه ویژگی‌هایی نظیر سطوح بالای تنوع زیستی کشاورزی،کارایی بالای چرخه مواد غذایی و همچنین کارکردهای متنوع بوم‌شناختی و اقتصادی- اجتماعی، باغچه‌ها را به الگویی مناسب برای دستیابی به مدلی پایدار در تولید محصولات کشاورزی تبدیل کرده است. با توجه به اینکه تاکنون مطالعات کمتری در رابطه با این ویژگی‌ها در باغچه‌های مناطق خشک و نیمه خشک انجام شده است، هدف از انجام این مطالعه، بررسی ساختار تنوع زیستی‌کشاورزی با تأکید بر تنوع کارکردی و شناخت عوامل مؤثر بر آن‌ها در باغچه‌های استان خراسان رضوی (شهرستان‌های مشهد، قوچان و نیشابور) بود که داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز آن از طریق مطالعات میدانی و تکمیل پرسش‌نامه در سال ۱۳۹۱ استخراج گردید. نتایج نشان داد که شهرستان نیشابور با داشتن شاخص تنوع زیستی شانون ۱/۸۸ بالاترین سطح تنوع گونه‌ای را دارا بود، این در حالی است که بالاترین میزان تنوع کارکردی در باغچه‌های شهرستان قوچان مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که بیش از ۷۹ درصد از تغییرات شاخص تنوع شانون ناشی از تغییر شاخص غنای گونه‌ای می‌باشد، این در حالی است که نتایج حاصل از برازش مدل خطی چندگانه با استفاده از رگرسیون گام‌به‌گام نشان داد که تغییرات صفات مختلفی همچون شاخص غنای گونه‌ای، مساحت منزل و جمعیت خانوار، ۸۴ درصد از تغییرات شاخص تنوع کارکردی شانون را موجب می‌شوند. باغچه‌های شهرستان‌های مشهد، قوچان و نیشابور به‌طور میانگین با ۸/۱ تن ترسیب کربن در هکتار نقش مهمی در تعدیل شرایط حاصل از افزایش غلظت گاز دی‌اکسیدکربن بر عهده داشتند و مشخص شد که با فاصله گرفتن از مسیرهای آسفالته میزان ترسیب کربن (کیلوگرم در مترمربع) توسط گونه‌های درختی در باغچه‌ها کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: ترسیب کربن، توسعه پایدار، حفاظت، شاخص تنوع سیمپسون، شاخص تنوع شانون

مقدمه

تنوع زیستی گستره‌ای از تنوع ژنتیکی، تنوع گونه‌ای، تنوع بوم نظام‌ها و حتی تنوع حاصل از برهم‌کنش‌های بوم‌شناختی را در بر می‌گیرد (Duelli, 1997). تنوع زیستی کشاورزی در نتیجه اثرات متقابل بین منابع ژنتیکی گیاهی، محیط زنده و غیرزنده و مدیریت زراعی شکل می‌گیرد (Brookfield & Stocking, 1999). یکی از مفاهیمی که در زمینه توسعه پایدار در بخش کشاورزی مطرح است حفظ تنوع زیستی است، در حقیقت حفاظت از تنوع زیستی کشاورزی پیش‌نیازی جهت توسعه پایدار در بخش کشاورزی محسوب می‌شود (Tapasi & Kumar, 2005). امروزه توسعه کشاورزی صنعتی و همچنین گسترش نظام‌های تک کشتی در راستای تولید حداکثری در سامانه‌های زراعی و علاوه‌بر آن استفاده از ارقام و واریته‌های پر محصول با کمترین سطح تنوع ژنتیکی موجب شده است که کارکردهای متنوع بوم‌نظام‌های کشاورزی تنها به تولید و کارکرد

۱- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۲- دکتری بوم‌شناسی زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: akooch@um.ac.ir)
DOI :10.22067/jag.v1i1.51345

اقتصادی خلاصه شوند و به‌نوعی می‌توان گفت که پایداری دراز مدت در اکوسیستم‌های کشاورزی به مخاطره افتاده است (Nassiri et al., 2003). باغچه‌ها[1] به‌عنوان یکی از قدیمی‌ترین سامانه‌های مدیریت کاربری اراضی، دارای تنوع گونه‌ای غنی و ارزشمندی می‌باشند (Watson & Eyzaguirre, 2002; Kumar & Nair, 2004; Sthapit et al, 2004)، باغچه‌ها در حقیقت سامانه‌های کشاورزی سنتی و تلفیقی بوده که از ساختار پیچیده‌ای برخوردارند و ترکیبی از گونه‌های درختی و علفی را دارا می‌باشند. این سامانه‌های کشاورزی که در جوار محل سکونت خانوارها واقع شده‌اند از لحاظ ساختار به سامانه‌های جنگل زراعی[2] شبیه بوده که در آن‌ها علاوه‌بر حضور گونه‌های درختی، گونه‌های یک‌ساله و چند ساله در کنار یکدیگر پرورش داده می‌شوند(Tapasi & Kumar Das, 2005). باغچه‌ها در سه دهه گذشته بنا به دلایل زیادی، موضوع مطالعات متعددی قرار گرفته‌اند (Tapasi & Kumar, 2005)، ویژگی‌هایی نظیر کارایی بالای چرخه مواد غذایی و سطوح بالای تنوع زیستی در این سامانه‌های کشاورزی، وابستگی کمتر به نهاده‌های خارجی و قابلیت‌های بالا در حفاظت خاک، باغچه‌ها را به بستر و الگویی مناسب برای دستیابی به مدلی پایدار در تولید محصولات کشاورزی بدل نموده است (Jose & Torquebiau, 1992; Shanmugaratnam,1993; Tapasi & Kumar Das, 2005). کارکردهای اقتصادی- اجتماعی باغچه‌ها باعث شده، آن‌ها به‌عنوان محلی مناسب جهت کسب درآمد بیشتر برای خانوارهای روستایی شناخته شوند (Chiristani, 1990) و از طرفی، نوع نگرش جدید به سامانه‌های تولید مواد غذایی توانسته باغچه‌ها را به‌عنوان الگویی مناسب برای تولید غذا در جوامع شهری معرفی نماید که این امر نیز می‌تواند در ایجاد و بهبود الگوی توسعه پایدار در شهرها نقش بسزایی داشته باشد (Barthel & Isendahl, 2012).

جنگل‌زدایی و قطع درختان جنگلی به‌خصوص در مناطق حاره یکی از عوامل اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد، تخمین زده می‌شود که سالانه بالغ بر $1/1\times10^{15}$ گرم کربن یعنی معادل ۱۲ درصد کل گاز دی‌اکسیدکربن منتشر شده در اثر فعالیت‌های انسان از این طریق وارد اتسمفر می‌شود، حفظ گونه‌های درختی در باغچه‌ها و توانایی بالای آن‌ها در ترسیب کربن می‌تواند تعدیل‌کننده این افزایش غلظت کربن در انسمفر باشد (Kumar, 2011). فعالیت زنان در باغچه‌ها یکی دیگر از ابعاد مورد ارزیابی محققان در مطالعات مربوط به این سامانه‌ها است، با توجه به مشارکت زنان در مدیریت باغچه‌ها (Rugalema et al., 1994; Moreno Black et al., 1996;) می‌توان این گونه بیان داشت که باغچه‌ها محلی برای متجلی نمودن تأثیرگذاری سبک مدیریت زنان در بوم‌نظام‌های کشاورزی می‌باشند (Rugalema et al., 1994; Moreno Black et al., 1996). مطالعات متعددی در مناطق مختلف روستایی در سراسر جهان نشان داده کشاورزان علاوه‌بر انتقال بذور و ژرم‌پلاسم‌های گیاهی با ایجاد شبکه‌های اطلاعاتی سعی در گسترش و اشاعه اطلاعات تجربی در زمینه بهبود پرورش گونه‌های کشاورزی در باغچه‌ها دارند و این سامانه‌ها را به محلی برای نگهداری این دانش بومی تبدیل نموده‌اند (Subedi et al., 2001; Ban & Coomes, Watson, 2000; Tapia., 2000; 2005). تاکنون اکثر مطالعات انجام شده در این زمینه، با هدف مطالعه بر روی باغچه‌های واقع در مناطق گرمسیری و پرباران بوده است (Alcorn, 1992; Clark & Thaman, 1993; Mariel et al., 2008; Oliver, 2004; Gomez-poma, 1996) و به کارکردها و ساختار این سامانه‌ها در مناطق خشک و نیمه خشک، کمتر توجه شده است (Blanckaert et al., 2004). با توجه به آنچه در مورد اهمیت و نقش کارکردی باغچه‌ها ذکر شد، هدف از انجام این مطالعه، بررسی ساختار تنوع زیستی کشاورزی و تنوع کارکردی و همچنین شناخت عوامل مؤثر بر آن‌ها در باغچه‌های استان خراسان رضوی بود.

مواد و روش‌ها

جهت بررسی تنوع زیستی کشاورزی، همچنین ساختار و کارکرد باغچه‌ها در استان خراسان رضوی، ۱۷ روستا از سه شهرستان پر جمعیت و مهم استان شامل مشهد، قوچان و نیشابور انتخاب شدند. با توجه به اهداف این پژوهش، پرسش‌نامه‌ای جهت استخراج اطلاعات و داده‌های مورد نیاز برای انجام مطالعه طراحی شد. این پرسش‌نامه حاوی سؤالاتی در مورد سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در باغچه‌ها، قدمت و همچنین روش‌های مدیریتی وکارکردهای متنوع آن‌ها بود. در طی سال ۱۳۹۱ با مراجعه به تعدادی از روستاهای هر شهرستان (جدول۱)، در مجموع، تعداد ۱۶۴ پرسش‌نامه تکمیل و داده‌های آن استخراج شد و سپس صحت‌سنجی داده‌ها صورت پذیرفت و در نهایت، پس از حذف داده‌های غیر معتبر، اطلاعات موجود در ۱۳۶ پرسش‌نامه در مجموع این سه شهرستان مورد استفاده قرار گرفت.

1- Home gardens
2- Agro forestry

جدول ۱- روستاهای مورد بررسی در هر یک از شهرستان‌های مورد مطالعه

Table1-Name of villages in each studied cities.

نام شهرستان Name of city	نام روستا Name of village
قوچان Quchan	یزدان‌آباد علیا Yazdanabad-e Olya
	فخرآباد Fakhrabad
	نیت Neyyat
	جنیدآباد Joneydabad
مشهد Mashhad	ابرده Abardeh
	زاوین (کلات نادر) Zavin (Kalat Nader)
	نغندر Noghondar
	کنگ Kang
نیشابور Neyshabur	تقی‌آباد Taqiabad
	معدن فیروزه Turquoise mine
	قالیباف Ghalibaf
	یوسف‌آباد Yousefabad
	صمان Somman
	سلیمانی‌آباد Soleymaniabad
	قلعه حسن Qaleh Hasan
	رباط Robat
	میان بند (میان جلگه) Mian Band (Miyan Jolgeh)

جهت ارزیابی تنوع زیستی کشاورزی از سطح زیر کشت گونه‌های گیاهی کشت شده در باغچه‌ها استفاده شد. جهت کمّی‌سازی تنوع گونه‌های کشاورزی از سه شاخص رایج تنوع زیستی (Eric et al., 2009)، شاخص غنای گونه‌ای[1]، شاخص تنوع شانون[2] (Margalef, 1958) و شاخص تنوع سیمپسون[3] (Simpson, 1949) استفاده شد.

1- Species richness index Simpson index
2 - Shannon index
3 - Simpson index

با توجه به بررسی سایر منابع و مطالعاتی که پیش از این صورت پذیرفته است، هفت کارکرد اصلی برای باغچه‌ها تعریف شد (Mariel et al., 2008) (جدول ۲) و سپس بر اساس سطح زیر کشت محصولات برای هر یک از کارکردهای تعریف شده در جدول ۲ و با استفاده از همان شاخص‌های تنوع که در کمّی‌سازی تنوع زیستی گونه‌های کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته بودند، شاخص‌های تنوع کارکردی نیز، محاسبه شدند.

مقدار ترسیب کربن گونه‌های درختان دو لپه‌ای (کیلوگرم کربن ترسیب شده در مترمربع از باغچه) در باغچه‌های شهرستان‌های مورد مطالعه با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد (Kumar, 2011):

معادله (۱)

$$Cseq^{4} = Yt / 2$$

$$Yt = \mathrm{EXP}\{-2.134 + (2.530 \times \mathrm{Ln}(D))\} / 2$$

که در این معادله، Yt: کل بیوماس ذخیره شده در درختان دو لپه‌ای[5] به‌عنوان تابعی از قطر تنه درختان (D) (۵۰ درصد از بیوماس، برابر با مقدار کل کربن ترسیب شده در نظر گرفته شد) و D: قطر تنه درختان (سانتی‌متر) با ارتفاع بیشتر از ۱۴۰ سانتی‌متر می‌باشند (Kumar, 2011). سپس برای محاسبه مقدار کربن ترسیب شده در واحد سطح، Yt بر مساحت باغچه‌ها (مترمربع) تقسیم شد. جهت مقایسه بهتر باغچه‌ها لحاظ شاخص‌های تنوع زیستی و کارکردی و همچنین میزان ترسیب کربن، نمودار جعبه‌ای[6] برای این صفات برازش داده شد و در مرحله بعد با استفاده از فراوانی شاخص‌های محاسبه شده در باغچه‌ها دسته‌بندی داده‌های کمّی به سه طبقه کیفی[7] (زیاد، متوسط و کم) توسط نرم‌افزار SPSS. V. 17 صورت پذیرفت و نمودارهای قطاعی[8] جهت مشخص نمودن توزیع آن‌ها ترسیم شد. سپس آزمون همبستگی پارامتریک[9] جهت ارزیابی همبستگی صفات برآورد شده در باغچه‌ها در سطوح معنی‌داری ۹۵ و ۹۹ درصد صورت پذیرفت. همچنین با استفاده از روش‌های غیرپارامتریک اسپیرمن[10] همبستگی صفات رتبه‌ای[11] بین متغیرها برآورد گردید. از روش رگرسیون گام به گام جهت شناخت عواملی که

4- Carbon sequestration
5- Dicot trees
6-. Box plot
7- Scale to ordinal
8- Pie charts
9- Parametric correlation (Pearson)
10- Non-Parametric (Spearman rho)
11- Ordinal

بیشترین تأثیر را بر تغییرات شاخص‌های تنوع‌زیستی و شاخص‌های تنوع‌کارکردی و همچنین میزان ترسیب کربن در باغچه‌ها دارند، استفاده گردید و مدل خطی چندگانه مربوط به تغییرات هر یک از شاخص‌ها برازش داده شد.

جدول ۲- کارکردهای تعریف شده برای محاسبه شاخص‌های تنوع کارکردی باغچه‌ها

Table 2- Described functions of home gardens for assessing the functional indices (Mariel et al., 2008)

کارکرد Function	توضیحات Description
کارکرد تغذیه‌ای Nutritional function	گونه‌هایی که مستقیماً به‌مصرف غذایی خانوار کشاورزان می‌رسند، دارای کارکرد تغذیه‌ای می‌باشند. Species that are directly consumed by farmers's household have a nutritional function.
کارکرداقتصادی Economic function	صرفاً آن دسته از گونه گیاهانی که محصول آن‌ها به فروش می‌رسند و به‌عنوان منبع درآمدی برای خانوار کشاورزان مطرح هستند. Only those plants whose products are sold and are a source of income for the farmer family.
کارکرد حفاظتی از تنوع زیستی Conservation of biodiversity	کل سطح زیر کشت گونه‌های موجود در باغچه به‌عنوان سطح کارکرد حفاظتی باغچه در نظر گرفته شد. The total harvested area of the species in the garden was considered as the level of conservation function of the garden.
کارکرد آزمایشی Experimentation function	بر اساس اینکه یک گونه ابتدا در باغچه‌ها مورد آزمایش‌های مختلف قرار بگیرد و سپس به سامانه‌های زراعی و باغی منتقل گردد، این کارکرد تعریف شد. This function was defined based on the fact that a species is first tested in different gardens and then transferred to agricultural and horticultural systems.
کارکرد زیبا شناختی Aesthetics function	سطح زیر کشت گونه‌های زینتی به‌عنوان سطح بهره‌برداری از این کارکرد در نظر گرفته شد. The harvested area of ornamental species was considered as the level of exploitation of this function.
کارکرد دارویی Medical function	سطح زیر کشت گونه‌های دارویی به‌عنوان سطح بهره‌برداری از این کارکرد در نظر گرفته شد. The harvested area of medicinal species was considered as the level of exploitation .of this function
تنظیم شرایط آب و هوایی و ترسیب کربن Air regulation and carbon sequestration function	با اینکه تمام گونه‌های گیاهی که دارای سبزینه هستند و در تنظیم شرایط آب و هوایی در اکوسیستم مشارکت می‌نمایند، امّا در این مطالعه تنها گونه‌های درختی موجود در باغچه‌ها و سطح زیر کشت آن‌ها به‌عنوان عامل تأثیر گذار در این کارکرد در نظر گرفته شد. Although all plant species that have greenery and participate in regulating climatic conditions in the ecosystem, but in this study only tree species in gardens and their harvested area as an effective factor in This function was considered.

نتایج و بحث

مقادیر پارامترهای آماری محاسبه شده از شاخص‌های تنوع زیستی کشاورزی، شاخص‌های تنوع کارکردی و همچنین سایر صفات باغچه‌های استان خراسان رضوی را می‌توان در جدول ۳ مشاهده نمود. نتایج نشان داد که باغچه‌های مورد بررسی در این مطالعه حاوی تنوع بالایی از گونه‌های درختی، درختچه‌ای، علوفه‌ای، یک‌ساله و چند ساله بودند.

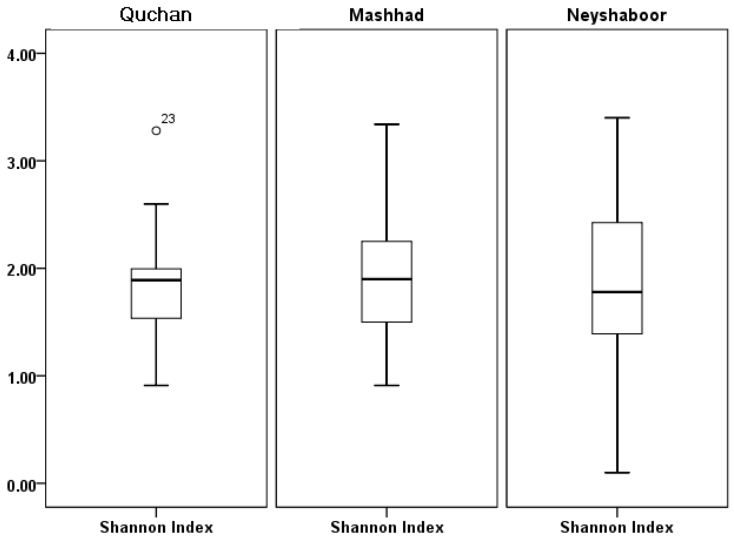
شاخص غنای‌گونه‌ای در باغچه‌های مجاور محل سکونت خانوارهای روستایی زیاد بود و در مواردی تا ۱۶ گونه در برخی از باغچه‌های این استان مشاهده شد. همچنین برآورد شاخص‌های تنوع زیستی شانون و سیمپسون نشان داد که باغچه‌های این استان علاوه‌بر این که در بردارنده گونه‌های متنوع زراعی و باغی هستند، از توزیع سطح زیر کشت مناسب نیز برخوردارند. محاسبه مقادیر شاخص تنوع شانون، نشان داد که شهرستان نیشابور با میانگین ۱/۸۸ بالاترین میانگین شاخص را دارا می‌باشد و شهرستان‌های مشهد با میانگین ۱/۸۵ و قوچان با میانگین ۱/۸۰ در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۱).

بررسی شاخص تنوع زیستی شانون در باغچه‌های این سه شهرستان (مشهد، نیشابور و قوچان) نشان داد که تنها کمتر از ۱۷ درصد از باغچه‌های این استان از تنوع پایین و کمتر از یک بر خوردار

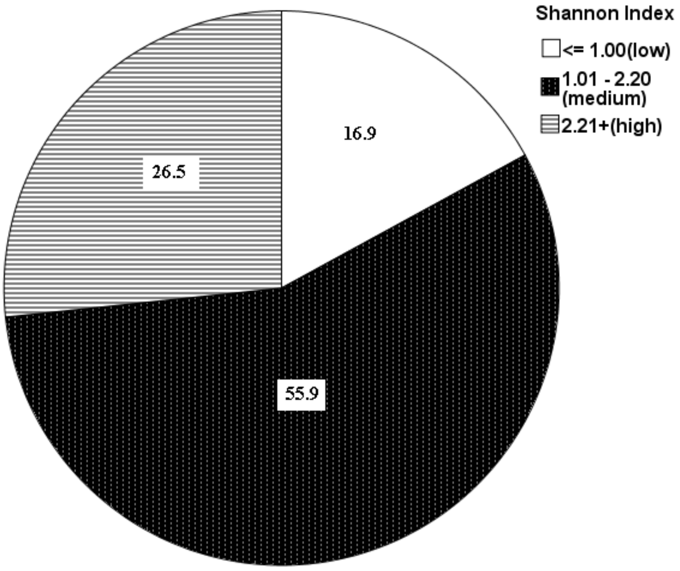
می‌باشند و بیش از ۲۵ درصد آن‌ها از تنوع بسیار بالا برخوردارند (شکل ۲). همچنین نتایج نشان داد که ۴۰ درصد تغییرات شاخص سیمپسون در اثر تغییر در تعداد گونه‌های موجود در باغچه‌ها بوده، درحالی‌که فقط کمی بیش از ۲۰ درصد تغییرات شاخص تنوع گونه‌ای شانون مربوط توزیع مناسب سطح زیرکشت گونه‌ها بود و تغییرات ایجاد شده در این شاخص، ۸۰ درصد به افزایش شاخص غنای گونه‌ای در باغچه‌ها مربوط بوده است، شکل ۳ نشان‌دهنده نمودار نقطه‌ای و ضریب تبیین مدل تغییرات شاخص‌های تنوع گونه‌ای سیمپسون و شانون در مقابل تغییرات شاخص غنای گونه‌ای باغچه‌ها می‌باشد.

جدول ۳- مقادیر پارامترهای مختلف آماری از شاخص‌ها و ویژگی‌های باغچه‌ها دراستان خراسان رضوی
Table 3- Statistical parameters of general and ecological characteristics of Homegardens

ویژگی‌های عمومی و بوم‌شناختی باغچه‌ها General and ecological characterizes	میانگین Mean	میانه Median	دامنه Range	کمترین Minimum	بیشترین Maximum	داده‌های معتبر Valid data
مساحت باغچه Area of homegarden (m^2)	30.75	19	149	1	150	136
مساحت کل خانه Total area of home (m^2)	319	300	950	50	1000	136
نسبت مساحت باغچه به مساحت کل خانه Relative area of homegarden	0.10	0.08	0.42	0	0.43	136
سن باغچه Age of homegarden (year)	11.86	9	43	1	44	136
شاخص تنوع زیستی شانون Shannon index of species diversity	1.85	1.86	3.30	0.1	3.40	136
شاخص تنوع زیستی سیمپسون Simpson index of species diversity	0.67	0.7	0.98	0	0.98	136
شاخص غنای گونه‌ای Species richness index	4.85	4.	14	2.	16	136
شاخص تنوع کارکردی شانون Shannon index of functional diversity	1.61	1.58	1.76	0.7	2.46	136
شاخص تنوع کارکردی سیمپسون Simpson index of functional diversity	0.64	0.66	0.48	0.32	0.80	136
شاخص غنای کارکردی Functional richness index	3.53	3.5	4	2.	6	136
مقدار ترسیب کربن Carbon sequestration (kg. m^{-2})	0.81	0.42	5.59	0.0114	5.60	136

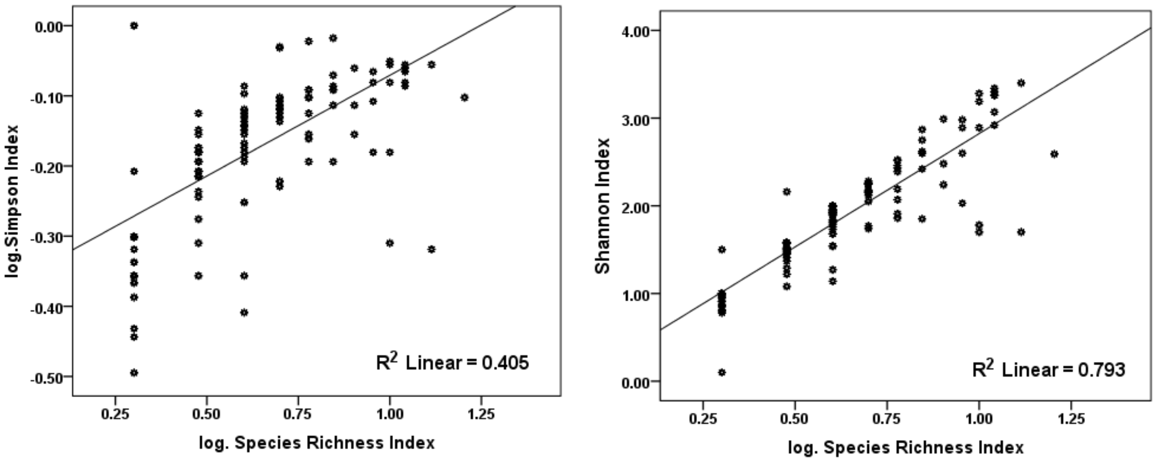


شکل ۱- نمودار جعبه‌ای مقادیر بیشینه، کمینه و میانه شاخص تنوع گونه‌ای شانون در شهرستان‌های قوچان، مشهد و نیشابور
Fig .1- Box plot of Shannon index in homegardens of Quchan, Mashhad and Neyshaboor



شکل ۲- نمودار قطاعی توزیع درصدی مقدار شاخص تنوع زیستی شانون درباغچه‌های سه شهرستان مشهد، نیشابور و قوچان

Fig. 2- Pie chart of percentage distribution of Shannon index in Homegardens of Quchan, Mashhad and Neyshaboor

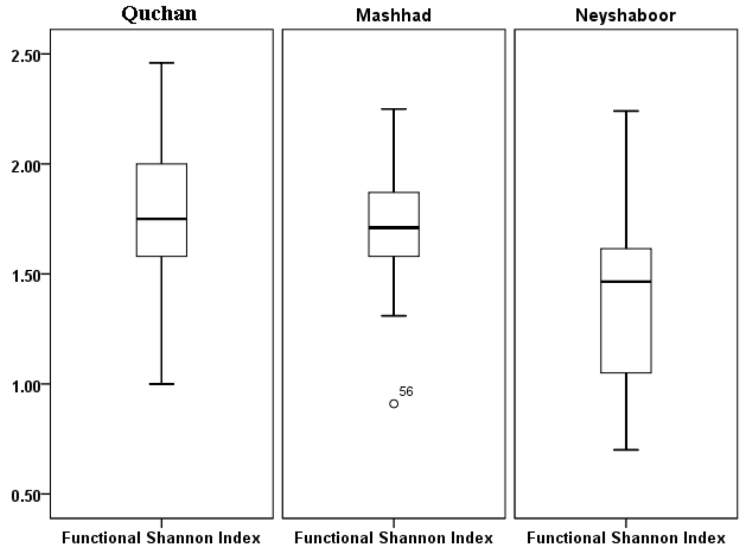


شکل ۳- نمودار نقطه‌ای تغییرات مقادیر لگاریتمی شاخص غنای گونه‌ای باغچه‌ها در مقابل تغییرات شاخص تنوع شانون و لگاریتم شاخص تنوع سیمپسون

Fig. 3- Scatter plot of Shannon and Simpson indices changes vs. species richness index

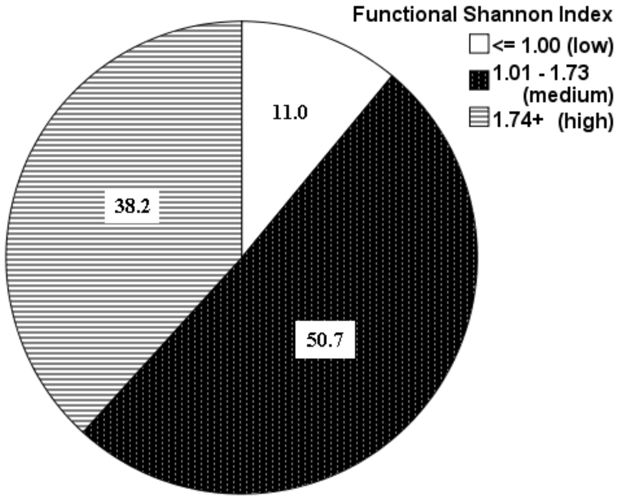
نتایج حاصل از کمّی‌سازی تنوع کارکردی باغچه‌ها بر اساس کارکردهای موجود در جدول ۲، حاکی از آن است که شاخص تنوع کارکردی شانون در باغچه‌های شهرستان قوچان بالاتر از مقدار این شاخص در شهرستان مشهد بوده و باغچه‌های این شهر نیز دارای شاخص تنوع کارکردی بالاتر نسبت به شهر نیشابور بودند (شکل ۴)، همچنین مشخص شد بیش از ۵۰ درصد باغچه‌ها در این سه شهرستان از تنوع کارکردی متوسط و بیش از ۳۸ درصد آن‌ها ازتنوع کارکردی بالا و تنها ۱۱ درصد باغچه‌ها از تنوع کارکردی پایینی

برخوردار بودند (شکل ۵).



شکل ٤- نمودار جعبه‌ای مقادیر بیشینه، کمینه و میانه شاخص تنوع کارکردی شانون در شهرستان‌های قوچان، مشهد و نیشابور

Fig. 4- Box plot of functional Shannon index in homegardens of Mashhad, Quchan and Neyshaboor



شکل ٥- نمودار قطاعی توزیع درصدی شاخص تنوع کارکردی شانون در باغچه‌های سه شهرستان مشهد، نیشابور و قوچان واقع در استان خراسان رضوی

Fig. 5- Pie chart of percentage distribution of functional Shannon index in home gardens of Khorasan Razavi province

نتایج حاصل از آزمون‌های همبستگی غیرپارامتریک اسپیرمن نشان داد که بین بسیاری از ویژگی‌های باغچه‌ها و همین‌طور شرایط اقتصادی- اجتماعی خانوارهای کشاورزان روابط معنی‌داری برقرار بود (جدول ۴)، نتایج نشان داد که مساحت بزرگ‌تر باغچه به منزله حضور گونه‌های بیشتر در این سامانه‌ها بود، همبستگی مثبت و معنی‌دار (سطح معنی‌داری ۹۹ درصد) مساحت باغچه با شاخص غنای گونه‌ای این مطلب را اثبات نمود. علاوه‌بر شاخص غنای گونه‌ای، شاخص تنوع زیستی شانون نیز با افزایش مساحت باغچه‌ها و همچنین مساحت منزل خانوار کشاورزان ارتباط مثبت و معنی‌داری (سطح معنی‌داری ۹۵ درصد) داشت و نشان داد باغچه‌های بزرگ‌تر علاوه‌بر داشتن تعداد گونه‌های بیشتر از توزیع مناسب‌تر سطح زیر کشت نیز برخوردار بودند (شکل ۳ نشان می‌دهد چند درصد از این افزایش تنوع

به‌دلیل غنای گونه‌ای بیشتر بوده و چه مقدار از آن بـه‌دلیـل پـراکنش مناسب‌تر گونه‌ها بود)، لازم به ذکر است کـه نتـایج جـدول ضـرایب آزمون همبستگی پیرسون (جدول ۵) نیز این موضـوع را تأییـد نمـود. افزایش غنای گونه‌ای موجب افزایش تنوع کارکردی باغچه‌ها شد، در واقع، حضور بیشتر گونه‌ها به منزله کارکرد متنوع‌تر در باغچه‌ها بود، از طرفی همبستگی مثبت و معنی‌دار شـاخص تنـوع‌زیسـتی شـانون بـا شاخص غنـای کـارکردی (جـدول ۵) نشـان داد کـه، ارتقـاء کـارکرد باغچه‌ها به‌عنوان عاملی محرک، در افزایش تنوع زیسـتی کشـاورزی مؤثر بوده و موجب بهبود کارکرد حفاظتی در باغچه‌ها شـد، در واقـع، بین تنوع کارکردی و تنوع زیسـتی کشـاورزی رابطـه متقـابلی وجـود داشت.

با در نظر گرفتن رابطـه معنـی‌دار مسـاحت نسـبی باغچـه‌هـا بـا شاخص‌های تنوع کارکردی نیز این مطلب استنباط شد که باغچه‌هایی کـه در قیـاس بـا محـل سـکونت کشـاورزان از مسـاحت بیشـتری برخوردارنـد، کـارکرد و خـدمات متنـوع‌تـری را در اختیـار خانوارهـای روستایی قرار می‌دهند. نتایج، همبستگی جمعیت خانوار را با فاصله تـا شاهراه‌های اصلی، مثبت و معنی‌دار نشان داد، همچنین جدول ضرایب اسـپیرمن (جـدول ۴) مشـخص نمـود، خـانوار کشـاورزان در منـاطق دورافتاده‌تر، به‌شکل معنی‌داری پرجمعیت‌تـر مـی‌باشـند و خانوارهـای پرجمعیت‌تر دارای باغچه‌های بزرگ‌تری نسبت به مساحت کـل خانـه در قیاس با خانوارهای کم جمعیت هستند و شاید ایـن امـر در نتیجـه دسترسی مشکل‌تر کشاورزان در مناطق دوردست به بازار و همچنـین فشارهای اقتصادی موجود بر این خانوارها باشـد کـه در ایـن شـرایط باغچه‌ها و کارکردهای آن‌هـا، اهمیـت پررنگتـری در سـبک زنـدگی معیشت‌مدار روستاییان پیدا می‌نماید.

مطالعه صفات اقتصادی- اجتماعی نشـان از همبسـتگی مثبـت و معنـی‌دار (سـطح معنـی‌داری ۹۵ درصـد) میـزان مشـارکت زنـان در فعالیت‌های کشاورزی با سطح تحصیلات خانوار کشاورزان داشـت بـه این معنی که در خانوارهایی با سطح تحصیلات بالاتر مشارکت زنـان در انجام فعالیت‌های کشاورزی بیشتر است، علاوه‌براین مشخص شـد که کشاورزان جوان‌تر دارای میـزان تحصـیلات بـالاتری نسـبت بـه کشاورزان مسن‌تر هستند. تأثیر مـدیریتی زنـان در باغچـه‌هـایی کـه قدمت کمتری دارند بیشتر از باغچه‌های قدیمی‌تر بـود، عـلاوه‌بـراین همبستگی منفی و معنی‌دار، بین فعالیت بانوان با شـاخص‌هـای تنـوع کارکردی شانون و سیمپسون وجود داشت (جدول ۴)، مجموعه روابط موجود می‌تواند گویای این حقیقت تلخ باشد کـه تنـوع کـارکردی بـه مرور زمان در حـال زوال اسـت و حتـی تحصـیلات بـالاتر نتوانسـته به‌معنای آگاهی بالاتر در مورد اهمیت تنوع کارکردی در سـامانه‌هـای کشاورزی باشد و با توجه به روابـط مسـتقیم و معنـی‌دار میـان تنـوع زیستی کشاورزی و تنوع کارکردی این امر متقابلاً می‌تواند بـه منزلـه کاهش تنوع زیستی در این سامانه‌هـا باشـد. نتـایج حاصـل از جـدول ضرایب همبستگی پیرسون نیز این مسئله را تأییـد نمـود (جـدول ۵)، همچنین نتایج نشان داد که بین فاصله از راه‌هـای اصـلی و شـاخص تنوع کارکردی شانون به احتمال ۹۹ درصد رابطه مثبت و معنـی‌داری وجود دارد.

جهت برآورد دقیق‌تر در مورد عوامل تأثیرگـذار بـر شـاخص‌هـای تنوع‌زیستی و کارکردی باغچه‌ها، از روش رگرسیون گام‌به‌گام استفاده شد. نتایج مدل دو پارامتره متشکل از مقادیر استاندارد شـاخص غنـای گونـه‌ای و مسـاحت محـل سـکونت کشـاورزان، بـیش از ۸۰ درصـد تغییرات شاخص شانون را نشان داد (جدول ۶).

جدول ٦- ضریب تبیین، ضرایب‌معنی‌داری و مدل برازش داده شده توسط رگرسیون گام به گام جهت نمایش صفات مؤثر بر تغییرات شاخص تنوع گونه‌ای شانون

Table 6- Model of Shannon index changes using stepwise regression

Model	ضرایب غیر استاندارد Unstandardized coefficients		ضرایب استاندارد شده Standardized coefficients	سطح معنی‌داری Significant level
	B	خطای استاندارد Std. Error	Beta	Sig.
ضریب ثابت Constant	1.848	0.026		0.000
X_1-Zscore(لگاریتم غنای گونه‌ای) (logarithm of Specific richness)	0.612	0.027	0.920	0.000
X_2-Zscore(لگاریتم مساحت خانه) (Logarithm of home area)	-0.067	0.027	-0.102	0.013
X_3-	---	---	---	---
(مدل نهایی)Final Model	$Y=1.848+0.612X_1-0.67X_2$		$R^2=0.802$	

جدول ٤- جدول ضرایب همبستگی غیر پارامتریک اسپیرمن

Table 4- Coefficients of non- parametric spearman correlation

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	شاخص تنوع گونه‌ای شانون Shannon Index	1															
2	شاخص تنوع زیستی سیمپسون Simpson Index	0.88**	1														
3	شاخص غنای گونه‌ای Species Richness Index	0.90**	0.70*	1													
4	شاخص تنوع کارکردی شانون Functional Shannon Index	0.20*	0.16	0.16	1												
5	شاخص تنوع کارکردی سیمپسون Functional Simpson Index	0.15	0.21*	0.07	0.93**	1											
6	شاخص غنای کارکردی Functional Richness Index	0.31**	0.20*	0.37**	0.88**	0.75**	1										
7	سن باغچه Age of Homegarden	0.01	0.02-	0.08	0.23**	0.21*	0.24**	1									
8	مساحت باغچه Area of Homegarden	0.19*	0.10	0.31**	0.27**	0.19*	0.37**	0.32**	1								
9	مساحت منزل Area of Home	0.19*	0.11	0.28**	0.08.	0.21-	0.08	0.15	0.44**	1							
10	مساحت نسبی باغچه Relative area of Homegarden	0.05	0.03	0.14	0.33**	0.33**	0.33**	0.26**	0.81**	0.11-	1						
11	سن کشاورز Age of Farmer	0.00-	0.02	0.01	0.20*	0.19*	0.13	0.25**	0.17*	0.04-	0.23**	1					
12	مشارکت زنان Women Participation	0.06-	0.10-	0.02.	*–0.19	0.18-*	0.11-	0.19 -*	0.07-	0.16	0.17 -*	0.28 -**	1				
13	جمعیت خانوار کشاورزان Family population	0.05-	0.07-	0.00	0.14	0.12	0.12	0.15	0.43**	0.16	0.37**	0.19	0.07-	1			
14	سطح تحصیلات کشاورزان Level of education	0.05	0.05	0.09	0.06-	0.06-	0.01	0.02-	0.03	0.01-	0.03	0.56 -**	0.17*	0.05-	1		
15	فاصله تا شاهراه اصلی Distance from main roads	0.01	0.04-	0.01.	0.19*	0.12	0.18*	0.02-	0.39**	0.21*	0.30**	0.00	0.05-	0.34**	0.05	1	
16	مقدار ترسیب کربن Carbon Sequestration amount	0.11-	0.04-	0.14.	*–0.21	0.16-	0.22-**	0.04-	0.59-**	0.10-	0.56 -**	0.21 -***	0.13	0.19 -*	0.02	0.38 -**	1

**: Correlation is significant at the 0.01 level and *: Correlation is significant at the 0.05 level

جدول ۵- جدول ضرایب همبستگی پارامتریک پیرسون

Table 5- Coefficients of parametric Pearson correlation

14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		
													1	شاخص تنوع گونه‌ای شانون Shannon Index	1
												1	0.81**	لگاریتم شاخص تنوع زیستی سیمپسون Log .Simpson Index	2
											1	0.63**	0.89**	لگاریتم شاخص غنای گونه‌ای Log .Species Richness Index	3
										1	0.14	0.14	0.19*	شاخص تنوع کارکردی شانون Functional Shannon Index	4
									1	0.94**	0.05	0.12	0.09	شاخص تنوع کارکردی سیمپسون Functional Simpson Index	5
								1	0.75**	0.88**	0.35**	0.18*	0.30**	شاخص غنای کارکردی Functional Richness Index	6
							1	0.38**	0.23**	0.27**	0.33**	0.15	0.22*	لگاریتم مساحت باغچه Log .Area of Homegarden	7
						1	0.31**	0.24**	0.21*	0.22**	0.08	0.01-	0.01	لگاریتم سن باغچه Log .Age of Homegarden	8
					1	0.16	0.41**	0.07	0.20 -*	0.09-	0.28**	0.06	0.01	لگاریتم مساحت منزل Log .Area of Home	9
				1	0.07-	0.21*	0.15	0.12	0.16*	0.17*	0.00-	0.10	0.00-	سن کشاورز Age of Farmers	10
			1	0.13	0.22**	0.19*	0.39**	0.12	0.15	0.15	0.00-	0.08-	0.05-	لگاریتم جمعیت خانوار کشاورزان Log. family Population	11
		1	0.35**	0.00	0.29**	0.02	0.45**	0.27**	0.16	0.25*	0.01-	0.01-	0.02	لگاریتم فاصله‌تا شاهراه اصلی Log. Level of education	12
	1	0.40 -**	0.13-	0.18-*	0.05-	0.06	0.54 -**	0.19 -*	0.17 -*	0.19 -*	0.10-	0.09-	0.11-	لگاریتم مقدار ترسیب کربن Log. Carbon Sequestration amount	13
1	0.56 -**	0.31**	0.29**	0.21*	0.15-	0.24**	0.83**	0.37**	0.37**	0.36**	0.19*	0.13	0.13	لگاریتم مساحت نسبی باغچه Log .Distance from main roads	14

** Correlation is significant at the 0.01 level * Correlation is significant at the 0.05 level

جدول ۷- ضریب تبیین، ضرایب معنی‌داری و مدل برازش داده شده توسط رگرسیون گام به گام جهت نمایش صفات مؤثر بر تغییرات شاخص تنوع کارکردی شانون

Table 7- Model of Functional Shannon index changes using stepwise regression

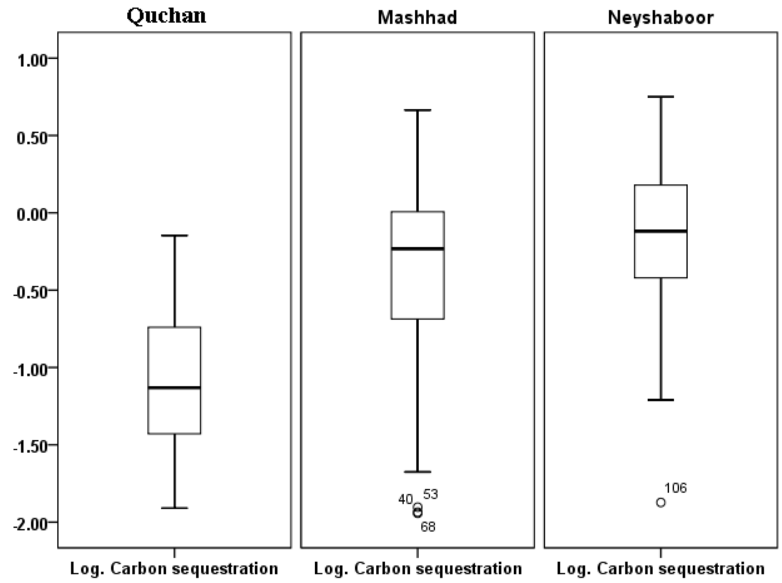
Model	ضرایب غیر استاندارد Unstandardized coefficients		ضرایب استاندارد شده Standardized coefficients	سطح معنی‌داری Significant level
	B	خطای استاندارد (Std. Error)	Beta	(Sig.)
ضریب ثابت (Constant)	1.613	0.013		0.000
X_1-Zscore (لگاریتم غنای کارکردی) (Logarithm of functional richness)	0.353	0.014	0.932	0.000
X_2-Zscore (لگاریتم غنای گونه‌ای) (Logarithm of species richness)	-0.153	0.032	-0.405	0.000
X_3-Zscore (تنوع گونه‌ای شانون) (Shannon species diversity)	0.110	0.030	0.292	0.000
X_4-Zscore (مساحت خانه) (House area)	-0.036	0.015	-0.096	0.016
X_5-Zscore (جمعیت خانوار) (Household population)	0.027	0.013	0.071	0.049
Final Model (مدل نهایی)	$Y = 1.613 + 0.353X_1 - 0.153X_2 + 0.110\ X_3 - 0.036\ X_4 + 0.027\ X_5$			R^2=0.844

لازم به ذکر است، به‌علت شباهت نتایج حاصل از برازش مدل تغییرات شاخص تنوع زیستی سیمپسون (R^2=0.65) با آنچه در مدل تغییرات شاخص تنوع زیستی شانون در باغچه‌ها مشاهده شد، از آوردن نتایج آن صرف نظر شد.

علاوه‌بر شاخص‌های تنوع‌زیستی، تغییرات شاخص‌های تنوع‌کارکردی در مقابل ویژگی‌های باغچه‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت. جدول ۷ نشان‌دهنده مدل رگرسیونی شاخص تنوع‌کارکردی شانون با استفاده از رگرسیون گام به گام در باغچه شهرستان‌های نیشابور، مشهد و قوچان می‌باشد.

ترسیب کربن

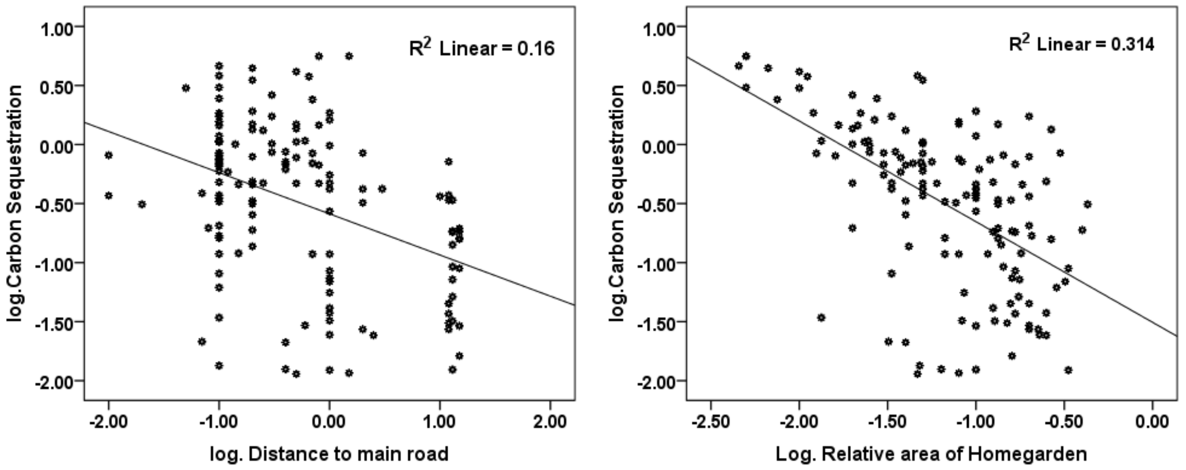
از دیگر ویژگی‌های باغچه‌ها که در این مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفت، میزان ترسیب کربن در واحد سطح (مترمربع) بود. .نتایج نشان داد که مقدار ترسیب کربن در باغچه‌های شهرستان نیشابور با میانگین ۱/۲۴ کیلوگرم در مترمربع در قیاس با شهرستان‌های مشهد با میانگین ۰/۸۵ کیلوگرم در مترمربع و قوچان با میانگین ۰/۱۳ کیلوگرم در مترمربع در وضعیت مطلوب‌تری قرار داشت (شکل ۶).



شکل ٦- نمودار جعبه‌ای مقادیر بیشینه، کمینه و میانه ترسیب کربن (کیلوگرم در مترمربع) در باغچه شهرستان‌های قوچان، مشهد و نیشابور

Fig.6- Box plot of Carbon sequestration amount in Homegardens of Quchan, Mashhad and Neyshaboor

چون در برآورد این ویژگی تنها از توان ترسیبی گونه‌های درختی استفاده شد، می‌توان آن را به‌عنوان شاخصی از اهمیت و فراوانی این گونه‌ها در باغچه‌ها در نظر گرفت با این فرض که مقادیر بالاتر ترسیب کربن به‌معنای فراوانی بیشتر گونه‌های درختی در این سامانه‌هاست. نتایج نشان داد که با افزایش مساحت نسبی باغچه‌ها، مقدار ترسیب‌کربن در واحد سطح کاهش می‌یابد (شکل ۷)، که علت آن را می‌توان به تمایل کمتر کشاورزان به کشت گونه‌های درختی در باغچه‌های کوچک‌تر و کشت سایر گونه‌ها همچون انواع سبزیجات خوراکی و دارویی و همچنین گونه‌های زینتی نسبت داد، همچنین نتایج حاصل نشان داد که با فاصله گرفتن باغچه‌ها از مسیرهای آسفالته اصلی میزان ترسیب کربن در باغچه‌ها کاهش می‌یافت، کشاورزان در باغچه‌هایی که به جاده‌های آسفالته روستاها نزدیک‌تر هستند، تمایل بیشتری به کشت و پرورش گونه‌های درختی دارند که این مسئله بیانگر نقش کارکردی باغچه در تنظیم شرایط آب و هوایی و همچنین اثبات کارکرد آن‌ها به‌عنوان یک عایق در قبال آلودگی‌های صوتی موجود در مجاورت مسیرهای پررفت و آمدتر است، در باغچه‌های نزدیک به راه‌های اصلی این کارکردها اهمیت بیشتری می‌یابند، هر چند که مقدار ضریب تبیین حاصل از برازش مدل رگرسیون خطی این صفات کم بود و فاصله تا مسیرهای آسفالته اصلی تنها ۱۶ درصد از تغییرات در مقدار ترسیب‌کربن را در باغچه‌ها توجیه کرد (شکل ۷)، امّا همبستگی این تغییرات در جدول ضرایب همبستگی پیرسون به احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار بود (جدول ۵).



شکل ۷- نمودار نقطه‌ای تغییرات مقادیر لگاریتمی ترسیب کربن (کیلوگرم در مترمربع) در مقابل تغییرات مقادیر لگاریتمی فاصله باغچه‌ها تا مسیرهای آسفالته اصلی و مساحت نسبی باغچه‌ها

Fig.7- Scatter plot of carbon sequestration changes vs. road distance and relative area of home gardens

علاوه‌بر آنچه مشاهده شد، مدل رگرسیونی جهت بـرآورد میـزان تأثیر عوامل مختلف بر تغییرات مقادیر ترسیب کربن در واحد سطح بـا استفاده از روش رگرسیون گام به گام برازش داده شد و به‌دلیل مقـدار پایین ضریب تبیین، مدل یک بار نیز بـه‌صـورت جداگانـه بـرای هـر شهرستان برازش داده شد و تنها در شهرستان نیشابور مقدار R^2 از ۵۰ درصد بالاتر بـود. در جـدول ۸ مـی‌تـوان ضـریب تبیـین و همچنـین ضرایب مدل ترسیب‌کـربن در واحـد سـطح را در شهرسـتان نیشـابور مشاهده نمود. بر اساس این مدل مساحت نسبی، مهم‌تـرین صـفتی از باغچـه‌هاسـت کـه بـیش از ۵۰ درصـد تغییـرات مقـادیر لگـاریتمی ترسیب‌کربن در واحد سطح را موجب می‌گردد.

در مقایسه باغچه‌های استان خراسان رضوی به‌عنوان نمونه‌ای از باغچه‌های واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشـک جهـان، بـا میـانگین بارندگی کمتر از ۲۵۰ میلی متر در سال با باغچه‌های واقع در منـاطق پـربـاران حـاره (Lerch, 2000; Guillaument et al., 1990; Lamont et al., 1999; Ore Balbin & Samaniego, 1996; Smith, 1995) مشاهده شد که این باغچه‌هـا از غنـای گونـه‌ای بـه مراتب کمتری برخوردار بودند.

جدول ۸- ضریب تبیین، ضرایب معنی‌داری و مدل برازش داده شده توسط رگرسیون گام به گام جهت نمایش صفات مؤثر بر تغییرات مقادیر لگاریتمی ترسیب کربن (کیلوگرم در مترمربع) در شهرستان نیشابور

Table 8- Model of carbon sequestration changes using stepwise regression in Home gardens of Neyshaboor

Model	ضرایب غیر استاندارد Unstandardized Coefficients		ضرایب استاندارد شده Standardized Coefficients	سطح معنی‌داری Significant level
	B	خطای استاندارد Std. Error	Beta	(Sig.)
ضریب ثابت (Constant)	-0.413	0.063		
(لگاریتم مساحت نسبی باغچه)X_1-Zscore	-0.402	0.056	-0.717	0.000
X_2- (The logarithm of the relative area of the garden)	---	---	---	---
(مدل نهایی)Final Model	Log(Y)= -0.413 – 0.402X_1			R^2=0.514

علاوه‌بر تفاوت در تعداد گونـه‌هـای حاضـر در باغچـه‌هـا، نـوع و ساختار پوشش گیاهی آن‌ها نیز در این مناطق با باغچه‌هـای واقـع در مناطق پر باران حاره متفاوت بود. عمده گونه‌هـای گیـاهی نگهـداری شده در باغچه‌های مناطق گرمسیری را گونه‌های علوفه‌ای، زینتـی و

درختان تک‌لپه‌ای مانند بامبو، نارگیل و نخل تشکیل می‌دهند (Oliver et Guillament et al., 1990; Mariel et al., 2008; al., 2004)، درحالی‌که در باغچه‌های استان خراسان عمدتاً گونه‌های سبزیجات و گیاهان دارویی و همچنین درختان میوه دو لپه‌ای پوشش غالب گیاهان را تشکیل می‌دادند. میانگین شاخص تنوع شانون در باغچه‌های محدوده مورد مطالعه برابر با مقدار عددی ۱/۸۵ بود که این مقدار از میانگین این شاخص در محدوده حفاظت شده و بخش خارج از محدوده حفاظت شده در حوزه آبریز جاجرود با مقدار شاخص شانون بالاتر از دو، کمتر بود، هرچند که ساختار و پوشش گیاهی باغچه‌ها در این دو منطقه تقریباً مشابه بودند (Ghalegolab et al., 2012). ایجاد مکانی جهت پرورش گونه‌های مختلف خوراکی و دارویی، ایجاد درآمد برای خانوار کشاورزان (Blanckaert et al., 2004; Kehlenbeck & Maass, 2004; Kumar & Nair, 2004) و خدماتی نظیر تنظیم و بهبود شرایط آب و هوایی و همچنین تأثیر آن در کاهش اثرات تغییر اقلیم از طریق ترسیب کربن با استفاده از گونه‌های متنوع درختی (Del Angel- Perez & Mendoza, 2004; Kumar, 2011)؛ نگهداری و حفاظت از گونه‌های متنوع گیاهی (Mendez et al., 2001; Wazel & Bender, 2003;)،کارکردهای زیبا شناختی (Mariel et al., 2008)، تقویت و نگهداری از دانش بومی کشاورزی در مناطق روستایی (Agrawal, 1995; Ellen et al., 2000; Nazarea, 2006)، ایجاد محلی جهت تبادل بذور مختلف گیاهان در راستای تقویت ذخیره ژنتیکی ارقام و گونه‌های بومی گیاهان (Perales et al., 2003; Coomes & ban, 2004) از جمله خدمات و کارکردهای مهم باغچه‌ها در این مناطق بود. ماریل و همکاران (Mariel et al., 2008) با مطالعه‌ای در مکزیک کارکرد دیگری را نیز به‌عنوان یک ویژگی مهم باغچه‌ها معرفی نمودند، در نتایج حاصل از بررسی پرسش‌نامه‌ها، این کارکرد در باغچه‌های مورد مطالعه در شهرستان‌های مشهد، نیشابور و قوچان نیز مشاهده شد، کشاورزان در این مناطق از باغچه‌ها به‌عنوان محلی جهت سپری کردن دوره گذار در معرفی گونه‌های جدید گیاهان به سامانه‌های زراعی و باغی استفاده می‌نمودند. به‌عنوان مثال، در استان خراسان، سیب زمینی، سیر و زعفران از سامانه‌های باغچه‌ای به سامانه‌های زراعی برخی از روستاییان و کشاورزان معرفی شده‌اند، در مکزیک نیز قهوه و ارقام مختلف وانیل از باغچه‌ها به سامانه‌های باغی انتقال یافته‌اند (Mariel et al., 2008).

نظیر سایر مطالعات صورت گرفته در این مطالعه، نتایج نشان داد که شاخص غنای گونه‌ای همبستگی مثبت و معنی‌داری با مساحت باغچه‌ها دارد، نتایج حاصل از برازش مدل‌های رگرسیونی در باغچه‌های واقع در کشور پرو نیز نشان داده بود که شاخص غنای گونه‌ای با افزایش مساحت باغچه‌ها افزایش می‌یابد (Lerch, 2000; Oliver et al., 2004). ماریل و همکاران (Mariel et al., 2008) پی‌بردند که در باغچه‌های مناطق پرباران مکزیک قدمت باغچه‌ها تأثیرات معکوس و معنی‌داری بر تنوع زیستی گونه‌های گیاهی دارد که این مسئله در مورد باغچه‌های مورد مطالعه در استان خراسان رضوی صدق نمی‌کرد و همبستگی بین شاخص‌های تنوع زیستی گونه‌های گیاهی در باغچه‌های این استان هیچگونه همبستگی معنی‌داری با سن و قدمت باغچه‌ها نشان نداد با وجود آن که ضرایب جداول همبستگی اسپیرمن و پیرسون (جدول‌های ۴ و ۵) نشان از ضریب منفی همبستگی سن باغچه با شاخص تنوع زیستی سیمپسون داشت، امّا به هیچ وجه این همبستگی معنی‌دار نبود، این در حالی بود که شاخص‌های تنوع کارکردی همبستگی معنی‌داری با سن باغچه‌ها داشتند، علاوه‌براین، همبستگی معنی‌داری میان سن باغچه‌ها و سن کشاورزان وجود داشت. از جمله ابعاد مورد بررسی در این مطالعه، اهمیت و نقش فعالیت زنان در ساختار و تنوع کارکردی باغچه‌ها بود. مطالعات صورت گرفته در مناطق مختلف مؤید نقش فعالیت زنان در ارتقاء تنوع زیستی کشاورزی و همچنین بهبود تنوع کارکردی در این سامانه‌های کشاورزی است (Moreno-Lopez-Alzina 2007; Black et al., 1996; Mairel et al., 2008)، نتایج مطالعه آنخل و مندوزا (Del Angel-Perez & Mendoza 2004) در باغچه‌های مناطق پرباران حاره نشان داد که با افزایش فعالیت زنان در باغچه‌ها، توان درآمدزایی این سامانه‌ها افزایش می‌یابد، این در حالی بود که باغچه‌های مورد مطالعه در سه شهرستان مشهد، قوچان و نیشابور به‌عنوان باغچه‌های واقع در مناطق خشک و نیمه خشک، کارکردهای اقتصادی کمتری در جهت درآمدزایی بیشتر برای خانوار کشاورزان داشتند. نتایج همچنین نشان داد که بانوان نقش مهمی در ایجاد شبکه‌هایی جهت تبادل بذر و نشاء گیاهان در جوامع روستایی ایفا می‌کنند، در نتایج برخی از مطالعاتی که پیش از این صورت پذیرفته، به وجود چنین کارکردی در راستای گسترش و حفظ تنوع‌زیستی، اشاره شده است (Mariel et al., 2008).

نتیجه‌گیری

باغچه‌ها به‌عنوان یک روش سنتی در نوع کاربری اراضی دارای پتانسیل بالایی جهت حفظ تنوع زیستی گونه‌های گیاهی و کشاورزی بوده و همچنین می‌توانند محلی برای ترسیب و ذخیره سازی کربن در راستای تعدیل غلظت دی‌اکسید کربن در اتمسفر باشند. هر چند از نظر توان ترسیب کربن در اندام هوایی گیاه، باغچه‌های واقع درداستان

خراسان رضوی به‌عنوان نمونه‌ای از این سامانه‌ها، که در مناطق خشک و نیمه خشک جهان واقع شده‌اند، از توان کمتری (کمتر از ۱۰ تن در هر هکتار) در قیاس با آنچه در باغچه‌های مناطق پر باران حاره (میانگین ۲۴ تن در هکتار) مشاهده شد (Kumar, 2011)، برخوردار بودند، امّا با توجه به حضور باغچه‌ها در مناطق مسکونی و حتی صنعتی (Ghalegolab et al., 2012) می‌توان از آن‌ها به‌عنوان گزینه‌هایی در راستای تعدیل شرایط ناشی حاصل از فعالیت‌های مخرب بشری یاد نمود. علاوه‌بر این که باغچه‌ها با داشتن این ویژگی‌ها قادرند بشر را در راه مبارزه با چالش‌های مهم زیست‌محیطی یاری نمایند، این سامانه‌ها با کارکردهای متنوع اقتصادی- اجتماعی به‌عنوان مشوق‌های ذاتی در جهت حفظ و گسترششان، می‌توانند در آینده به‌عنوان محلی برای تولید غذا در راستای امنیت غذایی و توسعه پایدار در جوامع شهری نیز مطرح گردند (Stephan & Isendahl, 2012).

References

Agrawal, A., 1995. Dismantling the divide between indigenous and scientific knowledge. Development and Change 26: 413–439.

Albuquerque, U.P., Andrade, L.H.C., and Caballero, J., 2005. Structure and floristic of homegardens in northeastern Brazil. Journal of Arid Environments 62: 491–506.

Alcorn, J.B., 1992. Indigenous agroforestry systems in the Latin American tropics. Pages 203-218 in: M.A. Altieri and S.B. Hecht. Agroecology and small farm development.CRC Press Boston, 336p.

Ali, A.M.S., 2005. Homegardens in smallholder farming systems: Examples from Bangladesh. Human Ecology 33(2): 245–270.

Brookfield, H., and Stocking, M., 1999. Agro diversity: definition, description and design. Journal of Global Environmental Change 9: 77-80.

Barthel, S., Christian, I., 2012. Urban gardens, agriculture, and water management: Sources of resilience for long-term food security in cities. Department of History, Stockholm, SE-10691 Stockholm, Sweden. (In Persian with English Summary).

Blanckaert, I., Swennen, R. L., Flores, M. P., López, R. R., amd Saade, R. L., 2004. Floristic composition, plant uses and management practices in homegardens of San Rafael Coxcatlán, Valley of Tehuacán-Cuicatlán, Mexico. Journal of Arid Environments: 57(2), 179-202.

Christanty, L., 1990. Homegardens in tropical Asia, with special reference to Indonesia. In Tropical Home Gardens (Eds. Landauer, K. and Brazil, M.), United Nations University Press, Tokyo, Japan, pp. 9–20.

Clarke, W.C., and Thaman, R.R., 1993. Agro Forestry in the Pacific Island: Systems for Sustainability. United Nations Press, New York.

Coomes, O.T., and Ban, N., 2004. Cultivated plant diversity in home gardens of an Amazonian peasant village, Northeastern Peru. Economic Botany 58(3): 420-434.

Duelli, P., 1997. Biodiversity evaluation in agricultural landscape: an approach at two different scales. Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment 62: 81-91.

Del Angel-Pérez, A.L., and Mendoza, M.A., 2004. Totonac homegardens and natural resources in Veracruz, Mexico. Agriculture and Human Values 21: 329–346.

Ellen, R., Parkes, P., and Bicker, A., 2000. Indigenous Environmental Knowledge and its Transformations: Critical Anthropological Perspectives. Harwood, Amsterdam.

Eric, G.L., Erin, B., Gillian, H., Jim, S., Stan, B., Jim, H., Diane, L., and Haughland, D.L., 2009. Indices for monitoring biodiversity change: Are some more effective than others? Ecological Indicators 9: 432–444.

Guillaumet, J. L., Grenand, P., Bahri, S., Grenand, F., Lourd, M., & Dos Santos, A. A., 1990. Les jardins-vergers familiaux d Aamazonie central: un example d utilization de iespace. Turialba 40: 63-81.

Gómez-Pompa, A., 1996. Three levels of conservation by local people. F. Di Castri and T. Younès, Eds., Biodiversity, Science and Development: Towards a New Partnership. CAB International, Wallingford, UK. Pages 347-356.

Behbahani, A. G., Khoshbakht, K., Davari, A., Tabrizi, L., Veisi, H., and Alipour, A., 2012. Assessing the effect of socio- economic factors on agro biodiversity in homegardens of Jajrood and Jamabrood in Tehran province (Iran). Advance in Environmental Biology 6(5): 1708-1715.

Jose, D., and Shanmugaratnam, N., 1993. Traditional homegardens of Kerala: A sustainable human ecosystem. Agroforestry System 24: 203–213.

Kumar, M., 2011. India. Species richness and aboveground carbon stocks in the homegardens of central Kerala, India. Collage of Forestry. Kerala Agricultural University. KAU P.O, Thrissur, Kevala680656, pp. 430-440.

Kumar, B.M., and Nair, P.K.R., 2004. The enigma of tropical home gardens. Agro forestry Systems. Kluwe Academic Publisher, 61: 135-152.

Kehlenbeck, K., and Maass, B.L., 2004. Crop diversity and classification of homegardens in central Sulawesi, Indonesia. Agro Forestry Systems 63: 53–62.
Lamont, S. R., Eshbaugh, W. H., & Greenberg, A. M., 1999. Species composition, diversity, and use of homegardens among three Amazonian villages. Economic Botany 53(3): 126-312.
Lerach, N., 2000. Home gardens, cultivated plant diversity, and exchange of planting material in the Pacaya-Samiria National Reserve area, northeastern Peru. Unpublished M.A. thesis, McGill University, Montreal.
López-Alzina, D., 2007. Gendered production spaces and crop varietal selection: Case study in Yucatán, Mexico. Singapore. Journal of Tropical Geography 28: 21–38.
Margalef, R.D., 1958. Information theory in ecology. General Systems 36–71.
Mariel, A., Stoen. R., and Camarge, R., 2008. Home gardens sustans crop diversity and improve farm resilience in Candelaria Loxicha, Oaxaca, Mexico.Human Ecology. 10.1007/s10745-008-9197-y.
Moreno-Black, G., Somansang, P., and Thamathawan, S., 1996. Cultivating continuity and creating change: Woman's home garden practices in northeastern Thailand. Agriculture and Human Values 13: 3–11.
Méndez, V.E., Lok, R., and Somarraba, E., 2001. Interdisciplinary analysis of homegardens in Nicaragua: Micro-Zonation, plant use and socioeconomic importance. Agro Forestry Systems 51: 85–96.
Nassiri, M.A, Koocheki, Mazaheri D., 2003. Diversity of crop species in IRAN. Desert 10:1.
Nazarea, V., 2006. Local knowledge and memory in biodiversity conservation. Annual Review in Anthropology 35: 317–335.
Oliver T., Coomes and Natalie B., 2004. Cultivated Plant Species Diversity in Home Gardens of an Amazonian Peasant Village in Northeastern Peru. Pp. 420-434.
Orè Balbin, I., and Samaniego D.L., 1996. Huertas domesticas como sistema tradicional de cultivo en Moena Cano, Rio Amazonas, Iquitos, Peru. Folia Amazonica 8(1): 91-110.
Perales, H., Brush, S.B., and Qualset, C.O. 2003. Dynamic management of maize landraces in Central Mexico. Economic Botany 57(1): 21–34.
Rugalema, G.H., O'Kting Ati', A., and Johnsen, F.H., 1994. The Homegarden agro forestry system of Bukoba district, North- Western Tanzania. farming system analysis. Agro forestry Systems 26: 205–214.
Simpson, E.H., 1949. Measurement of diversity. Nature 163: 688.
Smith, N.H., Fik, T.J., Alvim P., de T., Falesi I.C., and Serrao E.A.S., 1995. Agroforestry developments and potential in the Brazilian Amazon. Land Degradation and Rehabilitation 6: 251-263.
Stephan, B., Isendahl, C., 2012. Urban gardens, agriculture, and water management: Sources of resilience for long-term food security in cities. Department of History, Stockholm, SE-10691 Stockholm, Sweden. Sthapit, B., R. Gautam and Eyzaguirre P., 2004. The value of home gardens to small farmers. In: Gautam, R., B. Sthapit and P. Shrestha. Home Gardens in Nepal (8-17). [Proceedings of a National Workshop], 6-7 August 2004, Pokhara, Nepal.
Subedi, A., Chaudhary, P., Baniya, B.K., Rana, R.B., Tiwari, R.K., Rijal, D.K., and Sthapit, B.R., 2001. Who maintains genetic diversity and how: Implications for on-farm conservation and utilization? Paper presented at the International Symposium on Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystem, Montreal, 8-10 Nov 2001.
Tapasi. D., and Kummar D., 2005. Inventorying plant biodiversity in homegardens: A case study in Barak Valley Assam, North East India. Department of Ecology and Environmental Science, Assam University, Silchar 788011.
Torquebiau, E., 1992. Are tropical agro forestry homegardens sustainable? Agric., Ecosystem. Environ. 41: 189–207.
Tapia, Mario E., 2000. Mountain agrobiodiversity in Peru: Seed fairs, seed banks, and mountain-to-mountain exchange. Mountain Research and Development 20(3): 220-225.
Watson, J.W., and Eyzaguirre, P.B., 2002. Home gardens and *in situ* preservation of plant genetic resources in farming systems. Proceeding of International Home Gardens Workshop. 17-19 July 2001, Witzenhausen, Federal Republic of Germany.
Watson, Michael J., 2000. Crop Exchange in Amazonia: Understanding the Dynamics of Planting Material Transfer in Traditional Upland Communities in the Peruvian Amazon. Unpublished B.A. Honours Thesis. Geography Department, McGill University, Montreal.
Wezel, A., and Bender, S., 2003. Plant species diversity of homegardens of Cuba and its significance for household food supply. Agro forestry Systems 57: 39–49.

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

CC BY

Research Article
Vol. 14, No. 1, Spring 2022, p. 19-33

Effect of Phosphate Solubilizing Bacteria and Mycorrhizal Fungi on Agronomic Important Traits in Two Wheat (*Triticum aestivum* L.; *Triticum turgidum* var. durum) Cultivars under Dryland Conditions

R. Naseri[1], M. Barary[2*], M.J. Zarea[3], K. Khavazi[4] and Z. Tahmasebi[2]

Received: 11-11-2015 Revised: 20-08-2016 Accepted: 22-08-2016 Available Online: 15-06-2022	**How to cite this article:** Naseri, R., Barary, M., Zarea, M.J., Khavazi, K., and Tahmasebi, Z., 2022. Effect of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on agronomic important traits in two wheat (*Triticum aestivum* L.; *Triticum turgidum* var. durum)cultivars under dryland conditions. Journal of Agroecology 14(1):19-33 DOI: 10.22067/jag.v11i4.51317

Introduction

Current estimates indicate that 25% of the world's agricultural lands are affected by water stress. Iran, with an annual 240 mm of rainfall, is classified as a dry region of the world. Wheat is one of the main cereal crops, cultivated to the demands of the population for human feeding. Winter wheat, the most important food grain produced in Iran, is grown on some 6 million ha. Production of wheat typically requires intensive use of chemical fertilizers. In addition to nitrogen (N) and potassium (K), phosphorous (P) is also one of the essential macronutrients required for the growth and development of wheat. P is usually applied to the soil in the form of phosphate fertilizers. However, a large portion of soluble inorganic phosphate applied to the soil as chemical fertilizer is immobilized rapidly and becomes unavailable to plants. Soil microorganisms can contribute to the enhanced availability of soil P through mineralization of organic P or solubilization of inorganic P resulting in the reduction of P fertilization. Beneficial free-living rhizobacteria, which have been shown to improve plant health or increase yield, are usually referred to as plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). Mycorrhiza, which is a symbiotic fungus, has been under research for more than a century. Inoculation of plant roots with arbuscular mycorrhizal (AM) fungi may be effective in improving crop production under drought conditions. Improved productivity of AM plants was attributed to enhanced uptake of immobile nutrients such as phosphorus, zinc, and copper. In addition, other factors associated with AM fungal colonization may influence plant resistance to drought. These include changes in leaf elasticity, improved leaf water, and turgor potentials, maintenance of stomatal opening and transpiration, increased root length and depth, and development of external hyphae. Therefore the main goal of this study was to find the effect of phosphate solubilizing bacteria and Mycorrhizal fungi on yield, yield components, and its association in two dryland wheat cultivars.

Materials and Methods

In order to find the effects of the phosphorous deficiency and phosphate solubilizing bacteria (PSB) and Mycorrhiza fungi on grain yield and associated traits, an experiment was carried out in factorial arrangement using a randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Station of Ilam University (46*28' N, 33* 37 E; elevation 1174 m) during 2013-2014 cropping season. Experiment factors consisted of two dryland wheat cultivars (bread (Keras Sabalan) and durum wheat (Saji)) and phosphorous deficiency, phosphate solubilizing bacteria, and Mycorrhiza fungi treatment including (without application of phosphorous, 100% consumption of phosphorous fertilizer, phosphate solubilizing bacteria, Mycorrhiza fungi,

1, 2 and 3- Ph.D student in Agronomy, Assistant Professor, Associate Professor of Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran, respectively.
4- Associate Professor, Water and Soil Research Insttute, Karaj, Iran.
(*- Corresponding Author Email: bararym@gmail.com)

phosphate solubilizing bacteria + Mycorrhiza fungi, 50% of phosphorous fertilizer + phosphate solubilizing bacteria + Mycorrhiza fungi, 50% of phosphorous fertilizer + phosphate solubilizing bacteria, 50% of phosphorious fertilizer + Mycorrhiza fungi). At full maturity, agronomic traits such as spik.m^{-2}, spikelet.spike^{-1}, grain.spike^{-1}, 1000-grain weight, grain yield, biological yield, harvest index, spike length, spike weight, and plant height were recorded using a sample of ten random guarded plants from the middle ridges of each plot. The data were analyzed statistically by the SAS program, and the data means were compared by Duncan's multiple range test (DMRT).

Results and Discussion

Results indicated that the interaction effect between cultivar×bio-fertilizer had a significant effect on the spike.m^{-2}, spikelet.spike^{-1}, grains.spike^{-1}, 1000-grain weight, grain yield, biological yield, harvest index, spike length, spike weight, and plant height. The use of bio-fertilizer had a positive and significant effect on total studied traits in two dryland wheat under dryland conditions so that Saji cultivar and Using of bio-fertilizer had the highest grain yield with 62% to check treatment (without using of phosphorous chemical fertilizer and f bio-fertilizer) and also Increasing of 36% observed to 100% of using of phosphorous chemical fertilizer. There was a significant difference between cultivars to the response of Using phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi so Sji cultivars had the best response to mycorrhizal fungi. Therefore with, regard to the cultivation of wheat is facing terminal stresses (drought and heat), indicating that the Saji cultivar and Using of mycorrhizal fungi can be the best result under dryland conditions.

Conclusion

This study indicated that phosphate solubilizing bacteria (HSB) and Mycorrhizal fungi had a positive effect on grain yield and associated traits and grain yield was higher in the presence of *inoculation with* Mycorrhizal fungi and HSB. In general, using bio-fertilizers and managing integrated nourishment quantitatively and qualitatively is one the efficient ways to improve plant production, and the environment would have a better condition if chemical fertilizers consumption reduce. Recent studies indicated that using bio-fertilizers also improves soil physiological structure and also increases organic matter content and P available to the coexistent plant. Of course, before it is recommended for massive production and wide application, it is necessary to implement and replicate this experiment in different regions.

Keywords: Bio-fertilizer, Dryland conditions, Grain yield, Phosphorous chemical fertilizer

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

مقاله پژوهشی

اثر باکتری‌های افزاینده رشد و قارچ میکوریزا بر صفات مهم زراعی دو رقم گندم (*Triticum aestivum* L.; *Triticum turgidum* var. durum) در شرایط دیم

رحیم ناصری[1]، مهرشاد براری[2]*، محمدجواد زارع[3]، کاظم خاوازی[4] و زهرا طهماسبی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۲۰
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۰۵/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۰۱

ناصری، ر.، براری، م.، زارع، م.ج.، خاوازی، ک. و طهماسبی، ز.، ۱۴۰۱. اثر باکتری‌های افزاینده رشد و قارچ میکوریزا بر صفات مهم زراعی دو رقم گندم (*Triticum aestivum* L.; *Triticum turgidum* var. durum) در شرایط دیم. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۴(۱):۳۳-۱۹.

چکیده

به‌منظور بررسی عملکرد دانه گندم (*Triticum aestivum* L.; *Triticum turgidum* var. durum) دیم، آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل عامل رقم گندم در دو سطح (کراس سبلان و ساجی) و عامل مخلوط کود شیمیایی فسفر و کود زیستی در هشت سطح شامل: ۱- عدم مصرف کود شیمیایی فسفر، ۲- ۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر، ۳- باکتری حل‌کننده فسفات (*سودوموناس پوتیدا*)، ۴- قارچ میکوریزا (*گلوموس موسه*)، ۵- باکتری حل‌کننده فسفات + قارچ میکوریزا ، ۶- باکتری حل‌کننده فسفات + قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر، ۷- باکتری حل‌کننده فسفات + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و ۸- قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر بودند. نتایج این پژوهش نشان داد که برهم‌کنش رقم در مخلوط کود شیمیایی و کود زیستی بر تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه معنی‌دار بود. کود زیستی در هر دو رقم گندم در شرایط دیم دارای اثر مثبت و معنی‌داری بر تمامی صفات مورد مطالعه بود، به‌طوری‌که درصد افزایش عملکرد دانه در رقم ساجی و استفاده از قارچ میکوریزا نسبت به شاهد ۶۲ درصد بود. همچنین درصد افزایش عملکرد دانه در مقایسه با تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر ۳۶ درصد بود. در این پژوهش نشان داده شد، بین ارقام دیم مورد آزمایش هنگام استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفر و قارچ میکوریزا تفاوت وجود دارد، به‌طوری‌که گندم دوروم ساجی واکنش بهتری به قارچ میکوریزا از خود نشان داد. بنابراین، نتایج این تحقیق نشان داد که در شرایط کشت گندم دیم در ایلام که گیاه با تنش‌های آخر فصلی (خشکی و دما) مواجه می‌گردد، گندم دوروم دیم رقم ساجی و قارچ میکوریزا نتیجه مطلوب‌تری از خود نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: شرایط دیم، عملکرد دانه، کود زیستی، کود شیمیایی فسفر

مقدمه

استفاده گسترده از کودهای شیمیایی یکی از مشکلات اصلی در محیط زیست و همچنین موجب افزایش هزینه می‌گردد. در این بین، مصرف کود شیمیایی فسفر در محیط منجر به افزایش فرسایش خاکی و در نتیجه، ایجاد روان‌آب‌ها می‌گردد (Azadi et al., 2013)، بنابراین، به یک سری منابع جایگزین در کنار کود شیمیایی نیاز می‌باشد (Azadi et al., 2013). باکتری‌های افزاینده رشد به‌عنوان گزینه‌ای جایگزین برای کودهای شیمیایی، به‌منظور افزایش حاصلخیزی خاک در تولید محصولات در کشاورزی پایدار مطرح شده اند (Wu et al., 2005). کودهای زیستی (PGPR)[4] به‌عنوان مایه تلقیح میکروبی که توانایی متحرک‌سازی عناصر غذایی خاک را برای

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری زراعت، استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایران.
۴- دانشیار، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: bararym@gmail.com)
Doi: 10.22067/jag.v11i4.51317

4- Plant Growth Promoting Bacteria

گیاه زراعی از حالت غیرقابل دسترس به دسترس از طریق فرآیندهای بیولوژیکی‌شان دارند اطلاق می‌شوند (Soleymani Fard & Naseri, 2014). باکتری‌های جنس *ازتوباکتر، آزسپیریلوم* و *سودوموناس* از مهم‌ترین باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌باشند که با تولید مقادیر قابل ملاحظه‌ای از هورمون‌های تحریک‌کننده رشد به‌ویژه انواع اکسین، جیبرلین و سیتوکنین رشد و نمو و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Azadi et al., 2013; Soleymanfard et al., 2013). زهیر و همکاران (Zahir et al., 2000) افزایش ۱۸ درصدی وزن خشک بوته ذرت (Zea mays L.) که بذرهای آن با باکتری *سودوموناس* تلقیح شده بودند را گزارش کردند. نتایج تحقیقات زیدی و خان (Zaidi & Khan, 2006) نیز حاکی از آن است که ریزجانداران حل‌کننده فسفات، با حل کردن فسفر تثبیت شده در خاک موجب بهبود رشد و افزایش عملکرد گیاه می‌شوند. بیان شده است که باکتری‌های حل‌کننده فسفات دارای طیف گسترده‌ای از محرک رشد گیاهی مانند سیانید هیدروژن، تولید سیدروفور و تولید اکسین، حل‌کنندگی فسفات می‌باشند که باعث افزایش رشد گیاه می‌گردد (Rashid et al., 2004). یکی از مهم‌ترین روابط همزیستی در عالم حیات که در طی دوره تکامل به‌وجود آمده است، همزیستی میکوریزا می‌باشد که در آن، ریشه گیاه با قارچ به‌صورت یک واحد زنده فعالیت می‌کنند و از یکدیگر سود می‌برند. قارچ‌های میکوریزا قادر به برقراری همزیستی مسالمت‌آمیزی با ریشه گیاهان خشکی‌زی هستند. بر اثر این همزیستی دو طرف سود برده و به رشد یکدیگر کمک می‌کنند. مهم‌ترین اثر قارچ‌های میکوریزا، افزایش رشد گیاه میزبان است که معمولاً به‌دلیل افزایش جذب عناصر غیرمتحرک از خاک انجام می‌گیرد، این همزیستی سبب تسریع تبادل عناصر غذایی بین گیاه میزبان و قارچ میکوریزا می‌گردد. جذب عناصر گوناگون از قبیل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز توسط گیاه در حضور قارچ میکوریزا افزایش می‌یابد. سونگ (Song, 2005) اظهار داشت در اثر تلقیح قارچ میکوریزا، ریزوسفر خاک بهبود یافته و در اثر توسعه سیستم ریشه‌ای و بهبود جذب آب و عناصر غذایی، سیستم دفاعی گیاه میزبان تقویت شده و خطرات اکسیداسیون کاهش می‌یابد. سازوکارهای مختلفی برای تخفیف اثر منفی تنش خشکی بر شاخص‌های رشد گیاهان میکوریزایی شده عنوان گردیده است که از جمله آن‌ها به افزایش پتانسیل آب برگ، آهنگ جذب و ترکیب گاز کربنیک و سرعت تعرق و تنظیم اسمزی به‌وسیله افزایش جذب نمک‌های محلول کلسیم، پتاسیم و منیزیم و نیز قندها و نشاسته قابل حل در برگ‌ها اشاره نمود (Wu & Xia, 2006). کانوال و همکاران (Kanwal et al., 2015) اظهار داشتند که افزایش ماده خشک اندام‌های هوایی و زیرزمینی در تلقیح با قارچ میکوریزا (*گلوموس موسه‌آ*) در گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) در مقایسه با عدم تلقیح با این قارچ می‌تواند به‌دلیل افزایش غلظت آب و مواد غذایی و انتقال بهتر این مواد در اندام گیاهی و همچنین افزایش فتوسنتز باشد.

نفوذ بیش‌تر هیف‌های قارچ میکوریزا در منافذ ریز خاک، موجب افزایش سطح ویژه مؤثر ریشه‌ها به‌واسطه اشتراک هیف‌های قارچ، سبب افزایش تمایل به جذب در ریشه و ایجاد تغییرات شیمیایی می‌شود (Cardoso & Kuyper, 2006). اثرات مثبت همزیستی میکوریزا در رشد رویشی و عملکرد گیاه می‌تواند به‌علت بهبود جذب فسفر و افزایش جذب آب به‌وسیله هیف‌های قارچی و همچنین افزایش تراکم و طول ریشه گیاه، به‌خصوص در شرایط تنش خشکی باشد (Abo-Ghalia & Khalafallah, 2008). تانگ و همکاران (Tang et al., 2009) در بررسی خود روی گیاه ذرت مشاهده کردندکه مایه‌زنی ذرت با قارچ میکوریزا (*گلوموس موسه*) سنتز کلروفیل در گیاه را بهبود بخشید و فتوسنتز گیاه را نیز افزایش داد.

از آن‌جا که تحقیقات زیادی در مورد کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد و قارچ میکوریزا بر گندم دیم در کشور و به‌ویژه در استان ایلام انجام نشده است، آزمایش حاضر با هدف بررسی اثر باکتری‌های افزاینده رشد و قارچ میکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم دیم انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی عملکرد دانه و صفات مهم مورفوفیزیولوژیک در ارقام گندم دیم، آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا برابر با ۱۱۷۴ متر اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل عامل رقم گندم دیم در دو سطح (گندم نان (کراس‌سبلان) و دوروم (ساجی)) و عامل تیمارهای مخلوط کود شیمیایی فسفر،

باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا در هشت سطح شامل: ۱- عدم مصرف کود شیمیایی فسفر،۲- ۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر، ۳- باکتری حل‌کننده فسفات (*سودوموناس پوتیدا*)، ۴- قارچ میکوریزا (*گلوموس موسه*)، ۵- باکتری حل‌کننده فسفات + قارچ میکوریزا، ۶- باکتری حل‌کننده فسفات + قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر، ۷- باکتری حل‌کننده فسفات + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و ۸- قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر در نظر گرفته شدند. ابعاد هر کرت هشت مترمربع، تعداد خطوط هشت ردیف و طول هر ردیف چهار متر و فاصله هر تکرار یک متر در نظر گرفته شد. هر کرت آزمایش شامل هشت خط کاشت با فاصله ۲۵ سانتی‌متر و طول چهار متر در نظر گرفته شد. باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا مورد استفاده در این پژوهش از مؤسسه آب و خاک کرج تهیه گردید. قبل از کاشت گندم، به‌میزان هفت گرم مایه تلقیح که هر گرم آن دارای 10^7 عدد باکتری *سودوموناس* زنده و فعال، با آب شکر به غلظت دو درصد (Moradi et al., 2011) مرطوب و به نسبت دو کیلوگرم ماده تلقیح در ۱۰۰ کیلوگرم بذر و قارچ میکوریزا که هر گرم آن دارای ۱۵۰ اسپور زنده، با بذرها تلقیح و آغشته شد و پس از تهیه کردن بستر کاشت، بذور تلقیح شده در شیارهای ایجاد شده انداخته و با خاک پوشانده شدند. آمار هواشناسی محل مورد آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. مقدار بذر مصرفی برای هر هکتار ۱۲۰ کیلوگرم بود. کودهای نیتروژن و فسفر بر اساس آزمون خاک (جدول ۲) مورد استفاده قرار گرفتند. کود نیتروژن به‌میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله (در هنگام کاشت و شروع ساقه‌دهی) به زمین داده شد. درمورد کود فسفره ۵۰ کیلوگرم در هکتار P_2O_5 از منبع سوپر فسفات تریپل ۱۰۰٪ کود توصیه شده در زمان کاشت مصرف گردید.

جدول ۱- مقادیر متوسط ماهانه دما، بارش و رطوبت در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲

Table 1- Monthly mean value of precipitation and relative humidity in Agricultura Reserch Field Staion of Ilam University 2013-2014 croping season

ماه	Month	حداقل دما Min temperature (°C)	حداکثر دما Max temperature (°C)	میزان بارش Precipitation (mm)	حداقل رطوبت Min. Humidity (%)	حداکثر رطوبت Max. Humidity (%)
مهر	Oct.	11	27	0	14	41
آبان	Nov.	7.5	25.6	163.5	45	84
آذر	Dec.	2.7	12.7	103.3	45	89
دی	Jan.	-1	10.8	89.9	42	88
بهمن	Feb.	0.2	11	151.3	43	89
اسفند	Mar.	5	15.8	93.1	42	85
فروردین	Apr.	6.4	19.8	32.4	27	74
اردیبهشت	May	12.8	27.1	27.2	21	59
خرداد	Jun.	16.9	32.4	0	14	39

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2. Soil physical and chemical properties of experimental area

بافت Texture	فسفر قابل جذب Available P (mg kg^{-1})	پتاسیم قابل جذب Available K (mg kg^{-1})	نیتروژن کل Total N (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	اسیدیته خاک pH
Silty loam	7.2	310	0.12	1.28	0.97	7.2

صفات مورد اندازه‌گیری شامل تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبل‌چه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، طول سنبله، وزن سنبله، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و ارتفاع بوته بود. با نزدیک شدن گیاه به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و صفات تعداد دانه در سنبله، طول سنبله، وزن سنبله و ارتفاع بوته اندازه‌گیری شدند. جهت اندازه‌گیری تعداد سنبله در مترمربع از کوادرات یک مترمربعی استفاده گردید. جهت اندازه‌گیری و تعیین وزن هزار دانه، ۱۰۰۰ بذر از هر

کرت آزمایشی به‌صورت تصادفی شمارش و توسط ترازوی دیجیتالی محاسبه شد. به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد دانه بوته‌های موجود در هرکرت پس از حذف اثرات حاشیه‌ای در ۲/۲۵ مترمربع به‌صورت جداگانه کف‌بر و محاسبه گردید. جهت محاسبه عملکرد بیولوژیک پس از برداشت بوته‌های هر کرت آزمایشی و قبل از جدا کردن دانه-ها، وزن کل بوته‌ها اندازه‌گیری و عملکرد بیولوژیک تعیین گردید. از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک شاخص برداشت به‌دست آمد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها به‌روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام گرفت.

نتایج و بحث

با توجه به جدول تجزیه واریانس اثرات اصلی رقم و مخلوط کود شیمیایی فسفر و کود زیستی و برهم‌کنش آن‌ها بر تعداد سنبله در مترمربع معنی‌دار گردید (جدول ۳). با توجه به جدول اثر برهم‌کنش رقم در کود زیستی نشان داده شد که رقم کراس‌سبلان در تیمار مخلوط قارچ میکوریزا و باکتری حل‌کننده فسفات به‌علاوه ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر دارای بیش‌ترین سنبله در مترمربع بود و کم‌ترین تعداد سنبله در رقم ساجی و شاهد مشاهده گردید (جدول ۴). در این پژوهش مشاهده گردید که استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا در دو رقم گندم نان و دروم موجب افزایش تعداد سنبله در مترمربع گردید، به‌طوری‌که درصد تعداد سنبله در رقم کراس‌سبلان و استفاده از کود زیستی نسبت به شاهد (عدم استفاده از کود شیمیایی فسفر و مخلوط قارچ میکوریزا و باکتری حل‌کننده فسفات) ۱۵ درصد بود. همچنین درصد افزایش تعداد سنبله در مترمربع در مقایسه با تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر به تنهایی ۵/۶ درصد بود (جدول ۴). با توجه به این که فسفر دومین عنصر محدودکننده بعد از نیتروژن می‌باشد، در تیمار عدم استفاده از کود شیمیایی فسفر و عدم تلقیح با کود زیستی به‌علت عدم استفاده از هر نوع کود فسفره رشد پنجه‌ها و به تبع تعداد سنبله در مترمربع در شاهد کم‌تر بود. این افزایش تعداد سنبله در مترمربع احتمالاً ناشی از وجود تیمارهای کود شیمیایی فسفر و کود زیستی در محدوده خاک یا ریزوسفر است که به‌وسیله ایجاد چرخه مواد غذایی و قابل دسترس ساختن آن و افزایش جذب مواد غذایی باعث رشد گیاه از جمله افزایش این صفت می‌گردد. همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده کود زیستی به‌دلیل توانایی در افزایش جذب فسفر قابل دسترس در خاک این عنصر در مرحله رویشی و زایشی گیاه تأثیر بسزایی دارد و هر چقدر که تعداد پنجه در بوته زیاد گردد، به تبع بر تعداد سنبله نیز افزوده خواهد شد. یساری و پاتواردهان (Yasari & Patwardhan, 2007) نیز اثر مثبت کودهای زیستی *ازتوباکتر* و *آزوسپریلیوم* بر تعداد غلاف در گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) بیان داشتند. ناصری و همکاران (Naseri et al., 2010) نیز نشان دادند که استفاده از کود زیستی *ازتو*باکتر و *آزوسپریلیوم* دارای تأثیر بسیار معنی‌دار بر صفت تعداد غوزه در بوته گلرنگ بود، به‌نحوی که استفاده از کود زیستی موجب افزایش ۳۲/۸ درصدی در تعداد غوزه در بوته گردید. مرتنز و هیس (Mertnese & Hess, 2004) نیز طی تحقیقات خود، افزایش عملکرد گندم تلقیح شده با کود زیستی *آزوسپریلیوم* را مربوط به افزایش تعداد پنجه در گیاه بیان کرده‌اند.

صفت تعداد دانه در سنبله یکی از معیارهای تعیین‌کننده عملکرد دانه محسوب می‌شود، زیرا هرچه تعداد دانه بیش‌تر باشد، مخزن بزرگ‌تری برای مواد متابولیکی به‌وجود آمده و هر عاملی که باعث افزایش این معیار شود، باعث افزایش عملکرد دانه خواهد شد، که در این آزمایش اثر متقابل رقم در مخلوط کود شیمیایی فسفر و کود زیستی در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری بر این صفت داشت (جدول ۳). در این آزمایش بین دو رقم مورد استفاده همان‌طور که در جدول تجزیه واریانس آمده اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید. افزایش کود شیمیایی فسفر و استفاده از کود زیستی موجب افزایش تعداد دانه در سنبله گردید. به‌طوری‌که بیش‌ترین تعداد دانه در رقم ساجی و قارچ میکوریزا به‌علاوه ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کم‌ترین تعداد دانه در رقم کراس‌سبلان و تیمار عدم مصرف کود شیمیایی فسفر و کود زیستی به‌دست آمد که نسبت به شاهد افزایش ۶۴/۱ درصدی از خود نشان داد (جدول ۴). افزایش تعداد دانه در سنبله در اثر کاربرد کود زیستی می‌تواند ناشی از اثر آن بر روی تعداد سنبلچه در سنبله و طول سنبله باشد که تا حدودی توانسته مقدار آن را افزایش دهد (جدول ۴). از طریق رشد ریشه‌های جانبی و افزایش وزن برگ و ریشه سبب افزایش مواد پرورده شده که به نوبه خود باعث افزایش رشد رویشی و افزایش سهم اندام‌های زایشی از جمله تعداد دانه در سنبله می‌گردد. در گزارشات الکراکی و همکاران (Al-Karaki et al., 2004) نیز تأثیر کود زیستی بر طولانی‌تر شدن دوره پرشدن دانه در گندم و در نتیجه آن افزایش تعداد دانه در سنبله بیان شده، در آزمایش راجا و همکاران (Raja et al., 2002) بین

تیمارهای کود شیمیایی فسفر و کود زیستی *سودوموناس* اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، ولی با دیگر سطوح میکوریزا، *سودوموناس* و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید. با توجه به اینکه در شرایط دیم گیاه با تنش‌های مختلف از جمله کم‌آبی و گرما مواجه می‌گردد و در شرایط ایلام معمولاً از فروردین میزان بارندگی کم می‌گردد (جدول ۱) که این کمبود بارندگی با مرحله گل‌دهی و گرده‌افشانی و متعاقب آن تشکیل دانه در سنبله همراه می‌باشد، همان‌طور که جدول ۴ نشان داده شده در تیمارهای شاهد میزان تعداد دانه در سنبله در هر دو رقم به‌شدت کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند، امّا در تیمارهای باکتری‌های حل‌کننده فسفر و به‌خصوص قارچ میکوریزا ما شاهد حداکثر تعداد دانه در سنبله هستیم. بنابراین، نشان داده شد باکتری‌های حل‌کننده فسفات و به‌ویژه قارچ میکوریزا از طریق افزایش طول دوره رشد تحت شرایط دیم و افزایش سطح برگ موجب کاهش خسارت‌های ناشی از تنش خشکی و گرما گردید. آن‌چه مشخص است در مرحله گل‌دهی که عمل تلقیح صورت می‌گیرد، کمبود رطوبت در این مرحله موجب می‌گردد که عمل تلقیح به‌خوبی صورت نگیرد و با مشکل مواجه گردد. کاربرد کود زیستی در این مرحله باعث افزایش عمل گرده‌افشانی که نتیجه آن افزایش تعداد دانه در سنبله در مقایسه با سایر تیمارهای شاهد می‌باشد. سلیمان‌زاده و همکاران (Soleimanzadeh et al., 2010) نیز نقش کودهای زیستی در گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) را مثبت ارزیابی کردند، به‌طوری‌که استفاده از کود زیستی سبب افزایش هفت درصدی تعداد دانه در طبق نسبت به تیمار عدم تلقیح شد. این موضوع توانایی کودهای زیستی را در استفاده از سطوح مختلف کود شیمیایی بیان می‌کند که می‌تواند در سطح معینی از کود شیمیایی نیز تعداد دانه قابل قبولی تولید کند، ایندول استیک اسید درکنار سیتوکنین که توسط کود زیستی تولید می‌شود از طریق رشد ریشه‌های جانبی و افزایش وزن برگ و ریشه سبب افزایش مواد پرورده شده که به نوبه خود باعث افزایش رشد رویشی و افزایش سهم اندام‌های زایشی از جمله تعداد دانه در سنبله می‌گردد (Moradi et al., 2011).

در این آزمایش بین دو رقم مورد استفاده همان‌طور که در جدول تجزیه واریانس آمده اختلاف معنی‌داری از نظر تعداد سنبلچه در سنبله مشاهده گردید (جدول ۳). افزایش کود شیمیایی فسفر و استفاده از کود زیستی موجب افزایش تعداد سنبلچه در سنبله گردید. به‌طوری‌که بیش‌ترین تعداد سنبلچه در رقم ساجی و قارچ میکوریزا به‌علاوه ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کم‌ترین تعداد سنبلچه در رقم کراس‌سبلان و تیمار عدم مصرف کود شیمیایی فسفر و کود زیستی به‌دست آمد که نسبت به شاهد افزایش ۶۰/۷ درصدی از خود نشان داد (جدول ۴).

وزن هزار دانه نیز یکی دیگر از اجزای مهم عملکرد دانه محسوب می‌گردد، که تحت برهم‌کنش رقم و باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). رقم ساجی با میانگین در تیمار قارچ میکوریزا و باکتری به‌علاوه ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر دارای بیش‌ترین وزن هزار دانه بود. کم‌ترین وزن هزار دانه نیز در رقم کراس سبلان و شاهد با میانگین مشاهده گردید که نسبت به شاهد موجب افزایش ۱۸/۹ درصدی گردید (جدول ۴). علت افزایش وزن هزار دانه در ارقام مورد استفاده در حضور تیمار باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا به این دلیل که زمانی که گیاه شدیداً در حال رشد می‌باشد مواد حاصل از فتوسنتز به ریشه‌ها انتقال می‌یابد، توسعه ریشه شرایط برای جذب عناصر غذایی فراهم می‌شود که این به نوبه خود باعث افزایش فتوسنتز می‌گردد. زمانی‌که گیاه به دوران رسیدگی نزدیک می‌گردد، مواد حاصل از فتوسنتز را به اندام‌های زایشی (دانه‌ها) منتقل می‌کند. باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا از طریق تسریع و تقویت این عمل سبب افزایش وزن هزار دانه می‌گردد. آنچه مشخص است در شرایط آب‌وهوایی ایلام و در مرحله تشکیل و پر شدن دانه که عملاً کمبود آب و گرما را شاهد هستیم کمبود رطوبت موجب می‌گردد که عمل تشکیل دانه و پر شدن دانه به‌خوبی صورت نگیرد و با مشکل مواجه گردد که نتیجه آن چروکیدگی و کاهش وزن هزار دانه می‌باشد. کاربرد کود زیستی در این مرحله باعث افزایش وزن هزار دانه در مقایسه با سایر تیمارهای شاهد می‌باشد. با توجه به جدول برهم‌کنش اثر رقم در مخلوط کود شیمیایی فسفر و کود زیستی، رقم ساجی در مخلوط باکتری افزاینده رشد و قارچ میکوریزا به‌علاوه ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر دارای بیش‌ترین وزن هزار دانه و رقم کراس سبلان و شاهد (عدم کاربرد کود زیستی و کود شیمیایی فسفر) دارای کم‌ترین وزن هزار دانه بودند.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد بررسی در سطوح کود شیمیایی فسفر و کود زیستی در دو رقم گندم دیم

Table 3- Analysis of variance (mean squares) for measured parameters under different levels of chemical fertilizer and bio-fertilizer in two dry land wheat cultivars

منابع تغییرات	S.O.V.	درجه آزادی d.f	تعداد سنبله در مترمربع $Spikes.m^{-2}$	تعداد دانه درسنبله $Grains.spike^{-1}$	تعاد سنبل‌چه در سنبله $Spikelet.spike^{-1}$	وزن هزار دانه 1000-Grain weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	طول سنبله Spike length	وزن سنبله Spike weight	ارتفاع بوته Plant height
تکرار	Replication	2	4568.8	0.90	52.1	9.9	1800801.1	8684439.3	0.001	12.2	0.008	119.4
رقم	Cultivar (C)	1	1704.08^{**}	34.1^{**}	383.6^{**}	41.8^{**}	2060231.07^{**}	4881657.4^{**}	0.009^{**}	44.6^{**}	1.5^{**}	784.08^{**}
مخلوط کود شیمیایی فسفر و کود زیستی	Chemical Fertilizer and Bio-fertilizer (CF and BF)	7	605.6^{**}	30.2^{**}	182.9^{**}	17.2^{**}	1926480.7^{**}	6397904^{**}	0.007^{**}	11.7^{**}	2.7^{**}	889.7^{**}
اثرات متقابل	C×(CF and BF)	7	160.6^{*}	40.05^{**}	28.4^{**}	3.2^{*}	307785.5^{**}	1381661.7^{**}	0.0003^{*}	0.5^{*}	0.3^{**}	67.6^{**}
خطا	Error	30	68.3	0.4	6.7	1.2	72600	393795.4	0.0001	0.2	0.07	12.6
ضریب تغییرات (درصد)	CV%	-	3.3	5.2	9.5	3.2	12.3	12.04	2.6	6.5	12.5	3.9

* and **: significant at the 5% and 1% levels, respectively

*و**: به‌ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ٤- اثر برهم‌کنش رقم و کود زیستی بر عملکرد و اجزا عملکرد در دورقم گندم دیم

Table 4- Interaction effect of cultivar and bio-fertilizer on grain yield and its components in two cultivars of wheat in dryland conditions

		تعداد سنبله در مترمربع Spikes.m^{-2}	تعداد دانه در سنبله Grains.spike^{-1}	تعاد سنبل‌چه در سنبله spikelet.spike^{-1}	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	عملکرد دانه Grain yield (kg.h^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.h^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)	طول سنبله Spike length (cm)	وزن سنبله Spike weight(g)	ارتفاع بوته Plant height (cm)
کراس‌سبلان Keras Sabalan	P_0	224.6^{f}	14.9^{g}	6.6^{j}	32.1^{i}	1010^{i}	3133.3^{f}	32.1^{i}	5^{hi}	1.3^{e}	69.3^{f}
	P_1	249.6^{abcd}	22.6^{e}	12.6f^{g}	32.9^{hi}	1754.9^{fg}	4723.3^{cde}	37.1^{gh}	8.6^{bc}	1.5^{e}	96.3^{bc}
	P_2	256.3^{abc}	25.2d^{e}	12.6f^{g}	34.06^{fgh}	2034.3^{defg}	5143.7^{cde}	39.4^{ef}	7.3^{de}	1.6^{de}	88.6^{d}
	P_3	246.3^{cde}	21.5^{ef}	12.6^{h}	33.2^{ghi}	1649.3^{gh}	3324.3^{ef}	38.1^{fg}	7^{ef}	1.64^{de}	80.3^{e}
	P_4	248.6^{bcd}	24d^{e}	11.3^{hg}	33.1^{ghi}	1801.2^{efg}	4396.7^{ef}	40.8^{de}	7.6^{de}	1.8^{de}	92^{bcd}
	P_5	264^{ab}	28.6^{cd}	15.03^{bc}	35.6^{cde}	2382.6^{bcd}	5560.3^{bcd}	42.9^{bc}	10^{a}	2.9^{b}	108^{a}
	P_6	264.6^{a}	30.6^{bc}	14.9^{bcd}	36.4^{c}	2860.9^{ab}	6636.7^{ab}	43.3^{bc}	9^{b}	2.9^{b}	108.6^{a}
	P_7	254.3^{abc}	27.6^{cd}	12.8^{efg}	35.06^{cdef}	2283^{cde}	5280^{cde}	43.2^{bc}	9.3^{ab}	2.4^{bc}	107^{a}
ساجی Saji	P_0	223.3^{f}	17.6^{fg}	9.6^{i}	33.1^{ghi}	1214.1^{hi}	3366.7^{fg}	35.7^{h}	4.5^{h}	1.5^{e}	64f
	P_1	236.6^{def}	27.5^{cd}	13.9^{cde}	34.3^{efgh}	2042.2^{defg}	4926.7^{cde}	41.4^{cd}	6.2^{fg}	1.6^{de}	88.6^{d}
	P_2	230.6^{ef}	28.4^{cd}	13^{efg}	34.5^{defg}	2119.5^{cdefg}	5146.7^{cde}	41.04^{de}	5^{hi}	1.7^{de}	81.6^{e}
	P_3	245.3^{cde}	31.5^{bc}	14.7^{bcd}	35.8^{cde}	2557.08^{bc}	5910.3^{bc}	43.08^{bc}	5.05^{hi}	2.4^{bc}	86d^{e}
	P_4	236def	28.03^{cd}	13.7^{def}	35.6^{cde}	2189.5^{cdef}	5002.7^{cde}	43.7^{b}	5.5^{hg}	2.1^{cd}	80^{e}
	P_5	246cde	34.5^{b}	15.6^{b}	39.6^{a}	3210.8^{a}	7218^{a}	44.4^{ab}	8^{cd}	3.5^{a}	98^{b}
	P_6	241cde	31.3^{bc}	14.1^{cde}	36.1^{c}	2524.1^{bcd}	5693.3^{bc}	44.2^{ab}	7.02^{ef}	2.5^{bc}	91^{cd}
	P_7	254.6abc	41.6^{a}	16.8^{a}	38.2^{b}	3233.4^{a}	7036.7^{a}	45.9^{a}	7.1d^{e}	3.6^{a}	96.3^{bc}

P_o، P_1، P_2، P_3، P_4، P_5، P_6 و P_7: به‌ترتیب عدم مصرف کود شیمیایی فسفر، ۱۰۰ کود شیمیایی فسفر، باکتری، قارچ میکوریزا، باکتری + قارچ میکوریزا، باکتری + قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر، باکتری + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا + ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر

P_0, P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6 and P_7: without application of phosphorious, 100% consumption of phosphorious fertilizer, phosphate solubilizing bacteria, Mycorrhiza fungi, phosphate solubilizing bacteria + Mycorrhiza fungi, 50% of phosphorious fertilizer + phosphate solubilizing bacteria + Mycorrhiza fungi, 50% of phosphorious fertilizer + phosphate solubilizing bacteria, 50% of phosphorious fertilizer + Mycorrhiza fungi, respectively.

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک می‌باشند بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

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

بایستی توجه نمود که زمانی که دانه‌ها در حال تشکیل شدن هستند و گیاه در اواخر دوره رشد خود می‌باشد. تمام اعضای مختلف گیاه به‌عنوان منبع عمل کرده و تمام مواد فتوسنتزی ذخیره خود را به‌سمت دانه سرازیر می‌کنند، بنابراین هر گونه تنش یا کمبود آب در این مرحله باعث چروکیدگی، کوچکی و لاغری دانه می‌گردد. ناصری و همکاران (Naseri et al., 2010) در آزمایش خود نشان دادند، تنش‌های شدید کمبود آب اندازه و وزن دانه‌های گندم را به‌علت تقلیل انتقال مجدد آسیمیلات‌ها کاهش داد و کاهش وزن هزار دانه و تعداد دانه باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود. در گزارش‌های دانشمند و همکاران (Daneshmand et al., 2008) نیز نشان داده شد که تنش خشکی موجب کاهش وزن هزار دانه در اواخر دوره رشد در گیاه می‌گردد. به‌طور کلی، وزن دانه تابعی از سرعت و طول دوره پر شدن آن‌ها است. وجود تنش‌های محیطی مانند کمبود آب به‌ویژه در مرحله تشکیل و پر شدن دانه، به‌دلیل کاهش در میزان فتوسنتز جاری، سرعت و طول دوره پر شدن دانه و در نهایت، وزن آن را کاهش می‌دهد (Naseri et al., 2010). نتایج ماریوس و همکاران (Marius et al., 2005) نشان داد که تأثیر تلقیح با باکتری *سودوموناس* بر گیاه و کاروتن B و A آفتابگردان موجب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و میزان رنگ‌دانه‌های کلروفیل و بعد از گل‌دهی در فرآیند فتوسنتز، تولید انرژی و در نهایت بهبود رشد آفتابگردان در تیمار کود زیستی نسبت به کنترل شده است. مرادی و همکاران (Moradi et al,. 2011) نیز نشان که اثرات مثبت کودهای زیستی از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی سبب افزایش فتوسنتز شده و این امر موجب تولید آسیمیلات بیش‌تر و بهبود رشد گیاه شده است در نتیجه، وزن هزار دانه در مقایسه با تیمار عدم تلقیح افزایش نشان داده است. هم‌چنین اظهار داشتند احتمالاً کاربرد کود شیمیایی فسفر، شرایط تغذیه‌ای مناسب را برای تکثیر و فعالیت باکتری *سودوموناس* فراهم نموده است، زیرا این باکتری جهت رشد و نمو و تثبیت فسفر نیازمند وجود این عناصر در محیط غذایی هستند. شهاتا و الخاواز (Shehata & EL-Khawas, 2003) تأثیر باکتری‌های حل‌کننده فسفات را بر پارامترهای رشد، عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد شامل باکتری های افزاینده رشد، اجزای عملکرد را در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح) بهبود بخشیدند.

همان‌طور که جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد، عملکرد دانه تحت تأثیر رقم، مخلوط کودهای شیمیایی و کود زیستی و هم‌چنین برهم‌کنش آن‌ها اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۳). اثر برهم‌کنش رقم در کود زیستی نشان می‌دهد که رقم ساجی و قارچ میکوریزا به‌علاوه ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و مخلوط قارچ میکوریزا و باکتری حل‌کننده فسفات به‌علاوه ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر دارای بیش‌ترین عملکرد دانه می‌باشند و کم‌ترین عملکرد دانه در رقم کراس‌سبلان و شاهد به‌دست آمد (جدول ۴). در این پژوهش، مشاهده گردید که استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا در دو رقم گندم نان و دروم موجب افزایش عملکرد دانه گردید، به‌طوری‌که درصد افزایش عملکرد دانه در رقم ساجی و استفاده از کود زیستی نسبت به شاهد (عدم استفاده از کود شیمیایی فسفر و مخلوط قارچ میکوریزا و باکتری حل‌کننده فسفات) ۶۲ درصد بود. هم‌چنین درصد افزایش عملکرد دانه در مقایسه با تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر ۳۶ درصد بود (جدول ۴). بیش‌تر بودن عملکرد دانه در تیمارهای تلقیح باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا در هر دو رقم را می‌توان به بالا بودن دو جز عملکرد یعنی تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله و وزن هزار دانه نسبت داد. به نظر می‌رسد که تلقیح بذر با *سودوموناس* و احتمالاً ایجاد شرایط مناسب جهت جوانه‌زنی باعث استقرار سریع‌تر گیاهچه و بهره‌مندی بیش‌تر از منابع محیطی توسط گیاه می‌شود. چنین وضعیتی باعث می‌شود که تا گیاه شرایط مناسب‌تری را جهت پر کردن دانه‌ها داشته باشد که این وضعیت همراه با افزایش عملکرد دانه نمود بیش‌تری می یابد. حمیدی و همکاران (Hamidi et al., 2009) نشان دادند که در اثر تلقیح بذر ذرت علوفه‌ای با کود زیستی *سودوموناس فلورسنس*، تعداد برگ‌های بالایی بلال و تعداد برگ در هر بوته افزایش یافته است. آن‌ها نیز دلیل این امر را وجود روابط مثبت بین گیاه و باکتری دانسته و اعلام داشتند که این موضوع در نهایت، منجر به افزایش عملکرد علوفه سیلویی شده است. آن‌ها هم‌چنین اظهار داشتند که احتمالاً باکتری‌های محرک رشد از طریق تولید هورمون‌های محرک رشد، عملکرد و ویژگی‌های مرتبط با آن را در ذرت علوفه ای تحت تأثیر قرار داده است. تانوار و همکاران (Tanwar et al., 2003) با استفاده از تیمارهای مختلف کود فسفره و کودهای زیستی نشان داد که اثر متقابل بین فسفر و

کود زیستی معنی‌دار است و هم‌چنین تلقیح به مایه تلقیح به‌علاوه کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره باعث بالاترین عملکرد دانه گردید. افزایش قابلیت دسترسی گیاه به عناصر غذایی، با کاربرد توأم کودهای شیمیایی و جذب بیش‌تر آن‌ها توسط گیاه، در نتیجه افزایش رشد و فتوسنتز با افزایش سطح برگ گیاه از عوامل افزایش عملکرد دانه در تیمارهای تلفیقی می‌باشد. تحقیقات دیگر نیز نشان داده که لااقل برخی از سویه‌های *سودوموناس* می‌توانند از طریق تولید مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه و افزایش قابلیت جذب آب و عناصر غذایی به‌طور مستقیم نیز در افزایش رشد گیاه مؤثر شوند (Sharma, 2000). در گزارشات دیگر نیز افزایش عملکرد دانه در سطوح کودی در گیاهان تلقیح شده، به افزایش جذب عناصر غذایی فسفر تولیدهای رشد، تحمل به تنش خشکی و مقاومت به عوامل بیماری‌زا گزارش شده است (Ashraf et al., 2004). نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که با روش تلقیح کودی نه تنها می‌توان عملکرد دانه در واحد سطح را افزایش داد، بلکه به‌طور قابل توجهی می‌توان مصرف کود شیمیایی فسفر را پایین آورد. افزایش قابلیت دسترسی گیاه به عناصر غذایی، با کاربرد توأم کودهای شیمیایی و جذب بیش‌تر آن‌ها توسط گیاه، در نتیجه افزایش رشد و فتوسنتز با افزایش سطح برگ گیاه از عوامل افزایش عملکرد دانه گیاه گندم در تیمارهای تلفیقی می‌باشد (Moradi et al., 2011). به نظر می‌رسد که میسیلیوم‌های قارچ با پراکنش در اطراف ریشه‌های گیاه میزبان سطح جذب آب بالاتری را فراهم آورده و باعث می‌شوند تا در شرایط یکسان گیاهان تلقیح شده نسبت به گیاهان شاهد آب بیش‌تری را در اختیار داشته باشند. از طرف دیگر، اگرچه در این پژوهش میزان جذب عناصر اندازه‌گیری نشد، امّا با توجه به نتایج محققان دیگر به نظر می‌رسد که قارچ در فراهمی و متابولیسم عناصر مورد نیاز گیاه تأثیر مهمی داشته و سبب می‌گردد تا میزان این عناصر در گیاهان تلقیح شده افزایش یابد. این امر خصوصاً در شرایط تنش برای گیاهان دارای اهمیت زیادی است. به‌طوری‌که مقایسه نتایج نشان می‌دهد که با کاهش رطوبت خاک، قارچ تأثیر بهتری بر روی گیاهان تلقیح شده دارد. به نظر می‌رسد که با توجه به محل طبیعی حضور این قارچ، که در مناطق بیابانی و خشک است، بتوان نتایج را این‌طور تفسیر نمود که قارچ نسبت به شرایط خشک و نامساعد تکامل پیدا کرده است و لذا در شرایطی که گیاه با تنش روبرو شود این قارچ بهتر می‌تواند تأثیرات خود را بر روی رشد گیاه اعمال نماید (Sepehri et al., 2009). از طرفی دیگر، تنش خشکی یکی از عوامل مؤثر بر تثبیت نیتروژن گیاه که به‌طور مستقیم از طریق تأثیر بر مقدار کربوهیدارت تولید شده در گیاه و انتقال آن به ریشه، بر تثبیت نیتروژن تأثیر می‌گذارد و در نتیجه، کمبود نیتروژن در گیاه صفات مختلف از جمله عملکرد دانه تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Ravari & Hum, 2003).

همان‌طور که جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان می‌دهد اثرات برهم‌کنش رقم در مخلوط کود شیمیایی فسفر و کود زیستی در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار گردید. همان‌طور که جدول ۴ نشان می‌دهد، استفاده از کود زیستی موجب افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک گردید، به‌طوری‌که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک مربوط به رقم ساجی و قارچ میکوریزا به‌علاوه ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و رقم کراس‌سبلان و شاهد (عدم مصرف کود شیمیایی فسفر و عدم استفاده از کود زیستی *سودوموناس*) بود که نسبت به شاهد سبب افزایش ۵۶/۶ درصدی بود (جدول ۴). روند تغییرات عملکرد بیولوژیک مشابه عملکرد دانه بوده است. در سیستم‌های تلفیقی عملکرد بیولوژیک به‌دلیل افزایش اجزای رویشی (سطح برگ، طول سنبله، وزن سنبله و ارتفاع) و زایشی (تعداد سنبله در مترمربع، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه و وزن هزار دانه) در مقایسه با تیمار عدم تلقیح با کود زیستی جذب عناصر غذایی بیش‌تر توسط گیاه رشد و نمو و فعالیت‌های بیوشیمیایی گیاه را افزایش می‌دهد و این امر موجب افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در گیاه می‌شود. بنابراین، با تلقیح کود زیستی و شیمیایی نه تنها می‌توان تولید را در حد بهینه نگه داشت، بلکه میزان کود شیمیایی را کاهش داد و می‌توان ثبات تولید محصول در سیستم‌های زراعی را فراهم نمود. کودهای زیستی با تخصیص ماده خشک بیش‌تر به گیاه سبب افزایش رشد رویشی و در نتیجه، فراهم‌سازی امکان بهره‌برداری بهتر از نور و فتوسنتز بیش‌تر و در نهایت، افزایش رشد و نمو شدند. بر اساس نتایج رودریگز و فراگا (Rodriguze & Fraga, 1999) در اثر کاربرد *سودوموناس* افزایش معنی‌داری در عملکرد زیستی همراه با افزایش فسفر در گیاه گندم گزارش شده است. افزایش عملکرد بیولوژیک در تیمار سطوح کودی زیستی نسبت به شاهد در نتایج الکراکی و همکاران (Al-Karaki et al., 2004) به‌دست آمد. بنابراین، با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش به‌خصوص عملکرد بیولوژیک و سایر صفات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد می‌توان چنین نتیجه گرفت که همزیستی با قارچ میکوریزا در شرایط مختلف

رطوبتی می‌تواند باعث افزایش عملکرد بیولوژیک شود و در شرایط تنش خشکی گرما باعث افزایش مقاومت گیاه به تنش‌ها می‌شود. ابوقالی و خالفالاح (Abo-Ghalia & Khalafallah, 2008) نیز در تحقیقی که در مورد تلقیح گندم توسط تلفیقی از گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا انجام دادند دریافتند که همزیستی میکوریزایی می‌تواند رشد رویشی و زایشی گیاه را افزایش دهد. بث و همکاران (Bath et al., 2005) نیز بیان داشتند که تلقیح میکوریزا با ماش، باعث افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیکی این گیاه شده است. آنان دلیل این موضوع را بهبود دسترسی و جذب بهتر عناصر غذایی ذکر کردند و بیان داشتند که این موضوع در نهایت، باعث افزایش تجمع ماده خشک شده است.

شاخص برداشت که بیانگر تخصیص مواد فتوسنتزی به‌سمت دانه می‌باشد تحت تأثیر برهم‌کنش رقم در مخلوط کود شیمیایی و کود زیستی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). شاخص برداشت در رقم ساجی دارای درصد بالاتری بود که این موضوع به‌دلیل انتقال مواد ساخته شده به‌سمت دانه که از شدت بالاتری برخوردار بوده است و سبب بالا رفتن عملکرد اقتصادی دانه نسبت به عملکرد بیولوژیک در رقم شده است. همانند سایر صفات ذکر شده افزایش کود شیمیایی فسفر و استفاده از کود زیستی سبب افزایش شاخص برداشت گردید. رقم ساجی و کاربرد قارچ میکوریزا به‌علاوه ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و رقم کراس سبلان و شاهد (عدم مصرف کود شیمیایی فسفر و عدم استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات و قارچ میکوریزا) به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین شاخص برداشت را به خود اختصاص دادند، که در این پژوهش موجب افزایش ۳۰ درصدی نسبت به شاهد گردید (جدول ۴). شاخص برداشت نسبتی از عملکرد بیولوژیک است که عملکرد اقتصادی را تشکیل می‌دهد و با افزایش تسهیم ماده خشک برای عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت افزایش می‌یابد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که شاخص برداشت به احتمال زیاد تحت تأثیر شرایط محیطی و مدیریتی اجرای آزمایش قرار گرفته و مناسب بودن شرایط محیطی و مدیریت مزرعه در بالاتر بودن شاخص برداشت مؤثر بوده است و این افزایش در سیستم تغذیه تلفیقی چشمگیرتر بوده است. بررسی نتایج آزمایش مشخص می‌کند که سیستم‌های تغذیه تلفیقی بیش‌ترین تأثیر بر تسهیم ماده خشک نسبت به سیستم‌های آلی و شیمیایی داشته‌اند، به‌طوری‌که افزایش تسهیم ماده خشک به بوته، برگ‌ها، ساقه و دانه، افزایش شاخص برداشت را در پی داشته است. می‌توان بیان داشت که باکتری‌های افزاینده رشد و قارچ میکوریزا با تأثیر بر تسهیم وزن خشک بوته و تخصیص ماده خشک بیش‌تر به دانه سبب افزایش شاخص برداشت شده‌اند. الکراکی و همکاران (Al-Karaki et al., 2005) و هیوینگ و همکاران (Huiying et al., 2005) تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بین تیمار عدم تلقیح و تیمارهای کودشیمیایی و کود زیستی از نظر شاخص برداشت گزارش نمود. بایستی توجه نمود که بین عملکرد اقتصادی و شاخص برداشت یک رابطه مستقیمی وجود دارد، بدین معنی که هرچقدر عملکرد دانه بیش‌تر باشد شاخص برداشت نیز بیش‌تر بوده است، یعنی نسبتی از مواد غذایی که در دانه ذخیره شده بیش‌تر بوده است.

ارتفاع بوته در این آزمایش تحت برهم‌کنش رقم در کود زیستی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). رقم کراس سبلان و تلقیح با باکتری *سودوموناس* دارای بیش‌ترین ارتفاع بوته و رقم ساجی در شاهد دارای کم‌ترین ارتفاع بوته بود که نسبت به شاهد موجب افزایش۴۱ درصدی در ارتفاع بوته گردید (جدول ۴). همانند سایر صفات ذکر شده استفاده از کود زیستی سبب افزایش ارتفاع بوته گردید. ریزجانداران حل‌کننده فسفات از طریق تولید مواد تحریک‌کننده رشد سبب افزایش رشد گیاهان به‌خصوص غلات می‌شوند و از طرفی، ارتفاع بوته صفتی است که تحت تأثیر هورمون‌های رشد به‌خصوص اکسین قرار می‌گیرد و فعال شدن این هورمون که بسته به رقم و شرایط محیطی متفاوت است، نقش بسزایی در افزایش ارتفاع گیاه دارد. از بین عناصر نیتروژن و فسفر نقش بیش‌تری در افزایش ارتفاع بوته دارند. در آزمایش راجا و همکاران (Raja et al., 2002) نیز از لحاظ ارتفاع بوته در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری بین *سودوموناس* و کود شیمیایی مشاهده گردید. در نهایت، با بررسی روند تغییرات این صفت در گیاه گندم مشخص می‌گردد، که احتمالاً تلقیح بذر با کود زیستی *سودوموناس* بیش‌ترین اثرات محرک را بر خصوصیات رشدی این گیاه داشته است. در این رابطه قابل ذکر می‌باشد که تولید انواع هورمون‌های محرک رشد گیاه نظیر اکسین، اسید جیبرلیک و اسید ایزوجیبرلیک توسط باکتری *سودوموناس* را مسئول افزایش قابل ملاحظه رشد و نمو گیاه گندم دانست. سینگ و همکاران (Singh et al., 2004) بیان داشتند باکتری‌های حل‌کننده فسفات از طریق سنتز ویتامین‌های مختلف و هورمون‌های محرک رشد نظیر اکسین، سیتوکینین و جیبرلین موجب بهبود رشد رویشی

می‌شوند. بدین ترتیب چنین به نظر می‌رسد که در این پـژوهش نیـز احتمالاً، این باکتری از طریق تولید هورمون‌های محـرک رشـد، گیـاه گندم را تحت تأثیر قرار داده که در نتیجه، باعث افزایش ویژگی‌هـای رشدی، در تیمار تلقیح با کود زیستی نسبت به تیمار عدم تلقیح است. این فرضیه با توجه به این کـه اکسـین‌هـا موجـب تقسـیمات سـلولی بیش‌تر و جیبرلین و مشتقات آن، سبب افزایش رشد طولی سـلول‌هـا به‌ویژه میان‌گره‌های ساقه می‌شوند، قابل توجیه می‌گردد. بدین ترتیب چنین به نظر می‌رسد که به‌دلیل افـزایش ارتفـاع بوتـه و هـم‌چنـین افزایش سرعت رشد گیاه، میزان تجمع ماده خشک و شاخص سـطح برگ در سیاهدانه در شرایط تلقیح با باکتری‌های حـل‌کننـده فسـفات بهبود یافته است. شالان (Shaalan, 2005) نیز نشان داد که تلقـیح بـذر سـیاهدانه بـا کودهـای بیولـوژیکی *سـودوموناس* باعـث بهبـود خصوصیات رشدی گیاه، نظیر ارتفاع گیاه شده است، که علت اصـلی این امر افزایش جذب مواد غذایی توسط گیاه بوده است. همان‌طور که سینگ و همکاران (Singh et al., 2004) اظهار کرده‌اند باکتری‌های محرک رشد از طریق سنتز آمینواسیدها و هورمون‌های محـرک رشـد نظیر اکسین، سیتوکینین و جیبرلین باعث بهبود رشد رویشی هم می-شوند. بدین ترتیب چنین به نظر می‌رسـد کـه در ایـن پـژوهش نیـز احتمالاً، این باکتری از طریق تولید محرک‌های رشـد، گیـاه گنـدم را تحت تأثیر قرار داده که در نتیجه، باعث افزایش ویژگی‌های رشـدی، در تیمار تلقیح با کود زیستی نسبت به تیمار عـدم تلقـیح اسـت. ایـن فرضیه با توجه به این که اکسین‌ها موجب تقسیمات سلولی بیش‌تر و جیبرلین و مشتقات آن، سبب افزایش رشد طولی سـلول‌هـا بـه‌ویـژه میان‌گره‌های ساقه می‌شوند، قابل توجیه می‌گردد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده، به نظر می‌رسد که تلقیح بذر گنـدم عملکرد دانه گندم دیم را افزایش داده است. هم‌چنین به نظر می‌رسد در تیمار فوق این دو نوع کود زیستی بهتـرین اثـر را قـارچ میکـوریزا داشته که در نهایت، منجر به بهبود خصوصـیات رشـدی گنـدم شـده است. بنابراین، با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش، چنین به نظر می‌آید که کاربرد کودهای محرک رشد و قارچ میکوریزا، می‌توانـد در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد دانه، بهبود خصوصیات رشدی گیاه گندم و کاهش تنش‌های آخر فصلی (خشکی و دما) که گندم دیـم بـا آن مواجه می‌گردد مؤثر باشد. نتایج این پژوهش بیانگر امکان استفاده از این قارچ در مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده که مطالعات بیش‌تر در این زمینه می‌تواند امکان استفاده عملی و گسترده آن را فراهم نمایـد. آن‌چه مشخص است در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌دلیل کم بودن و توزیع غیریکنواخت بارندگی از سالی به سال دیگر، عملکـرد سـالیانه نوسانات زیادی نشان می‌دهد. از طرف دیگر، زیاد بودن میزان تبخیر و تعرق، سبب بروز تنش خشکی در طول دوره رشد گیاهـان مـی‌شـود و استفاده از آبیاری تکمیلی با توجه به محدود بـودن منـابع آبـی دارای محدودیت می باشد، بنابراین با توجـه بـه محـدودیت آب در منـاطق خشک و نیمه‌خشک و شرایط دیم ایلام جهت دسترسی به آب آبیاری بایستی به دنبال راه‌حل جهت جایگزینی برای جبران کم‌آبی بود، که با توجه به نتایج به‌دست آمده، استفاده از باکتری‌هـای افزاینـده رشـد و به‌ویژه قارچ میکوریزا می‌تواند مفید باشند. بنابراین با توجه نتایج ایـن پژوهش گندم دوروم ساجی در تیمار قارچ میکوریزا + ۵۰ درصـد کـود شیمیایی فسفر واکنش بهتری به قارچ میکوریزا از خود نشان داد.

References

Abo-Ghalia, H.H., and Khalafallah, A.A., 2008. Responses of wheat plants associated with arbuscular mycorrhizal fungi to short-term water stress followed by recovery at three growth stages. Journal of Applied Sciences Research 4: 570-580.

Al-Karaki, G., Michael, M. C., and John Zak, B., 2004. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. Mycorrhiza 14: 263–269.

Ashraf, M., Museen-Ud-Din, M., and Warraich. N.H., 2003. Production efficiency of mung bean (*Vigna radiate* L.) as affected by seed inoculation and NPK application. International Journal of Agriculture and Biology 5 (2): 179-180.

Azadi S., Siadat A., Naseri, R., Soleymanifard A., and Mirzaei, A., 2013. Effect of integrated application of *Azotobacter chroococcum* and *Azospirillium brasilense* and nitrogen chemical fertilizers on qualitative and quantitative of durum wheat. Journal of Crop and Ecophysiology 5 (26):129-146. (In Persian with English

Summary).

Bath, S.A., Thenua O.V.S., Shivakumar, B.G., and Malik, J.K., 2005. Performance of summer green gram [*Vigna radiate* (L.) Wilczek] as influenced by biofertilizers and phosphorus nutrition. Haryana. Journal of Agronomy 21:203-205

Cardoso, I.M., and Kuyper, T.W., 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. Agriculture, Ecosystem and Envirenment 116: 72-84.

Daneshmand, A.R., Shirani-Rad, A.H., Nourmohammadi, Gh., Zareei, Gh., and Daneshian, J., 2008. Effect of irrigation regimes and nitrogen levels on seed yield and seed quality of two rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. Iranian Journal of Crop Science 10: 244-261. (In Persian with English Summary).

Hamidi, A., Chaokan, R., Asgharzadeh, A., Dehghanshoar, M., Ghalavand, A., and Malakouti, M.J., 2009. Effect of plant growth promoting rhizobateria (PGPR) on phonology of late maturity maize (*Zea mays* L.) cultivars. Iranian Journal of Crop Science 11 (3): 249-270. (In Persian with English Summary).

Huiying, L., 2005. Role of mycorrhiza symbiosis in growth and phosphorus nutrition of wheat. The University of Adelaide 99 180.

Kanwal, S., Bano, A., and Naseem Mal R., 2015. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on wheat growth, physiology, nutrition and cadmium uptake under increasing cadmium stress. International Journal of Agronomy and Agricultural Research 7 (5): 30-42.

Marius, S., Octavita, A., Eugen, U., and Vlad, A., 2005. Study of a microbial inoculation on several biochemical indices in sunflower (*Helianthus anuus* L.). Analele tiinifice ale Universitii"Alexandru Ioan Cuza", Genetici Biologie Molecular, TOM V.

Mertnese, T., and Hess, D., 2004. Yield increase in spring wheat inoculated with Azospirillium under greenhouse and field condition of a temperate region. Plant and Soil 82: 87-99.

Moradi, M., Siadat, A., Khavazi, K., Naseri, R., Maleki, A., and Mirzaei, A., 2011. Effect of application of bio-fertilizer and phosphorous fertilizers on quantities and qualitative traits of spring wheat. Journal of Crop and Weed Ecophysiology 5 (18): 51-66. (In Persian with English Summary).

Naseri, R., Soleymanifard, A., Mahmodian, L., and Nazrbegi, E., 2010. The effect of drought stress at different growth stages on seed yield and some agronomic traits of four rapeseed cultivars. National Congress of New Findings in Oilseed Crops Production 26-27Jun. (In Persian with English Summary).

Naseri, R., Soleymanifard, A., and Soleymani, R., 2010. Yield and yield components dry land cultivars as influenced by supplementary irrigation at different growth stages. American-Eurasian Journal Agriculture and Envirnmental Science 7 (6): 684-688.

Raja, A.R., Shah, K.H., Aslam, M., and Memon, M.Y., 2002. Respons of phosphobacterial and mycorrhizal inoculation in wheat. Asian Journal of Plant Science 4: 322-323.

Rashid, M., khalili, S., Ayub, N., Alam S., and Latif, F., 2004. Organic acids production solubilizing by phosphate solubilizing microorganisms (PSM) under in vitro condition. Pakistan Journal of Biological Science 7: 187-196.

Ravari, V., and Hum, D.J., 2003. Performance of a superior *Bradyrhizobium japonicum* and selected Sinorhizum ferdii strain with soybean cultivar. Agronomy Journal 84: 1051-1056.

Rodriguze, H., and Fraga, R., 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their rol in plant growth promotion. Biothecnology Advances 17: 319-339.

Sepehri, M., Saleh Rastin, N., Hosseini Salekdeh, G., and Khayam Nekoe, M., 2009. Effect of endophytic fungus, *Piriformospora indica*, on growth and resistance of *Hordeum vulgare* L. to salinity stress. Journal of Rangeland 3 (3): 508-518.

Shaalan, M.N., 2005. Influence of biofertilizers and chicken manure on growth, yield and seeds quality of (*Nigella sativa* L.) plants. Egyptian Journal of Agricultural Sciences 83: 811-828.

Sharma, A.K., 2002. Biofertilizers for sustainable agriculture. 1sd edition. Jodhpur: agrobios, Indian 456p.

Shehata, M.M., and EL-Khawas, S.A., 2003. Effect of two biofertilizers on growth parameters, yield characters, nitrogenous components, nucleic acids content, minerals, oil content, protein profiles and DNA banding pattern of sunflower yield. Pakistan Journal of Biological Sciences 6: 1257-1268.

Singh. R., Behl, R.K., Singh, K.P., Jain, P., and Narula, N., 2004. Performance and gene effects for wheat yield under inoculation of arbuscular mycorrhiza fungi and *Azotobacter chroococcum*. Haryana Agricultural University. Hisar, India. Plant Soil Environ 50 (9): 409-415.

Soleymanifard, A., and Naseri, R., 2014. The Effects of urea fertilizer and *Azotobacter* and *Azospirillum* on physiological charactestis of maize (*Zea mays* L.) at Khash, Iran. Journal of Crop and Ecophysiology 8 (3):301-316. (In Persian with English Summary).

Soleymanifard, A., Naserirad, H., Naseri, R., and Piri, I., 2013. Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on phonology traits, grain yield and associated traits of maize (*Zea mays* L.) hybrids. Journal of Crop and Ecophysiology 1 (25):71-91. (In Persian with English Summary).

Soleimanzadeh, H., Habibi, D., Ardakani, M.R., Paknejad, F., and Rejali, F., 2010. Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to inoculation with *Azotobacter* under different nitrogen levels. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environment 7 (3): 265-268.

Song, H., 2005. Effects of VAM on host plant in condition of drought stress and its mechanisms .Electronic Journal of Biology 1 (3): 44-48.

Tang, M., Chen, H., Huang, J.C., and Tian, Z.Q., 2009. AM fungi effects on the growth and physiology of *Zea mays* L. seedlings under diesel stress. *S*oil Biochemistry 41: 936–940.

Tanwar, S.P.S., Sharma, G.L., and Chahar, M.S., 2002. Effects of phosphorus abd biofertilizers on growth and productivity of black gram. Annuals of Agricultural Research 23 (3): 491-493.

Wu, S.C., Caob, Z.H., Lib, Z.G., Cheunga, K.C., and Wong, M.H., 2005. Effects of bio-fertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. Geoderma 125: 155–166.

Wu, Q.S., and Xia, R.X., 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. Journal of Plant Physiology 163 (4): 417-425.

Yasari, E., and Patwardhan, A.M., 2007. Effects of *Aztobacter* and *Azospirillium* inoculations and chemical fertilizers on growth and productivity of canola. Asian Jouranl of Plant Science 6 (1): 77-82.

Zahir, A.Z., Abbas, S.A., Khalid, A., and Arshad, M., 2000. Substrate dependent microbially derived plant hormones for improving growth of maize seedlings. Pakistan Journal of Biological Sciences 3:289-291.

Zaidi, A., and Khan, M.S., 2006. Co-inoculation effects of phosphate solubilizing microorganisms and *Glomus fasciculatum* on green gram-*bradyrhizobium* symbiosis. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 30: 223-230.

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

Research Article
Vol. 14, No. 1, Spring 2022, p. 35-51

Elimination of Irrigation Restriction in Spring Corn(*Zea mays*) Planting by Relay-Intercropping with Canola(*Brassica napus* L.)

A. Koocheki[1*], G.A. Asadi[2], B. Bicharanlou[3] and M. Bagheri Shirvan[4]

Received: 22-07-2016
Revised: 15-12-2016
Accepted: 19-01-2017
Available Online: 15-06-2022

How to cite this article:
Koocheki, A., Asadi, G.A., Bicharanlou, B., and Bagheri Shirvan, M., 2022. Elimination of irrigation restriction in spring corn (*Zea mays*) planting by relay-intercropping with canola (*Brassica napus* L.). Journal of Agroecology 14(1):35-51.
DOI:10.22067/jag.v1i1.57699

Introduction

Water shortage in spring for the cultivation of summer crops is a challenge for farmers in most parts of the country due to the fact that cultivation of these crops coincides with the one or two last irrigations needed for cereals during the critical stage of grain filling. Corn, sugar beet, and other summer crops are cultivated during such periods, and hence water allocation is normally problematic during this period. Relay cropping has been considered as a method to overcome such problems. Furthermore, overseeding of one crop to the stand of another crop in the last stage of development of the second crop (relay intercropping) has been considered as energy-saving and efficient resource use method. The aim of the present work was to investigate the possibility of relay intercropping of corn and canola in order to save water and hence overcome water shortage effects in early spring for summer crops.

Materials and Methods

In order to evaluate the possibility of relay intercropping of corn and canola, an experiment was conducted 10 kilometers west of Shirvan in two growing seasons of 2012-13 and 2013-14. The experiment was conducted as a randomized complete block design with six treatments and three replications. Treatments included four relay sowing rates of canola and corn (3 rows of canola: 1-row corn, three rows canola: 2-row corn, four rows canola: 2-row corn, six rows canola: 2-row corn), pure stands of canola and corn. Corn seeds were planted between canola rows at the end of the canola growth period to use the latest irrigation of canola for corn germination and emergence. A drip irrigation system was installed, and the amount of water used was measured. All field management operations, including irrigation, fertilizer application, and others, were practiced as the conventional farmers normally conduct. After crop ripening, necessary samples were taken, and finally, LER was calculated for comparison of the treatments.

Results and discussion

Analysis Variance of the data showed that the highest 1000-seed weight of canola (3.63 gr) and corn (221.69 gr) were obtained in 4:2 and 3:1 treatments, respectively. This was 3.35 gr for the pure stand of canola and 218.5 gr for the pure stand of corn. Economic and biological yields for both crops of canola and corn were highest in

1 and 2- Professor in Agroecology and Associate Professor in Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.
3 and 4- Ph.D. Agroecology student and Ph.D. Crop ecology student, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.
* Corresponding author: akooch@um.ac.ir

pure stands (2502.5, 9763.5 kg/ha for canola and 6207.6, 15769.2 kg/ha for corn, respectively). The highest seed yield of corn was obtained in 2-row corn and 3-row wheat, but in research, by Adeniyan et al. (2007), the highest seed yield was obtained in pure stand. Harvest index of canola was 26.03 in 3:2 ratio indicating no significant difference with other treatments. The maximum harvest index of corn (40.53%) was observed in the 3:1 ratio. In an experiment by Nassiri Mahallati et al. (2011), the harvest index of corn and wheat was highest in pure stands, but the highest harvest index of canola was found in 4-row canola with wheat cultivation. The highest total LER (1.11) was obtained in 3:1, followed by the 6:2 ratio (1.016). The total water used for the pure stand of canola was 3750 m^3/ha, whereas it was 9081 m^3/ha for corn. If corn was planted after canola, total water use had been 12831 m^3/ha, whereas when they were relay intercropped, water consumption was 10915 m^3/ha, saving 1916 m^3/ha of water. Zarehaghi et al. (2016) also reported that water consumption in intercropped treatments of corn and bean was less than in pure cultures of these crops.

Conclusion

The highest seed yield of both plants was obtained in pure stand. Between different intercropping ratios of canola and maize, the maximum land equivalent ratio that was more than one (1.11 and 1.016) was observed in 3:1 and 6:2 treatments, respectively. The amount of water saved by relay intercropping of these crops was 1916 m^3/ha, which is a considerable amount of water.

Keywords: Biological yield, Harvest index, LER, Yield, Yield components.

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

مقاله پژوهشی

رفع محدودیت آبیاری بهاره در کاشت ذرت(*Zea mays*) با استفاده از کشت مخلوط تأخیری با کلزا(*Brassica napus* L.)

علیرضا کوچکی[1]*، قربانعلی اسدی[2]، بهاره بیچرانلو[3] و میلاد باقری شیروان[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۰۹/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۰۳

کوچکی، ع.، اسدی، ق.ع.، بیچرانلو، ب.، و باقری شیروان، م.، ۱۴۰۱. رفع محدودیت آبیاری بهاره در کاشت ذرت(*Zea mays*) با استفاده از کشت مخلوط تأخیری با کلزا(*Brassica napus* L.). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۱): ۵۱-۳۵.

چکیده

محدودیت آب آبیاری در بهار برای کشت محصولات تابستانه چالشی است که کشاورزان در اکثر مناطق ایران از جمله استان خراسان شمالی با آن مواجه هستند. دلیل این مسئله، تداخل آبیاری در هنگام کاشت محصولات بهاره با یک یا دو نوبت آبیاری نهایی غلات که در مرحله بحرانی پر شدن دانه هستند، می‌باشد. به‌منظور امکان‌سنجی کشت ذرت(*Zea mays*) و کلزا(*Brassica napus* L.) به‌روش تأخیری جهت رفع محدودیت آب، آزمایشی در مزرعه‌ای واقع در ۱۰ کیلومتری غرب شهرستان شیروان در دو سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ اجرا گردید. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار و سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار نسبت مختلف کشت مخلوط تأخیری کلزا و ذرت (سه ردیف کلزا + یک ردیف ذرت (۳:۱)، سه ردیف کلزا + دو ردیف ذرت (۳:۲)، چهار ردیف کلزا + دو ردیف ذرت (۴:۲) و شش ردیف کلزا + دو ردیف ذرت (۶:۲)) و همچنین کشت خالص کلزا و ذرت بود. نتایج نشان داد بیشترین عملکرد دانه کلزا در نسبت اختلاط ۳:۱ (به‌ترتیب ۲۱۲۶/۸ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین عملکرد دانه ذرت نیز در کشت خالص (۶۲۰۷/۶ کیلوگرم در هکتار) و سپس به‌ترتیب در نسبت‌های ۳:۲ و ۴:۲ بود. در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، کشت ۳:۱ و پس از آن ۶:۲ که دارای نسبت برابری زمین بالاتر از واحد بودند، بیشترین مقدار LER (به‌ترتیب ۱/۱۱۴ و ۱/۰۱۶) را به خود اختصاص دادند که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط می‌باشد. میزان آب مصرفی در کشت خالص کلزا ۳۷۵۰ متر مکعب در هکتار و در کشت خالص ذرت ۹۰۸۱ مترمکعب در هکتار بود. چنانچه ذرت پس از برداشت کلزا کشت گردد، کل آب مصرفی ۱۲۸۳۱ متر مکعب خواهد بود. در حالی‌که کل آب مصرفی در کشت مخلوط کلزا و ذرت ۱۰۹۱۵ متر مکعب بود و مقدار ۱۹۱۶ متر مکعب در مصرف آب صرفه‌جویی شد.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، شاخص برداشت، عملکرد، عملکرد بیولوژیک، نسبت برابری زمین

مقدمه

محدودیت آب آبیاری در بهار در اکثر مناطق ایران از جمله استان خراسان شمالی یکی از مشکلات مهمی است که در سال‌های اخیر اغلب کشاورزان منطقه با آن مواجه هستند. ذرت (*Zea mays* L.) یکی از محصولاتی است که به‌طور متداول در منطقه بعد از برداشت کلزا (*Brassica napus* L.) و گندم (*Triticum aestivum* L.) کشت شده و جایگاه ویژه‌ای در تأمین غذای دام، طیور، مصارف دارویی و غذایی دارد (Nassiri Mahallati et al., 2011 ; Nakhjavanimoghadam et al., 2011). کلزا نیز یکی از مهم‌ترین

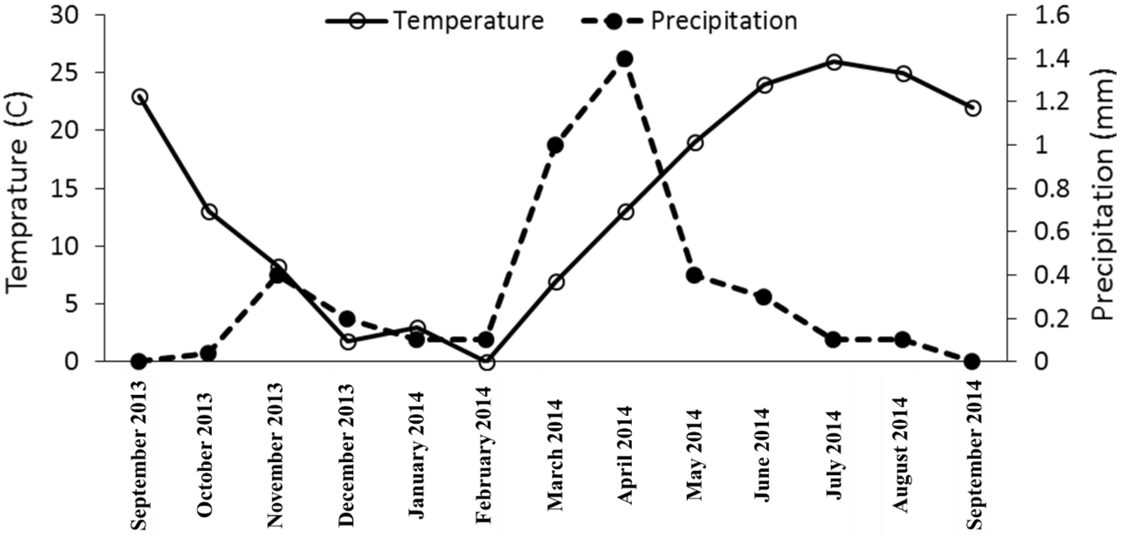
۱ و ۲- به‌ترتیب استاد و دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۳ و ۴- به‌ترتیب دانشجوی دکترای اگرواکولوژی و دانشجوی دکترای اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: akooch@um.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v1i1.57699

دانه‌های روغنی است که در مناطقی با زمستان سرد و معتدل مانند خراسان شمالی به‌صورت پاییزه کشت می‌گردد (Koocheki et al., 2014a). امّا مشکل دیگری که کشاورزان در اجرای این توالی (گندم و کلزا با ذرت) با آن مواجه هستند، علاوه‌بر محدودیت آب آبیاری، زمان‌بر بودن آماده‌سازی زمین جهت کاشت ذرت بعد از برداشت گندم یا کلزا می‌باشد که این تأخیر درکاشت گاهی سبب وقوع سرمازدگی ذرت در اوایل پاییز و به‌عبارتی در انتهای دوره رشد ذرت می‌شود. برای حل این مشکلات یکی از راه‌هایی که به نظر می‌رسد مفید واقع گردد، طراحی کشت‌های مخلوط تأخیری محصولات پاییزه و بهاره می‌باشد که ضمن استفاده بهینه از منابع، سبب افزایش عملکرد نسبت به کشت خالص و افزایش تنوع محصول می‌گردد (Koocheki et al., 2014a; Nassiri Mahallati et al., 2011). همچنین به‌دلیل عدم نیاز به آماده‌سازی زمین، علاوه‌بر صرفه‌جویی در وقت و سوخت، با کاهش رفت و آمد ماشین‌آلات در زمین، از فشردگی خاک نیز جلوگیری می‌شود.

کشت مخلوط تأخیری یکی از انواع کشت مخلوط است که در آن، دو گیاه به‌صورت متوالی در یک قطعه زمین کشت می‌شوند، به‌طوری‌که قبل از برداشت یک گیاه، گیاه دوم بین ردیف‌های گیاه اول کشت می‌گردد (Van Der Meer, 1989)، از زمان کشت گیاه دوم تا برداشت گیاه اول، هر دو گیاه با یکدیگر رشد کرده و برای نور، آب و مواد غذایی رقابت می‌نمایند. پس از برداشت گیاه اول، فضا به‌طور کامل در دسترس گیاه دوم قرار گرفته و از خلاء به‌وجود آمده پس از برداشت گیاه اول، کانوپی گیاه دوم توسعه می‌یابد (Zhang et al., 2008b). بنابراین، به‌دلیل رشد اجزای مخلوط در دو زمان به نسبت متفاوت، کارایی جذب و مصرف نهاده‌ها بهبود می‌یابد (Koocheki et al., 2012). چنان که کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2012) بیشترین کارایی مصرف نیتروژن را در مخلوط تأخیری گندم و ذرت با نسبت سه ردیف گندم+ دو ردیف ذرت و نصیری و همکاران (Nassiri Mahallati et al., 2010) نیز بالاترین کارایی مصرف نور را در مخلوط ۲: ۳ (ذرت: گندم) گزارش کردند که در هر دو پژوهش کارایی‌های ذکر شده در تمامی نسبت‌های اختلاط بالاتر از خالص بوده است. در خصوص کارایی مصرف و بهره‌وری آب نیز کشت مخلوط تأخیری کلزا با لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) و ذرت موفقیت‌آمیز بوده و علاوه‌بر بالا بودن نسبت برابری زمین، کارایی مصرف آب در تیمارهای مخلوط بالاتر از خالص بوده است (Koocheki et al., 2014b). در واقع، کشت مخلوط تأخیری امکان توزیع مناسب زمانی و مکانی منابع را برای استفاده بهینه دو گیاه فراهم می‌آورد (Koocheki et al., 2012). در این حالت به‌منظور سبز شدن و استقرار گیاه دوم از آخرین آبیاری گیاه اول استفاده می‌شود. از این رو، توجه برخی پژوهشگران به بررسی این موضوع معطوف شده است. کشت مخلوط تأخیری گندم زمستانه و ذرت (Koocheki et al., 2012; Nassiri Mahallati et al., 2010)، گندم زمستانه و پنبه (*Gossypium hirsotum* L.) (Zhang et al., 2008a)، چند کشتی تأخیری کلزا با لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) و ذرت (Najibnia et al., 2014) و همچنین ماشک برگ درشت (*Vicia narbonensis* L.) و تریتیکاله (X Triticosecale witmack) (Azizi et al., 2014) نمونه‌ای از تلاش محققان در این زمینه است. از این‌رو، به نظر می‌رسد کشت مخلوط تأخیری کلزا و ذرت راهکار مناسبی به‌منظور رفع مشکلات ناشی از کشت این دو گیاه در منطقه باشد. بر این اساس، مطالعه حاضر با هدف استفاده از آبیاری نهایی کلزا جهت سبز شدن و استقرار ذرت در بین ردیف‌های کلزا، جهت صرفه‌جویی در مصرف آب طراحی و اجرا گردید.

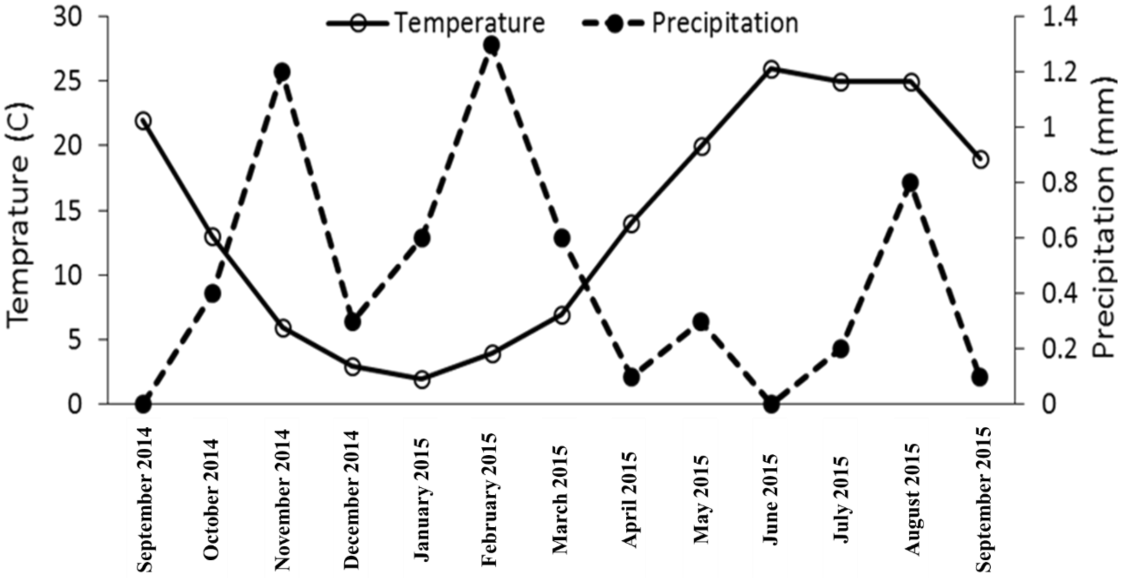
مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه‌ای واقع در ۱۰ کیلومتری غرب شهرستان شیروان (با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۰۷۵ متر از سطح دریا) در دو سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ اجرا گردید. میانگین ماهیانه دما و بارندگی در شکل‌های ۱ و ۲ و برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. همچنین میانگین دراز مدت میزان بارش سالیانه ۲۷۹ میلی‌متر و میانگین دما ۱۲/۷ درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۱- منحنی دما-بارش (میانگین ماهیانه) برای منطقه شیروان در ۹۳-۱۳۹۲ (اطلاعات هواشناسی)

Fig. 1- Temprature-precipitation curve (monthly mean) for Shirvan area in 2013-14



شکل ۲- منحنی دما-بارش (میانگین ماهیانه) برای منطقه شیروان در ۹٤-۱۳۹۳ (اطلاعات هواشناسی)

Fig. 2. Temprature-precipitation curve (monthly mean) for Shirvan area in 2014-15

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

Table 1- Some of soil physical and chemical characteristics

بافت Texture	پتاسیم قابل جذب Absorbable potassium ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن کل Total Nitrogen (%)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	جرم مخصوص ظاهری ρb
رسی Clay	290	26.3	0.15	2.25	7.8	1.44

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار و سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش در هر دو سال یکسان و شامل چهار نسبت مختلف کشت مخلوط تأخیری کلزا و ذرت به‌صورت سه ردیف کلزا + یک ردیف ذرت (۳:۱)، سه ردیف کلزا + دو ردیف ذرت

(۳:۲)، چهار ردیف کلزا + دو ردیف ذرت (۴:۲) و شش ردیف کلزا + دو ردیف ذرت (۶:۲) و همچنین کشت خالص کلزا و ذرت بود. کرت‌های آزمایشی به مساحت ۲۰ مترمربع، شامل ۱۰ ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر و طول چهار متر بود. به‌منظور کاهش اثرات تیمارها بر یکدیگر، بین هر کرت ۱/۵ متر و بین بلوک‌ها ۲/۵ متر فاصله در نظر گرفته شد.

کلزا، رقم اکاپی، در سال اول در پنجم مهر و در سال دوم در اول مهر بر روی نوارهای مربوط به این گیاه کشت گردید. به‌منظور دستیابی به فاصله روی ردیف پنج سانتی‌متر، گیاهان قبل از رسیدن به مرحله سه تا چهار برگی تنک شدند. ذرت، سینگل کراس ۷۰۴ در هر دو سال آزمایش در اول خرداد بر روی ردیف‌هایی که از پیش برای این گیاه مشخص شده بود، کشت گردید. در خصوص هر دو گیاه آبیاری بلافاصله پس از کاشت و توسط سیستم قطره‌ای انجام گرفت. به‌منظور تعیین میزان آب مصرفی هر کرت، از کنتور حجمی استفاده گردید. تاریخ کاشت ذرت به نحوی انتخاب شد که دومین آبیاری ذرت که یک هفته پس از آبیاری اول انجام گرفت با آخرین آبیاری کلزا (زمانی که ۲۰ درصد غلاف‌های ساقه اصلی قهوه‌ای شده بودند) انطباق داشته و بوته‌های ذرت استقرار خوبی داشته باشند. بذرهای ذرت به‌صورت کپه‌ای کشت گردید و سپس به‌منظور رسیدن به فاصله ۲۰ سانتی‌متر روی ردیف، گیاهان قبل از رسیدن به مرحله چهار تا شش برگی تنک شدند. در طول آزمایش در هر دو سال، در صورت نیاز، عملیات مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام گرفت و در طول فصل رشد از هیچ گونه کود و سم شیمیایی استفاده نشد. در هر دو سال آزمایش، گیاه کلزا در تمام تیمارهای آزمایش همزمان با رسیدگی ۸۵ تا ۹۰ درصد دانه‌ها در غلاف‌های ساقه اصلی و شاخه‌های اولیه در تاریخ ۳۰ خرداد برداشت گردید. ذرت نیز در ۲۰ مهر در سال اول و ۲۵ مهر در سال دوم همزمان با رسیدگی فیزیولوژیک برداشت گردید. برداشت گیاهان در تیمارهای خالص و مخلوط از هشت ردیف میانی هر کرت با طول یک متر روی ردیف (در وسط هر ردیف) انجام گرفت (مساحتی معادل چهار مترمربع) و عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت محاسبه گردید. به‌منظور اندازه‌گیری اجزای عملکرد هر یک از گیاهان، تعداد پنج بوته از مساحت برداشت شده به‌عنوان نمونه انتخاب شد و صفات تعداد شاخه در بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، وزن دانه در بوته و وزن خشک اندام هوایی هر بوته برای کلزا و صفات تعداد برگ، تعداد بلال در بوته، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در بلال، وزن صد دانه، وزن دانه در بوته و وزن خشک اندام هوایی هر بوته در ذرت اندازه‌گیری شد. قبل از برداشت گیاهان، ارتفاع پنج بوته از هر گیاه اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها به‌عنوان ارتفاع بوته لحاظ گردید.

به‌منظور بررسی سودمندی کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی از نسبت برابری زمین (LER) استفاده شد (معادله ۱).

$$LER = (Y_{Ci}/Y_C) + (Y_{Mi}/Y_M) \quad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله، Y_{Ci} و Y_C: به‌ترتیب عملکرد کلزا در کشت مخلوط و کشت خالص و Y_{Mi} و Y_M: به‌ترتیب عملکرد ذرت در کشت مخلوط و تک‌کشتی می‌باشد. در صورتی که حاصل معادله ۱ بزرگ‌تر از یک باشد، نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط و درصورتی‌که کمتر از یک باشد، بیانگر عدم موفقیت کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص است (Mead & Willey, 1980).

تجزیه داده‌ها به‌صورت تجزیه مرکب و با استفاده از نرم‌افزار SAS (ver. 9.2) و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد کلزا

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در دو سال آزمایش در جدول ۲ آورده شده است. نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر سال بر کلیه صفات مورد بررسی کلزا به غیر از ارتفاع گیاه معنی‌دار ($p\leq ۰/۰۱$) بود، امّا اثر متقابل سال و نسبت‌های کشت مخلوط در هیچ یک از صفات مورد مطالعه در کلزا معنی‌دار نشد که نشان‌دهنده این است که تیمارهای آزمایش تحت تأثیر اثر سال قرار نگرفته‌اند. در خصوص معنی‌دار شدن اثر سال می‌توان چنین بیان نمود که عملکرد در سال‌-های مختلف تحت تأثیر تغییراتی که در شرایط محیطی، آب و هوایی و خسارات آفات رخ می‌دهد، می‌تواند متغیر باشد. اثر نسبت‌های کشت مخلوط نیز روی ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد خورجین در بوته، وزن هزار دانه، وزن خشک اندام هوایی، عملکرد دانه و عملکرد زیستی در سطح یک درصد ($p\leq ۰/۰۱$) معنی‌دار بود، امّا تعداد دانه در خورجین وزن دانه در بوته و شاخص برداشت تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط قرار نگرفتند (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده در کلزا در الگوهای مختلف کشت مخلوط تأخیری با ذرت در سال‌های ۹۳-۱۳۹۲ و ۹٤-۱۳۹۳

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of canola measured traits in different patterns of relay intercropping with corn in 2013-14 and 2014-15

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن دانه در بوته Seed weight.plant^{-1}	وزن هزار دانه 1000-seed weight	تعداد دانه در خورجین Seed number. pod^{-1}	تعداد خورجین در بوته Pod number.plant^{-1}	تعداد شاخه در بوته Branch number.plant^{-1}	ارتفاع بوته Plant height	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد زیستی Biological yield	عملکرد دانه Seed yield
سال Year	1	291.3854**	103.1015**	21.0840**	450.623**	7956.68**	3.9385**	0.9875$^{n.s.}$	142.8723**	64867990**	8898829.3**
خطای سال Year error	4	0.4195	0.8286	0.0502	20.1183	127.1427	0.9427	15.7987	3.1061	161631.9	59766
نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios	4	8.5809**	0.6880$^{n.s.}$	0.6589**	3.0802$^{n.s.}$	3088.28**	15.2726**	106.04**	1.8844$^{n.s.}$	12555853**	733212.7**
سال× نسبت‌های کشت Year*intercropping ratios	4	0.7110$^{n.s.}$	0.0843$^{n.s.}$	0.0437$^{n.s.}$	0.5538$^{n.s.}$	9.2887$^{n.s.}$	1.1517$^{n.s.}$	0.2404$^{n.s.}$	1.5642$^{n.s.}$	728185.6$^{n.s.}$	56060$^{n.s.}$
خطا Error	16	2.4224	0.6879	0.0940	10.5208	40.8854	0.4203	15.8885	2.5567	405633.2	61738.5
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	7.874	12.144	9.678	10.518	6.021	6.597	4.624	6.329	8.137	12.381

*، ** و n.s.؛ به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطوح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری.

*, ** and n.s.: are significant at 5% and 1% levels of probability and not significant, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در کلزا در الگوهای مختلف کشت مخلوط تأخیری با ذرت در سال‌های ۹۳-۹۲ و ۹٤-۹۳

Table 3- Mean comparison of measured traits of canola in different patterns of relay intercropping with corn in 2013-14 and 2014-15

تیمارهای ازمایش treatments	وزن خشک اندام هوایی در بوته Shoot dry weight.plant^{-1} (g)	وزن دانه در بوته Seed weight.plant^{-1} (g)	وزن هزار دانه 1000-seed weigh (g)	تعداد دانه در خورجین Seed number.pod^{-1}	تعداد خورجین در بوته Pod number.plant^{-1}	تعداد شاخه در بوته Branch number.plant^{-1}	ارتفاع Height (cm)	شاخص برداشت Harvest index (%)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})
سال (Year)										
سال اول (۹۳-۱۳۹۲) First year (2013-14)	22.88	8.68	4.01	26.96	122.4	10.19	86.37	27.44	9296.8	2551.3
سال دوم (۹۴-۱۳۹۳) Second year (2014-15)	16.64	4.97	2.33	34.71	89.91	9.46	86.01	23.07	6355.8	1462.0
LSD	0.66	0.92	0.23	4.55	11.43	0.98	4.03	1.79	407.58	247.84
نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios										
۳ ردیف کلزا: ۱ ردیف ذرت (3 rows of canola: 1 rows of corn)	21.30	7.08	2.95	31.21	107.0	11.29	91.14	24.45	8517.2	2126.8
۳ ردیف کلزا: ۲ ردیف ذرت (3 canola rows of: 2 rows of corn)	19.12	6.85	2.79	31.57	130.6	10.56	90.32	26.03	6234.5	1645.7
۴ ردیف کلزا: ۲ ردیف ذرت (4 rows of canola: 2 rows of corn)	20.32	7.07	3.63	30.43	105.2	9.47	82.53	25.33	6576.9	1697.9
۶ ردیف کلزا: ۲ ردیف ذرت (6 rows of canola: 2 rows of corn)	19.92	6.86	3.11	31.17	118.1	10.57	84.22	25.21	8039.4	2060.8
کشت خالص کلزا (Canola pure culture)	18.15	6.25	3.35	29.79	69.91	7.22	82.74	25.26	9763.5	2502.5
LSD 0.05	1.9	1.02	0.38	3.97	7.83	0.79	4.88	1.96	779.51	304.11

بررسی مقایسه میانگین صفات (جدول ۳) حاکی از این بود که مقادیر کلیه صفات مورد بررسی در سال اول بیشتر از سال دوم بود، به‌جز ارتفاع گیاه و تعداد شاخه در بوته که در دو سال تفاوت معنی‌داری نشان نداد و تعداد دانه در خورجین که در سال اول کمتر بود. ارتفاع گیاه و تعداد شاخه‌های جانبی در اثر تغییر تراکم و آرایش کاشت و در نتیجه، تغییر فضا و نور دریافتی ممکن است متغیر باشد که در دو سال تفاوتی مشاهده نشد که نشان‌دهنده یکسان بودن آرایش کاشت و رعایت تراکم مطلوب در هر دو سال است. دلیل بیشتر بودن مقادیر سایر صفات در کلزا در سال اول نسبت به سال دوم می‌تواند در نتیجه تغییر در شرایط محیطی بین دو سال از جمله دما و بارش باشد که در شکل‌های ۱ و ۲، این تفاوت مشخص است. از سوی دیگر، در سال دوم، کلزا مورد حمله شته‌ها قرار گرفت و چون در این آزمایش تصمیم بر عدم استفاده از سموم شیمیایی بود، از سمپاشی خودداری گردید که سبب افت عملکرد در سال دوم نسبت به سال اول گردید.

ارتفاع بوته کلزا در نسبت‌های ۳:۱ و ۳:۲ بیش از سایر نسبت‌های کشت مخلوط بود و بین سایر نسبت‌های کشت مخلوط اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). تعداد شاخه در بوته و وزن خشک اندام هوایی، نیز در نسبت ۳:۱ بیشترین مقادیر را نشان دادند که از نظر آماری فاقد اختلاف معنی‌دار با نسبت‌های ۳:۲ و ۶:۲ بود. کمترین تعداد شاخه در بوته و وزن خشک اندام هوایی در کشت خالص کلزا مشاهده شد. دلیل این مسئله می‌تواند بیشتر بودن فضا جهت توسعه شاخه‌ها در نسبت‌های اختلاط با ذرت که در طول فصل رشد به‌دلیل تأخیری بودن کشت مخلوط و عدم حضور ذرت، برای کلزا قابل استفاده بوده است، باشد. امّا در کشت خالص کلزا که فضای خالی موجود نیست، نفوذ نور به داخل کانوپی کم و افزایش غالبیت انتهایی سبب کاهش تعداد شاخه فرعی می‌شود (Amirmardfar et al., 2015). تعداد خورجین در بوته در نسبت اختلاط ۳:۲ بیشترین تعداد (۱۳۰/۶) و در کشت خالص کمترین مقدار را نشان داد که دلیل این مسئله می‌تواند رقابت درون گونه‌ای در کشت خالص و نفوذ بهتر نور در نسبت اختلاط ۳:۲ باشد. در بررسی کشت مخلوط کلزا و نخود نیز، بیشترین تعداد خورجین در بوته در نسبت کاشت ۵۰:۵۰ و کمترین تعداد دانه در خورجین در کشت خالص کلزا گزارش شد (Namdari & Mahmoudi, 2013). در خصوص تعداد دانه در خورجین در این آزمایش بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. امّا نیک نژاد و همکاران (Niknezhad et al., 2009) در بررسی کشت مخلوط تأخیری کلزا بعد از برنج، بیشترین تعداد دانه در خورجین در تاریخ کاشت‌های ۱۵ و ۱۰ روز قبل از برداشت برنج مشاهده شد و با تأخیر در کاشت، تعداد دانه در خورجین نیز کاهش نشان داد. این در حالی است که در کشت مخلوط کلزا و گندم، بیشترین تعداد خورجین در بوته در کشت خالص آن مشاهده شد و تیمارهای کشت مخلوط دوردیفه و سه ردیفه گندم-کلزا کمترین مقدار این صفت را دارا بودند (Zulfiqar et al., 2000).

بیشترین وزن هزار دانه کلزا (۳/۶۳ گرم) در آرایش کاشت ۴:۲ مشاهده شد که فاقد اختلاف معنی‌دار با کشت خالص کلزا و نسبت ۶:۲ بود. کمترین مقدار وزن هزار دانه کلزا در آرایش‌های ۳:۱ و ۳:۲ (به‌ترتیب ۲/۹۵ و ۲/۷۹ گرم) مشاهده شد که فاقد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر بودند که به نظر می‌رسد افزایش تعداد خورجین در بوته سبب کاهش وزن هزار دانه در این نسبت کشت شده باشد که دلیل این امر را می‌توان به کاهش فرآورده‌های فتوسنتزی اختصاص یافته در نتیجه تعدد مخازن دانست. نامداری و محمودی (Namdari & Mahmoudi, 2013) در بررسی کشت مخلوط کلزا و نخود گزارش کردند که کشت خالص کلزا و نسبت کاشت ۲۵: ۷۵ (نخود: کلزا) به‌ترتیب با میانگین ۴/۹ و ۳/۹ گرم بیشترین وزن هزار دانه و نسبت کاشت ۵۰:۵۰ (نخود: کلزا) با میانگین ۳/۳ گرم کمترین وزن هزار دانه کلزا را نشان دادند که البته بین نسبت ۵۰:۵۰ و ۲۵: ۷۵ به لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. وزن دانه در بوته تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط قرار نگرفت، به‌طوری‌که اختلافی بین نسبت‌ها در خصوص وزن دانه در بوته مشاهده نشد.

بیشترین عملکرد دانه و عملکرد زیستی کلزا متعلق به کشت خالص آن (به‌ترتیب ۲۵۰۲/۵ و ۹۷۶۳/۵ کیلوگرم در هکتار) و در بین الگوهای کشت مخلوط بیشترین عملکرد دانه و عملکرد زیستی کلزا در نسبت اختلاط ۳:۱ (به‌ترتیب ۲۱۲۶/۸ و ۸۵۱۷/۲ کیلوگرم در هکتار) بود که فاقد اختلاف معنی‌دار با نسبت ۶:۲ بودند (جدول ۳). دلیل بالاتر بودن عملکرد زیستی را در کشت خالص می توان به بالاتر بودن رقابت بین گیاهان و افزایش رشد رویشی جهت جذب بهتر نور نسبت داد و دلیل پایین بودن عملکرد گونه‌ها در مخلوط نسبت به خالص، تراکم هر گیاه می‌باشد که در خالص نسبت به

تیمارهای مخلوط جایگزینی بیشتر است. چنان که در پژوهش کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014a) که روی کشت مخلوط گندم و کلزا انجام شد نیز بیشترین عملکرد دانه کلزا در کشت خالص مشاهده شد و در بین الگوهای کشت مخلوط بیشترین عملکرد دانه کلزا در تیمار سه ردیفی کلزا: گندم گزارش شد. در کشت مخلوط تأخیری گندم با ذرت نیز عملکرد گندم و ذرت در تمامی تیمارهای مخلوط کمتر از خالص بود؛ با این حال بالاترین عملکرد گندم و ذرت بعد از خالص بین تیمارهای مخلوط در نسبت ۳:۲ (ذرت: گندم) مشاهده شد (Nassiri Mahallati et al., 2011). اختلاف معنی‌داری در خصوص شاخص برداشت بین کشت خالص کلزا با تیمارهای مختلف کشت مخلوط مشاهده نشد (جدول ۳). امّا به‌طور کلی، بیشترین شاخص برداشت کلزا (۲۶/۰۹) در نسبت اختلاط ۳:۲ مشاهده شد. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014a) اظهار داشتند که بیشترین شاخص برداشت کلزا (۵۳ درصد) در الگوی چهار ردیفی مخلوط با گندم مشاهده شد. در کشت مخلوط گندم و ذرت هم، نصیری محلاتی و همکاران (Nassiri Mahallati et al., 2011) بیان نمودند که شاخص برداشت گندم و ذرت در کشت خالص بیشتر از مخلوط است، امّا اختلاف معنی‌داری بین شاخص برداشت در تیمارهای مختلف کشت مخلوط دیده نشد.

عملکرد و اجزای عملکرد ذرت

نتایج تجزیه واریانس در دو سال در جدول ۴ آورده شده است. اثر سال بر تمامی صفات مورد بررسی در ذرت به‌جز تعداد بلال در بوته معنی‌دار شد. با این حال، اثر متقابل سال و نسبت‌های کشت مخلوط در هیچ‌یک از صفات معنی‌دار نبود. بنابراین، اثر سال روی نتایج حاصل از تیمارها تأثیر گذار نبود. اثر نسبت‌های کشت مخلوط بر روی ارتفاع ذرت، تعداد برگ در بوته، تعداد بلال در بوته، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه، وزن دانه در بوته، وزن خشک اندام هوایی، عملکرد دانه و عملکرد زیستی در سطح یک درصد معنی‌دار شد، امّا روی تعداد ردیف در بلال و شاخص برداشت تأثیری مشاهده نشد (جدول ۴).

بررسی مقایسه میانگین صفات مختلف در ذرت نشان داد که کلیه صفات مورد بررسی در سال اول بیشتر از سال دوم بود، به‌جز تعداد بلال در بوته و تعداد ردیف در بلال که در دوسال فاقد اختلاف بود (جدول ۵) که می تواند به‌دلیل اختلاف در شرایط محیطی در دو سال باشد.

بیشترین مقدار ارتفاع و تعداد برگ در هر بوته ذرت در کشت خالص به‌دلیل رقابت درون گونه‌ای برای جذب بیشتر نور و کمترین مقدار آن‌ها در آرایش کاشت ۴:۲ مشاهده شد که نشان‌دهنده نفوذ بهتر نور در این نسبت کشت است. بین نسبت‌های ۶:۲، ۳:۲ و ۳:۱ اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۵). در آزمایشی که توسط آدنیان و همکاران (Adeniyan et al., 2007) انجام شد، بیشترین ارتفاع ذرت و کنف (*Hibiscus cannabinus* L.) در کشت مخلوط ذرت، کنف و لوبیای آفریقایی (*Sphenostylis stenocarpa* Hoechst) مشاهده شده است. مطالعه روی سطوح مختلف نیتروژن و کشت مخلوط ذرت با سویا (*Glycine max* L.) حاکی از افزایش ارتفاع ذرت، تعداد برگ، وزن هزار دانه و عملکرد دانه ذرت در بالاترین سطح کود نیتروژن (۱۲۰ kg N.ha^{-1}) و در کشت خالص آن نسبت به مخلوط بود (Panhwar et al., 2004). بیشترین تعداد بلال در بوته در کشت خالص ذرت مشاهده شد که البته فاقد اختلاف معنی‌دار با نسبت‌های اختلاط ۳:۱، ۶:۲ و ۴:۲ بود و کمترین تعداد بلال نیز در نسبت ۳:۲ دیده شد. بیشترین تعداد ردیف در بلال و تعداد دانه در بلال در کشت خالص بود، امّا بین سایر نسبت‌های کشت مخلوط اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵). در حالی‌که طبق نتایج خرمی وفا و همکاران (Khoramivafa et al., 2007)، در کشت مخلوط ذرت و کدوی تخمه کاغذی، تعداد دانه در بلال بیشتر از سایر اجزای عملکرد تحت تأثیر کشت مخلوط با کدوی تخمه کاغذی گزارش شده است و با افزایش تراکم ذرت، رو به کاهش نهاده است.

وزن هزار دانه ذرت در نسبت ۳:۱ بیشترین مقدار (۲۲۱/۶۹ گرم) را نشان داد که فاقد اختلاف معنی‌دار با کشت خالص ذرت و سایر نسبت‌های کشت بود. از آنجایی که نسبت‌های ۳:۱ و ۳:۲ کمترین تعداد دانه در بلال را داشتند، توان بیشتری در پر کردن دانه‌ها نسبت به کشت خالص که دارای تعداد دانه بیشتری در بلال بود، نشان دادند. بنابراین، دانه‌های درشت تر با وزن بیشتر امّا تعداد کم در نسبت ۳:۱ نسبت به خالص مشاهده گردید. امّا در خصوص وزن دانه در بوته، بیشترین مقدار در کشت خالص مشاهده شد و بین سایر نسبت‌های کاشت، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، که می تواند به‌دلیل بیشتر بودن تعداد دانه در بلال در کشت خالص باشد.

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده در ذرت در الگوهای مختلف کشت مخلوط تأخیری با کلزا در سال‌های ۹۳-۱۳۹۲ و ۹٤-۱۳۹۳

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of corn measured traits in different patterns of relay intercropping with canola in 2013-14 and 2014-15

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	وزن خشک اندام هوایی در بوته Shoot dry weight per plant	وزن دانه در بوته Seed weight per plant	وزن هزار دانه 1000-seed weight	تعداد دانه در بلال Seed number per ear	تعداد ردیف در بلال Row number per ear	تعداد بلال در بوته Ear number per plant	تعداد برگ Leaf number per plant	ارتفاع Height	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield
سال Year	1	1819.12**	2499.42**	11343.24**	9363.33**	4.8**	0.1333$^{n.s.}$	24.30**	4489.633**	137.533**	13903297.6**	4005003.3**
خطای سال Year error	4	67.577	7.2645	247.38	123.66	0.766	0.166	0.4	87.466	1.5995	445703.8	18043.4
نسبت‌های کشت مخلوط intercropping ratios	4	657.552**	347.283**	651.9238**	7895.71**	0.95$^{n.s.}$	0.8833**	4.3833**	2012.366**	19.9982$^{n.s.}$	180175088.9**	28269673.7**
سال×نسبت‌های کشت Year*intercropping ratios	4	9.515$^{n.s.}$	12.761$^{n.s.}$	52.3115$^{n.s.}$	353.25$^{n.s.}$	0.3833$^{n.s.}$	0.05$^{n.s.}$	0.05$^{n.s.}$	103.466$^{n.s.}$	2.4834$^{n.s.}$	652740.9$^{n.s.}$	178385.8**
خطا Error	16	59.147	6.662	101.249	144.4583	0.39166	0.166	0.3166	90.2166	7.4347	250348.2	10140.1
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	9.80	5.21	4.79	5.25	4.62	25.51	4.04	5.07	7.09	8.31	4.30

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در ذرت در الگوهای مختلف کشت مخلوط تأخیری با کلزا در سال‌های ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳

Table 5- Mean comparison of corn measured traits in different patterns of relay intercropping with canola in 2013-14 and 2014-15

تیمارها Treatments	ارتفاع Height (cm)	وزن خشک اندام هوایی در بوته Shoot dry weight per plant (g)	وزن دانه در بوته Seed weight per plant (g)	وزن هزار دانه 1000 seed weight (g)	تعداد دانه در بلال Seed numbers per ear	تعداد ردیف در بلال Row numbers per ear	تعداد بلال در بوته Ear numbers per plant	تعداد برگ Leaf numbers per plant	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)
سال (Year)											
سال اول (۹۳-۱۳۹۲) First year (2013-14)	199.5	86.2	58.58	299.2	246.2	13.93	1.66	14.80	40.54	6701.6	2705.2
سال دوم (۹۳-۱۳۹۳) Second year (2014-15)	175.0	70.62	40.33	190.3	210.9	13.13	1.53	13	36.26	5340.1	1974.5
LSD 0.05	8.33	2.73	15.95	11.27	0.89	0.41	0.64	9.48	1.28	676.82	136.18
نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios											
۳ ردیف کلزا: ۱ ردیف ذرت (3 rows of canola: corn 1)	177.3	70.83	48.83	221.6	209.8	13.33	1.83	13.33	40.53	2991.8	1220.9
۳ ردیف کلزا: ۲ ردیف ذرت (3 rows of canola: corn 2)	188	70.89	41.48	204.4	197.1	13.33	1.0	13.83	36.61	4494.9	1659.2
۴ ردیف کلزا: ۲ ردیف ذرت (4 rows of canola: corn 2)	166.6	73.74	47.80	207.7	222.0	13.16	1.5	12.83	39.14	3646.3	1434.0
۶ ردیف کلزا: ۲ ردیف ذرت (6 rows of canola: corn 2)	188.6	80.98	47.10	196.4	223.3	13.66	1.67	14.67	36.37	3202.2	1177.6
کشت خالص ذرت Corn pure culture	215.8	95.61	62.07	218.8	290.6	14.16	2.0	14.83	39.36	15769.2	6207.6
LSD 0.05	9.41	3.16	12.32	14.71	0.77	0.50	0.69	11.63	3.34	612.39	123.25

در خصوص وزن خشک اندام هوایی در بوته، بیشترین مقدار در کشت خالص مشاهده شد که فاقد اختلاف معنی‌دار با نسبت‌های ۶:۲ و ۴:۲ بود. که می‌تواند به‌دلیل رقابت درون گونه‌ای بین بوته‌های ذرت با یکدیگر بوده باشد. بین نسبت‌های ۳:۲ و ۳:۱ در خصوص وزن خشک اندام هوایی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در پژوهشی روی کشت مخلوط ذرت و آفتابگردان با سویا نیز کشت خالص هر یک از گیاهان دارای بالاترین وزن خشک اندام هوایی نسبت به کشت مخلوط بودند (Echarte et al., 2011). لی و همکاران (Li et al., 2001) در بررسی کشت مخلوط گندم/ذرت و گندم/سویا، گزارش کردند که در طی مراحل اولیه رشد، میزان ماده خشک در کشت مخلوط نسبت به خالص به‌طور معنی‌داری کمتر بوده، امّا در مراحل انتهایی رشد که گندم برداشت شده است، میزان تجمع ماده خشک ذرت در کشت مخلوط بالاتر از کشت خالص ذرت بوده است.

بیشترین عملکرد دانه ذرت در کشت خالص (۶۲۰۷/۶ کیلوگرم در هکتار)، سپس به‌ترتیب در نسبت‌های ۳:۲ و ۴:۲ مشاهده شد (جدول ۵). بنابراین، با کاهش تعداد ردیف‌های ذرت و افزایش ردیف‌های کلزا، عملکرد دانه ذرت در هکتار کاهش یافت. در آزمایش نصیری محلاتی و همکاران (Nassiri et al., 2011) مشاهده شد که در کشت مخلوط گندم و ذرت نیز، بالاترین عملکرد گندم و ذرت در مخلوط ۲: ۳ (ذرت: گندم) بود و با افزایش تعداد ردیف‌های گندم به ۴ و ۶، عملکرد ذرت تا حدودی کاهش یافته است. در بررسی کشت مخلوط سه گانه ذرت، کنف و لوبیای آفریقایی، بیشترین عملکرد دانه ذرت و کنف در کشت خالص آن‌ها و سپس در کشت‌های مخلوط با لوبیای آفریقایی با LER بالاتر از یک (۱/۱۲) مشاهده شد که بیانگر سودمندی اختلاط سه‌گانه این گیاهان نسبت به کشت خالص آن‌ها است (Adeniyan et al., 2007). در آزمایش دیگری، عملکرد ذرت در اثر فاصله بیشتر ردیف‌ها در کشت مخلوط با سیب زمینی نسبت به خالص افزایش نشان داد، ولی در مقابل عملکرد سیب زمینی در اثر سایه‌اندازی بیش از حد ذرت کاهش یافت؛ بنابراین کشت مخلوط ذرت و سیب زمینی با تراکم کمتر ذرت توصیه شده است (Hossein Panahi et al., 2009). خرمی وفا و همکاران (Khoramivafa et al., 2007) مشاهده کردند که افزایش تراکم کدوی تخمه کاغذی تا دو بوته در مترمربع در بین ردیف‌های ذرت تأثیر معنی‌داری بر عملکرد ذرت نداشته است، امّا افزایش بیشتر تراکم کدوی تخمه کاغذی سبب کاهش عملکرد شده است.

بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب متعلق به کشت خالص ذرت و نسبت ۳:۱ بود. در کشت خالص به‌دلیل رقابت درون گونه‌ای، گیاهان اندام هوایی بیشتری تولید کرده‌اند و در نسبت ۳:۱ که رقابت درون گونه‌ای کمتر است، زیست‌توده کمتری نیز تولید شده است. بیشترین مقدار شاخص برداشت را نسبت ۳:۱ (۴۰/۵۳ درصد) به خود اختصاص داد که فاقد اختلاف معنی‌دار با نسبت ۴:۲ و کشت خالص ذرت بود (جدول ۵). نتایج پژوهش حسین پناهی و همکاران (Hossein Panahi et al., 2009) نشان داد که نسبت‌های مختلف کشت مخلوط ذرت و سیب زمینی بر روی عملکرد بیولوژیک ذرت تأثیر معنی‌داری نداشتند، امّا عملکرد اقتصادی تحت تأثیر قرار گرفت و کشت مخلوط ردیفی بیشترین عملکرد اقتصادی ذرت (۴/۴۷ تن در هکتار) و در نتیجه، بیشترین شاخص برداشت (۴۷/۷۷) را در بین تیمارهای مخلوط به خود اختصاص داد.

ارزیابی سودمندی کشت مخلوط

نسبت برابری زمین

تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط کلزا با ذرت بر نسبت برابری زمین (LER) معنی‌دار بود ($p\leq$۰/۰۱). اثر سال بر LER جزئی کلزا و LER کل غیرمعنی‌دار بود، امّا LER جزئی ذرت تحت تأثیر اثر سال قرار داشت. همچنین اثر متقابل سال و نسبت‌های کشت در خصوص این شاخص غیرمعنی‌دار شدند (جدول ۶) که نشان‌دهنده عدم تأثیر سال بر روی نسبت‌های کشت مخلوط بود.

بیشترین LER جزئی کلزا در ۳:۱ به‌دست آمد که با نسبت ۶:۲ اختلاف معنی‌داری نداشت. امّا در خصوص LER جزئی ذرت، نسبت ۳:۲ و پس از آن ۴:۲ بالاترین مقدار را به خود اختصاص دادند. بنابراین، LER جزئی کلزا نسبت به LER جزئی ذرت تأثیر بیشتری در افزایش LER کل داشته است. همچنین افزایش ردیف‌های ذرت سبب کاهش LER جزئی کلزا و افزایش ردیف‌های کلزا، سبب کاهش LER جزئی ذرت شد (جدول ۷). در کشت مخلوط تأخیری گندم و پنبه نیز با افزایش عرض نوارهای گندم، LER نسبت به نوارهای باریک‌تر گندم کاهش نشان داد و همچنین تأثیر گندم در افزایش LER کل نسبت به پنبه بیشتر بود (Zhang et al., 2007).

جدول ٦- تجزیه واریانس مرکب نسبت برابری زمین در الگوهای مختلف کشت مخلوط تأخیری کلزا و ذرت در سال‌های ۹۳-۱۳۹۲ و ۹٤-۱۳۹۳

Table 6- Analysis of variance (mean of squares) of Land Equivalent Ratio (LER) at different patterns of relay intercropping of canola and corn in 2013-14 and 2014-15

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	نسبت برابری زمین LER		
		کلزا Canola	ذرت Corn	کل Total
سال Year	1	0.0045n.s.	0.0111**	0.0014n.s.
خطای سال Year Error	4	0.0355	0.000075	0.0365
نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios	4	0.1303**	0.7380**	0.0404**
سال×نسبت‌های کشت مخلوط Year*intercropping ratios	4	0.0054n.s.	0.00094**	0.0064n.s.
خطا (Error)	16	0.0092	0.00011	0.0093
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	11.73	2.84	9.71

** و n.s. ؛ به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطوح احتمال یک درصد و عدم معنی‌داری.

** and n.s.: are significant at 1% levels of probability and not significant, respectively.

در خصوص LER کل، در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تأخیری کلزا با ذرت، کشت ۳:۱ و پس از آن ۶:۲ که دارای نسبت برابری زمین بالاتر از واحد بودند، بیشترین مقدار LER (به‌ترتیب ۱/۱۱ و ۱/۰۲) را به خود اختصاص دادند (جدول ۷) که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط با این دو آرایش کشت نسبت به کشت خالص و سایر نسبت‌های کاشت با LER کمتر از واحد می‌باشد (جدول ۷). این برتری می‌تواند در اثر استفاده بهتر این نسبت کشت از منابع خصوصاً نور نسبت به سایر آرایش‌های کشت مخلوط و خالص باشد. حمزه‌ئی و سیدی (Hamzei and Seyedi., 2012) نیز در پژوهش خود در خصوص کشت مخلوط گندم و کلزا، کشت ۳ردیف کلزا: ۲ردیف گندم را بهترین آرایش کاشت براساس شاخص نسبت برابری زمین (۱/۵۰) گزارش نمودند. نسبت برابری زمین در نسبت ۵۰:۵۰ از کشت مخلوط کلزا و نخود (۱/۲۶) و در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ کلزا و نخود (۱/۱۸) حاکی از برتری کشت مخلوط کلزا و نخود نسبت به کشت‌های خالص آن‌ها بود (Namdari and Mahmoudi, 2013). ذرت نیز در کشت مخلوط با لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata*) با نسبت ۱:۲ بالاترین LER را (۱/۸۳) نسبت به سایر نسبت‌های اختلاط نشان داد (Jamshidi et al., 2008) در حالی‌که بیشترین LER در کشت مخلوط ذرت با لوبیا چیتی در نسبت ۵۰:۵۰ به‌دست آمد (کوچکی و همکاران، ۲۰۰۹).

نصیری محلاتی و همکاران (Nassiri et al., 2011) با بررسی کشت مخلوط ذرت با گندم، گزارش کردند که LER در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تأخیری بین ۱/۲۷ تا ۱/۳۱ بود که نشان‌دهنده ۲۷ تا ۳۱ درصد افزایش عملکرد نسبت به کشت خالص بود. نویسندگان این افزایش را ناشی از جذب بهتر نور در کانوپی مخلوط نسبت به خالص دانستند و در مجموع، بهترین عملکرد را در مخلوط ۲: ۳ (ذرت: گندم) گزارش نمود. زعفریان و همکاران (Zaefarian et al., 2009) در بررسی کشت مخلوط ذرت و سویا، بیشترین عملکرد دانه ذرت را در تیمار ۷۵٪ ذرت: ۲۵٪ سویا گزارش نمودند و بیان کردند که کلیه تیمارهای کشت مخلوط دارای نسبت برابری زمین بالاتر از یک بودند. با این حال، نسبت ۷۵٪ ذرت: ۲۵٪ سویا به‌دلیل استفاده کارآمدتر ذرت و سویا از منابع و داشتن رشد مطلوب از بیشترین نسبت برابری زمین (۱/۳۳) برخوردار بود.

جدول ۷- مقایسه میانگین نسبت برابری زمین در الگوهای مختلف کشت مخلوط تأخیری کلزا و ذرت در سال‌های ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳

Table 7- Mean comparison of LER at different patterns of relay intercropping of canola and corn in 2013-14 and 2014-15

تیمارها Treatments	LER نسبت برابری زمین		
	کلزا Canola	ذرت Corn	کل Total
سال Year			
سال اول (۹۳-۱۳۹۲) First year (2013-14)	0.80	0.39	0.99
سال دوم (۹۴-۱۳۹۳) Second year (2014-15)	0.83	0.35	0.98
LSD 0.05	0.19	0.01	0.19
نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios			
۳ ردیف کلزا: ۱ ردیف ذرت (3 rows of canola: corn 1)	0.91	0.19	1.11
۳ ردیف کلزا: ۲ ردیف ذرت (3 rows of canola: corn 2)	0.66	0.26	0.92
۴ ردیف کلزا: ۲ ردیف ذرت (4 rows of canola: corn 2)	0.67	0.22	0.90
۶ ردیف کلزا: ۲ ردیف ذرت (6 rows of canola: corn 2)	0.82	0.18	1.01
کشت خالص کلزا (Pure canola culture)	1.0	-	1.0
کشت خالص ذرت (Pure corn culture)	-	1.0	1.0
LSD 0.05	0.12	0.01	0.12

میزان آب مصرفی

در این آزمایش، برای کلزا در کشت خالص ۳۷۵۰ متر مکعب در هکتار آب مصرف شد و برای ذرت کل میزان آب مصرفی آن ۹۰۸۱ متر مکعب در هکتار در کشت خالص بود. بنابراین، اگر این دو گیاه در تناوب با هم قرار گیرند، و ذرت پس از برداشت کلزا کشت گردد، در مجموع مقدار ۱۲۸۳۱ متر مکعب در هکتار آب مصرف می‌شود. در آرایش‌های مختلف کشت مخلوط این دو گیاه، به‌دلیل این که ذرت در تاریخ اول خرداد ماه در بین ردیف‌های کلزا کشت گردید و تا برداشت کلزا در تاریخ ۳۰ خرداد ماه، از دو نوبت آبیاری اخیر کلزا برای جوانه‌زنی و سبز شدن ذرت استفاده گردید، بنابراین، کل میزان آب مصرف شده در مجموع از زمان کاشت کلزا تا برداشت ذرت، ۱۰۹۱۵ متر مکعب در هکتار بود. به این ترتیب، در کشت‌های مخلوط تأخیری کلزا و ذرت، مقدار ۱۹۱۶ متر مکعب در هکتار آب صرفه‌جویی شد. از آنجائیکه که کشاورزان در بهار برای آبیاری محصولات پاییزه که در انتهای دوره رشد و پر شدن دانه قرار دارند و آبیاری محصولات بهاره که تازه کشت گردیده‌اند، با محدودیت آب آبیاری مواجه هستند، این میزان صرفه‌جویی در آب آبیاری بسیار چشمگیر و مشکل‌گشا خواهد بود. در آزمایشی که روی کشت مخلوط ذرت با لوبیا انجام شد نیز مشخص شده است که میزان آب مصرفی در کشت مخلوط کمتر از کشت خالص بوده است (Zarehaghi et al., 2016). با این وجود، نتایج متضادی در کشت مخلوط کدوی تخمه کاغذی با عدس و نخود در خصوص میزان مصرف آب گزارش شده است. به‌طوری‌که بیشترین میزان آب مصرفی در کشت مخلوط کدوی تخمه کاغذی با عدس و کشت مخلوط کدوی تخمه کاغذی با نخود بوده است (Khoramivafa et al., 2011).

نتیجه‌گیری

میزان آب مصرفی در آرایش‌های کشت مخلوط تأخیری نسبت به زمانی که هر دو گیاه به‌صورت خالص در تناوب با هم کشت گردند، کاهش یافت و سبب صرفه‌جویی در مصرف آب به‌میزان ۱۹۱۶ متر مکعب شد. بنابراین، استفاده از کشت‌های مخلوط تأخیری محصولات پاییزه و بهاره، راهکار مناسبی برای استفاده بهتر از آب آبیاری و رفع

محدودیت آب آبیاری در بهار برای زارعین می‌باشد. از طرفی، کاشت ذرت در بین ردیف‌های کلزا به‌دلیل سایه‌اندازی کلزا سبب کاهش اتلاف رطوبت شده، بنابراین جوانه‌زنی و رشد اولیه ذرت در تیمارهای مخلوط نسبت به خالص بهتر صورت می‌گیرد. از سوی دیگر، زمان مورد نیاز برای آماده‌سازی زمین نیز ذخیره خواهد شد و ماشین‌آلات کمتری وارد زمین می‌شود که ذخیره سوخت و عدم فشردگی خاک نیز از مزایای آن محسوب می‌شوند. بیشترین عملکرد دانه و عملکرد زیستی کلزا (به‌ترتیب ۲۵۰۲/۵ و ۹۷۶۳/۵ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین عملکرد دانه و عملکرد زیستی ذرت (۶۲۰۷/۶ و ۱۵۷۶۹/۲کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص مشاهده شد. بیشترین شاخص برداشت کلزا (۲۶/۰۳) در نسبت اختلاط ۳:۲ و بیشترین شاخص برداشت ذرت در نسبت ۳:۱ (۴۰/۵۳ درصد) به‌دست آمد. از سوی دیگر، در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط تأخیری کلزا با ذرت، کشت ۳:۱ و پس از آن ۶:۲ دارای نسبت برابری زمین بالاتر از واحد و بیشترین مقدار LER (به‌ترتیب ۱/۱۱ و ۱/۰۱) بودند) که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط با این دو آرایش کشت نسبت به کشت خالص و سایر نسبت‌های کاشت با LER کمتر از واحد می‌باشد.

سپاسگزاری

بودجه این طرح از محل اعتبار پژوهه شماره ۲/۲۹۴۳۶ مصوب تاریخ ۹۲/۱۲/۹ معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌گردد.

Refferences

Adeniyan, O.N., Akande, S.R., Balogun, M.O., and Saka, J.O., 2007. Evaluation of crop yield of African yam bean, maize and kenaf under intercropping systems. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science 2(1): 99-102.

Amirmardfar, R., Dabbagh Mohammadi Nassab, A., Raei, Y., Khaghaninia, S., Amini, R., and Tabataba Vakili, S.H., 2015. Evaluation of yield and yield components of oilseed rape in the wheat-oilseed rape strip intercropping influenced by chemical and biological fertilizers. Journal of Crop Ecophysiology 8(4): 437-450. (In Persian with English Summary)

Azizi, Kh, Darayei Mofrad, A., Heidari, S., Ahmadi Fard, M., 2014. Studying utilization time of lands under relay intercropping of broadleaf vetch and triticale. Research in Crop Ecosystems 1(4): 105-115**.** (In Persian with English Summary)

Echarte, L., Della Maggiora, A., Cerrudo, D., Gonzalez, V.H., Abbate, P., Cerrudo, A., Sadras, V.O., and Calvi˜no, P., 2011. Yield response to plant density of maize and sunflower intercropped with soybean. Field Crops Research 121: 423–429.

Hamzei, J., and Seyedi, M., 2012. Determine of the best combination of wheat and canola intercropping based on agronomy indices, total yield and LER index. Journal of Crop Production and Processing 2(5): 109-119. (In Persian with English Summary)

Hossein Panahi, F., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R., 2009. Evaluation of yield and yield component in intercropping of maize and potato. Iranian Journal of Field Crops Research 7(1): 23-30. (In Persian with English Summary)

Jamshidi, Kh, Mazaheri, D., Majnoon Hosseini, N., Rahimian, H., and Peighambari, S., 2008. Evaluation of yield in intercropping of maize and cowpea. Agronomy Journal 80: 110-118. (In Persian with English Summary)

Khoramivafa, M., Dabagh Mohammadi Nasab, A., Zahtab Salmasi, S., Javanshir, A., and Mohammadi, S., 2007. Evaluation of some of agronomical characteristics of maize in intercropping with pumpkin. Journal of Agricultural science 17(4): 75-85. (In Persian with English Summary)

Khoramivafa, M., Eftekharinasab, N., Sayyadian, K., and Najaphy, A., 2011. Water use efficiency in medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. var. styriac)/ chickpea (*Cicer arietinum* L.)-lentil (*Lens esculenta* Moench.) intercropping system associated with several nitrogen levels. Agroecology 3(2): 245-253. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Boroumand Rezazadeh, Z., Nassiri Mahallati, M. and Khorramdel, S., 2012. Evaluation of nitrogen absorption and use efficiency in relay intercropping of winter wheat and maize. Iranian Journal of Field Crops Research 10(2): 327-334. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Fallah Pour, F., Khorramdel, S., Jafari, L., 2014a. Evaluation of wheat and canola intercropping on yield and yield components and weeds diversity and density. Journal of Agroecology 6(1): 11-20. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Lalehgani, B., and Najibnia, S., 2010. Evaluation of productivity in bean and corn intercropping. Iranian Journal of Field Crops Research 7(2): 605-614. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Porsa, H., 2014b. Water capture efficiency, use efficiency and productivity in intercropping of rapeseed, bean and corn. European Journal of Sustainable Development 3(4): 347-358.

Li, L., Sun, J., Zhang, F., Li, X., Rengel, Z., and Yang, S., 2001. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping. II. Recovery or compensation of maize and soybean after wheat harvesting. Field Crops Research 71: 173-181.

Mead, R., and Willey, R.W., 1980. The concept of a 'land equivalent ratio' and advantages in yields from intercropping. Experimental Agriculture 16: 217-228.

Nakhjavanimoghadam, M.M., Dehghanisanji, H., Akbari, M., and Sadreghaen, S.H., 2011. The effects of deficit irrigation on water use efficiency of new early maize variety (CN. KSC.302) using sprinkler system. Journal of Water and Soil 24(6): 1236-1245. (In Persian with English Summary)

Niknezhad, Y., Nassiri, M., and Pirdashti, H., 2009. Effect of planting date and seed amount in relay intercropping of canola before rice harvest under Amol conditions. Journal of Dynamic Agriculture 6(3): 291-302. (In Persian with English Summary)

Namdari, M., and Mahmoudi, S., 2013. Evaluation of yield and productivity indices in planting ratios of intercropping of chickpea (*Cicer arientinum* L.) and canola (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Crop Sciences 14 (4): 346-357. (In Persian with English Summary)

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Jahan, M., 2011. Light absorption and use efficiency in relay intercropping and continuous culture of winter wheat and maize, Iranian Journal of Field Crops Research 8(6): 878-890. (In Persian with English Summary)

Panhwar, M.A., Memon, F.H., Kalhoro, M.A., and Soomro, M.I., 2004. Performance of maize in intercropping system with soybean under different planting patterns and nitrogen levels. Journal of Applied Sciences 4(2): 201-204.

Van der Meer, J., 1989. The Ecology of Intercropping. Cambridge University Press, New York. pp. 273.

Zaefarian, F., Aghaalikhani, M., Rahimian Mashhadi, H., Zand, E., and Rezvani, M. 2009. Yield and growth indices of corn/soybean intercrop under simultaneous competition of redroot pigweed and jimsonweed. Iranian Society of Weed Science 5(1): 107-125. (In Persian with English Summary)

Zarehaghi, D., Neyshabouri, M.R., Majnooni-Heris, A., and Jalilian, Z., 2016. Determining crop coefficient of corn and bean in intercropping in order to increase the precision of irrigation planning. Water and Soil Science 26(1.2): 69-78. (In Persian with English Summary)

Zhang, L., Spiertz, J. H.J., Zhang, S., Li, B., and Van Der Werf, W., 2008a. Nitrogen economy in relay intercropping systems of wheat and cotton. Plant and Soil 303: 55-68.

Zhang, L., Van Der Werf, W., Bastiaans, L., Zhang, S., Li, B., and Spiertz, J.H.J., 2008b. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. Field Crops Research 107: 29-42.

Zhang, L. Z., Van der Werf, W., Zhang, S. P., Li, B., & Spiertz, J. H. J., 2007. Growth, yield and quality of wheat and cotton in relay strip intercropping systems. Field Crops Research 103: 178–188.

Zulfiqar, A., Asghar Malik, M., and Cheema, M.A., 2000. Studies on determining a suitable canola-wheat intercropping pattern. International Journal of Agriculture and Biology 2(1-2): 42-44.

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

CC BY

Research Article
Vol. 14, No. 1, Spring 2022, p. 53-68

Effects of Organic Fertilizers on Essential Oil Composition and Yield in Sustainable Cultivation of Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.)

M.T. Darzi[1*], B. Sadeghi Nekoo[2] and M. Haj Seyed Hadi[3]

Received: 31-01-2020
Revised: 15-12-2020
Accepted: 14-02-2021
Available Online: 15-06-2022

How to cite this article:
Darzi, M.T., Sadeghi Nekoo, B., and Haj Seyed Hadi, M., 2022. Effects of organic fertilizers on essential oil composition and yield in sustainable cultivation of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). Journal of Agroecology 14(1):53-68.
DOI:10.22067/agry.2021.20242.0

Introduction

Organic fertilizers such as compost and vermicompost improve soil's physical and chemical properties that enhance beneficial microbe's activity in soil and nutrient availability by plants. Nitrogen-fixing bacteria such as *Azotobacter* and *Azospirillum* as biofertilizers also have the ability of nitrogen-fixing and release phytohormones which could stimulate plant growth, absorption of nutrients, and the photosynthesis process. Production of medicinal plants with using from biofertilizers leads to an increase of the quantity and quality of active substances such as essential oil. Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) is a perennial herb that grows wild and is cultivated in temperate regions of Asia, Europe, and America. The essential oil of hyssop is widely used as a traditional drug in some the parts of Asia and Europe to treat respiratory diseases. Hyssop is also used in food, pharmaceutical, flavor, and cosmetic industries throughout the world. The main constituents of hyssop essential oil have been reported as pinocamphone, pinocarvone, and phellandrene.

Materials and Methods

In order to study the effects of compost, vermicompost, and nitrogen-fixing bacteria as sustainable nutrient management on the essential oil composition of *Hyssopus officinalis*, an experiment was conducted based on a randomized complete block design with eight treatments and three replications at the research field of Agriculture Company of Ran in Firouzkooh of Iran during 2012. The treatments were 20 $t.ha^{-1}$ compost, 12 $t.ha^{-1}$ vermicompost, biofertilizer (inoculated seeds with *Azotobacter chroococcum* and *Azospirillum lipoferum*), 10 $t.ha^{-1}$ compost + 6 $t.ha^{-1}$ vermicompost, 20 $t.ha^{-1}$ compost + biofertilizer, 12 $t.ha^{-1}$ vermicompost + biofertilizer, 10 $t.ha^{-1}$ compost + 6 $t.ha^{-1}$ vermicompost + biofertilizer and control (without fertilizer). Studied traits were contained herb yield and percent, yield, and composition of essential oil. The essential oil extraction was done by the hydro-distillation method in Clevenger's apparatus, and essential oil composition was determined by gas chromatography (GC) and gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS). Analysis of variance was conducted by SAS software, and the means were compared by the least significant difference test (LSD) at the 5% probability level.

Results and Discussion

Results showed that the highest herb yield (2601.6 $kg.ha^{-1}$), essential oil percent (0.20%), and essential oil

1- Associated Professor, Department of Agronomy, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran.
2- Graduated Student of Agronomy (M.Sc.), Department of Agronomy, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran.
3- Associated Professor, Department of Agronomy, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran.
*- Corresponding Author, Email: darzi@riau.ac.ir

yield (5.21 $kg.ha^{-1}$) were obtained in integrated application of 12 $t.ha^{-1}$ vermicomposts and biofertilizer (nitrogen-fixing bacteria)(2 lit/ha). The maximum cis Pinocamphone percent (63.56%) and beta Phellandrene percentage (9.71%) and the minimum trans Pinocamphone percent (2.50%) in an essential oil by integrated using of 10 $t.ha^{-1}$ compost, six $t.ha^{-1}$ vermicomposts, and biofertilizer and the highest Valerianol percentage (5.36%) and Phytol percentage (2.19%) in essential oil with the application of 20 $t.ha^{-1}$ compost were obtained.

Integrated application of vermicompost and biofertilizer through the high ability for absorption of mineral nutrients like N, P, and K by plants and then increase of biomass amount has a positive effect on essential oil content. Increased essential oil yield in treatment of the integrated application of vermicompost (12 $t.ha^{-1}$) and biofertilizer can be owing to the improvement of yield attributes such as; essential oil percentage and herb yield. Some studies have reported that the application of bio and organic fertilizers can increase the content and yield of essential oil in a few medicinal plants such as basil, chamomile, and coriander. Integrated application of bio and organic fertilizers through the improvement of biological activities of soil and nutrient elements absorption such as nitrogen and phosphorus, caused more growth and biomass production, which leads to improvement of the essential oil quality. Several studies have shown a beneficial effect on the essential oil composition of medicinal plants by the integrated application of bio and organic fertilizers.

Conclusion

Generally, the highest essential oil quantity with the integrated application of 12 $t.ha^{-1}$ vermicomposts and biofertilizer and the highest essential oil quality with the integrated application of 10 $t.ha^{-1}$ compost, six $t.ha^{-1}$ vermicomposts and biofertilizer were obtained.

Keywords: Biofertilizer, Cis pinocamphone, Compost, Vermicompost

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

مقاله پژوهشی

تأثیر کودهای آلی بر ترکیب و عملکرد اسانس در کشت پایدار گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis* L.)

محمدتقی درزی*[1]، بیژن صادقی نکو[2] و محمدرضا حاج سیدهادی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۱۱
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۰۹/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۶

درزی، م.ت.، صادقی نکو، ب.، و حاج سیدهادی، م.ر.، ۱۴۰۱. تأثیر کودهای آلی بر ترکیب و عملکرد اسانس در کشت پایدار گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis* L.). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۱): ۶۸-۵۳.

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کمپوست، ورمی‌کمپوست و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن بر ترکیب اسانس در کشت پایدار گیاه دارویی زوفا، آزمایشی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در هشت تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی شرکت کشاورزی ران در شهرستان فیروزکوه در سال ۱۳۹۱ انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل ۲۰ تن کمپوست در هکتار، ۱۲ تن ورمی‌کمپوست در هکتار، کود زیستی (تلقیح بذر با *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم*)، ۱۰ تن کمپوست + ۶ تن ورمی‌کمپوست در هکتار، ۲۰ تن کمپوست در هکتار + کود زیستی، ۱۲ تن ورمی‌کمپوست در هکتار + کود زیستی، ۱۰ تن کمپوست + ۶ تن ورمی‌کمپوست + کود زیستی و شاهد (عدم مصرف کود) بودند. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد اندام رویشی و درصد، عملکرد و ترکیبات اسانس بودند. استخراج اسانس توسط روش تقطیر با آب و به‌کمک دستگاه کلونجر انجام شد و ترکیبات اسانس به‌وسیله گاز کروماتوگرافی و گاز کروماتوگرافی با طیف‌سنج جرمی تعیین شدند. تجزیه واریانس توسط نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها به‌وسیله آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که بیشترین عملکرد اندام‌های رویشی (۲۶۰۱/۶ کیلوگرم در هکتار)، درصد اسانس (۰/۲۰۰ درصد) و عملکرد اسانس (۵/۲۱ کیلوگرم در هکتار) در مصرف تلفیقی ۱۲ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی (۲ لیتر در هکتار) به‌دست آمد. بیشترین درصد سیس‌پینوکامفون (۵۶/۶۳٪) و درصد بتافالاندرن (۹/۷۱٪) و کمترین درصد ترانس‌پینوکامفون (۲/۵۰٪) در اسانس در مصرف تلفیقی ۱۰ تن کمپوست، ۶ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی و بیشترین درصد والریانول (۵/۳۶٪) و درصد فیتول (۲/۱۹٪) در اسانس در کاربرد ۲۰ تن کمپوست حاصل گردید. در مجموع بیشترین کمیت اسانس با کاربرد تلفیقی ۱۲ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی و بیشترین کیفیت اسانس با مصرف تلفیقی ۱۰ تن کمپوست، ۶ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: سیس‌پینوکامفون، کمپوست، کود زیستی، ورمی‌کمپوست

مقدمه

مصرف کودهای آلی نظیر کمپوست و ورمی‌کمپوست در سیستم‌های کشاورزی پایدار ضمن حذف یا کاهش قابل ملاحظه کودهای شیمیایی، موجب تأمین مناسب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و بهبود شرایط فیزیکی و میکروبی خاک نیز می‌گردد (Arancon et al., 2004; Sharma, 2002). همچنین کاربرد کودهای زیستی نظیر *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* علاوه‌بر تثبیت نیتروژن مولکولی موجود در اتمسفر از طریق تولید هورمون‌های رشد گیاهی موجب بهبود وضعیت

۱- دانشیار، گروه زراعت، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد زراعت، گروه زراعت، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.
۳- دانشیار، گروه زراعت، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: darzi@riau.ac.ir)

DOI:10.22067/agry.2021.20242.0

تغذیه و رشد گیاه در سیستم‌های پایدار می‌شوند (Elghadban et al., 2006; Mahfouz & Sharaf Eldin, 2007). با توجه به این که در تولید گیاهان دارویی در نظام‌های کشاورزی پایدار، کیفیت محصول تولیدی بیش از کمیت آن دارای اهمیت است (Kamayestany et al., 2015)، لذا بررسی واکنش گیاهان دارویی به روش‌های مدیریتی مختلف کشاورزی پایدار از جمله کاربرد کودهای آلی و زیستی در بهبود کیفیت گیاهان دارویی بدون استفاده از نهاده‌های شیمیایی، از اهمیت قابل توجهی برخوردار است.

از بین گیاهان دارویی می‌توان به زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) اشاره کرد که گیاهی خشبی و چند ساله از تیره نعناعیان است که منشأ آن آسیای صغیر گزارش شده و در مناطق مختلف آسیا، اروپا و آمریکا کشت می‌شود (Omidbaigi, 2000; Zheljazkov et al., 2012). برگ‌ها و سرشاخه‌های گل‌دار این گیاه معطر و حاوی اسانس هستند. مقدار اسانس زوفا کمتر از یک درصد بوده و پینوکامفون، مهم‌ترین ترکیبات متشکله اسانس آن می‌باشد (Omidbaigi, 2000; Pandey et al., 2014; Moghtader, 2014; Zheljazkov et al., 2012). این اسانس به‌عنوان طعم و عطردهنده در صنایع کنسرو سازی و نوشابه‌سازی و نیز در صنایع آرایشی و بهداشتی کاربرد فراوانی دارد. همچنین از اسانس زوفا در صنایع داروسازی برای مداوای سرفه و سرماخوردگی استفاده می‌شود (Kizil et al., 2010; Moro et al., 2011; Omidbaigi, 2000; Salehi Surmeghi, 2008). در رابطه با تحقیقات انجام گرفته درباره کاربرد کودهای آلی و زیستی بر میزان و کیفیت اسانس گیاهان دارویی، در پژوهشی روی گیاه دارویی زوفا، نشان داده شد که مصرف ۱۰ و ۱۵ تن ورمی‌کمپوست در هکتار به‌ترتیب سبب افزایش قابل ملاحظه میزان اسانس و عملکرد اسانس گردید (Yousefzadeh, 2018). او بیان داشت احتمالاً کاربرد ورمی‌کمپوست با بهبود شرایط خاکی و افزایش دسترسی به عناصر غذایی، محتوای اسانس را در گیاه افزایش داده است. در پژوهشی روی گیاه دارویی بابونه (*Matricaria chamomilla* L.)، مشاهده گردید که مصرف تلفیقی هشت تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی نیتروکسین (دو لیتر در هکتار) سبب بهبود بارز عملکرد گل، مقدار و عملکرد اسانس و درصد کامازولن در اسانس شد (Haj Ali Araghi et al., 2019). آن‌ها افزایش کیفیت اسانس بابونه را به تأمین مناسب عناصر غذایی و متعاقب آن، بهبود گل‌دهی بابونه در اثر کاربرد کودهای آلی و زیستی مذکور، نسبت دادند. در تحقیقی روی گیاه دارویی مریم گلی (*Salvia officinalis* L.)، مشاهده گردید که کاربرد تلفیقی هشت تن ورمی‌کمپوست و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، موجب افزایش عملکرد اندام رویشی، کمیت و کیفیت اسانس و عملکرد آن شد (Govahi et al., 2016; 2017). این پژوهشگران عنوان کردند که کاربرد ترکیبی کودهای آلی و زیستی مذکور با تأمین عناصر غذایی و تثبیت زیستی نیتروژن سبب سهولت و تسریع انجام واکنش‌های شیمیایی جهت تولید ترکیبات ترپنی اسانس و در نهایت، بهبود کمیت و کیفیت اسانس گردید. یافته‌های یک پژوهش روی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.)، آشکار کرد که مصرف توأم شش تن ورمی‌کمپوست و نیتروکسین (دو لیتر در هکتار) سبب افزایش معنی‌دار عملکرد گل، عملکرد اسانس و کیفیت آن (درصد آلفا کادینول) گردید (Mojtabavi & Darzi, 2018). همچنین در تحقیقی روی گیاه زنیان (*Trachyspermum ammi* L.) ملاحظه شد که کاربرد ورمی‌کمپوست همراه با اسید هیومیک در مقایسه با شاهد موجب افزایش درصد تیمول و پاراسیمن در اسانس شد (Khalesro & Malekian, 2017). در تحقیقی روی گیاه بادرشبی (*Dracocephalum moldavica* L.) مشخص گردید که مصرف تلفیقی ۵۰ درصد کمپوست با ۵۰ درصد کود اوره سبب افزایش عملکرد اندام رویشی، میزان اسانس و عملکرد اسانس شد (Yousefzadeh et al., 2013). در پژوهشی هم روی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) مشاهده گردید که دو تیمار مصرف تلفیقی ۳/۷۵ تن ورمی‌کمپوست و ۵ تن کمپوست و مصرف تلفیقی ۷/۵ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی حاوی باکتری *ازتوباکتر* (یک کیلوگرم ماده تلقیحی در هکتار)، موجب افزایش کیفیت اسانس (درصد آنتول) شد (Moradi et al., 2011). آنان اظهار داشتند که عرضه عناصر غذایی از منابع تلفیقی آلی و زیستی که متناسب با مراحل رشدی گیاه می‌باشد باعث افزایش میزان آنتول اسانس گردید. گزارش تحقیقی روی بادرشبی آشکار کرد که مصرف تلفیقی ۱۰ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی سبب افزایش کیفیت اسانس شد به‌طوری‌که درصد ژرانیال، نرال و نریل استات در اسانس به طرز چشمگیری افزایش یافت (Darzi & Haj Seyed Hadi, 2017). نتایج پژوهش سایر محققین روی گیاهان بادرشبی، رازیانه و ریحان (*Ocimum basilicum* L.) نیز بیانگر افزایش میزان اسانس و کیفیت آن در اثر کاربرد کودهای آلی و زیستی بود (Hussein et

; Akbari & Gholami, 2016; Asheghi et al., al., 2006 .(2018

هدف از انجام این پژوهش، تأثیر کاربرد کودهای آلی کمپوست و ورمی‌کمپوست و کود زیستی حاوی باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* بر ترکیب و عملکرد اسانس گیاه دارویی زوفا برای تعیین تیمار مناسب جهت افزایش کمیت و کیفیت اسانس بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در بهار سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی شرکت کشاورزی و دامپروری ران شهرستان فیروزکوه واقع در استان تهران که در عرض ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول ۵۲ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۹۳۰ متر از سطح دریا واقع شده است به اجرا در آمد. میانگین بارش سالیانه ۲۹۶/۸ میلی متر و متوسط دما حدود هشت درجه سانتی‌گراد است. قبل از اجرای آزمایش ابتدا از خاک مزرعه (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) نمونه‌برداری انجام گرفت و مشخص گردید که بافت خاک لومی رسی، اسیدیته ۷/۶، هدایت الکتریکی ۱/۵۵ دسی زیمنس بر متر، ماده آلی ۱/۸۶ درصد، نیتروژن ۰/۱۲۷ درصد، فسفر ۰/۰۰۴۸ درصد و پتاسیم ۰/۰۷۲ درصد می‌باشد (جدول۱). بر اساس تجزیه کودهای آلی مورد استفاده، کمپوست دارای ۱/۲ درصد نیتروژن، ۰/۳۵ درصد فسفر و ۱/۲ درصد پتاسیم و ورمی-کمپوست حاوی ۲/۱۳ درصد نیتروژن، ۰/۶۷ درصد فسفر و ۳/۹ درصد پتاسیم بود (جدول ۱). آزمایش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هشت تیمار و سه تکرار انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل ۲۰ تن کمپوست در هکتار، ۱۲ تن ورمی‌کمپوست در هکتار، کود زیستی (تلقیح بذر با *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم*)، ۱۰ تن کمپوست همراه با ۶ تن ورمی‌کمپوست در هکتار، ۲۰ تن کمپوست در هکتار همراه با کود زیستی، ۱۲ تن ورمی‌کمپوست در هکتار همراه با کود زیستی، ۱۰ تن کمپوست همراه با ۶ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی و شاهد (عدم مصرف کود) بودند. باکتری‌های مصرفی که از بخش بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه گردیده، محلول‌های مجزا حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن بنام‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* بودند که در هر میلی‌لیتر از آن‌ها در حدود 10^8 باکتری فعال وجود داشت. بذر زوفا مورد استفاده در این تحقیق از کشور آلمان و توسط شرکت کشاورزی گیاه گستر اصفهان تهیه شده بود که دارای قوه نامیه ۹۰ تا ۹۵ درصد و وزن هزار دانه ۱/۰۳ گرم می‌باشد.

به‌منظور اجرای آزمایش، اندازه هر کرت به ابعاد ۲/۲۸ × ۳ متر و حاوی شش ردیف کاشت با فاصله بین ردیف ۳۸ سانتی‌متر و بین دو بوته ۱۵ سانتی‌متر لحاظ گردید. فاصله بین کرت‌ها یک متر و بین تکرارها دو متر در نظر گرفته شدند. در تاریخ چهاردهم اردیبهشت ماه جهت اعمال تیمارهای کمپوست، ورمی‌کمپوست و مخلوط کمپوست و ورمی‌کمپوست، در وسط هر خط کاشت، شیاری در سراسر پشته ایجاد گردید و مقادیر کودهای آلی در داخل شیار ریخته و سپس بوسیله شن‌کش به‌خوبی با خاک مخلوط شدند.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش، کمپوست و ورمی‌کمپوست

Table 1- Some physical and chemical characteristics of soil in experimental site, compost and vermicompost

نمونه Sample	بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	ماده آلی OM (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)
خاک Soil	لومی رسی Loamy-Clay	7.6	1.55	1.86	0.127	0.0048	0.072
کمپوست Compost	-	6.7	10.9	51	1.2	0.35	1.2
ورمی کمپوست Vermicompost	-	8.5	1.8	45	2.13	0.67	3.9

کاشت زوفا در بیستم اردیبهشت انجام گرفت. بدین نحو که ابتدا بخشی از بذور مورد نیاز با دو محلول مجزا حاوی باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* به‌صورت منفرد به‌مدت ۱۵ دقیقه تلقیح شدند. سپس در شرایطی که آسمان صاف و آفتابی و دمای هوا در حدود ۱۴ درجه سانتی‌گراد بود، در سایه و در معرض هوا خشک گردیده و به‌همراه بذور سایر تیمارها (بدون تلقیح) در عمق دو سانتی‌متری خاک کشت شدند و بلافاصله آبیاری صورت گرفت. برای اطمینان از جوانه‌زنی و حفظ تراکم در حد مطلوب، در روی هر ردیف بذرها با

تراکم بیشتری کشت شده و سپس در مرحله شش برگی تنک و بر اساس تراکم ۱۷/۵ بوته در مترمربع، تنظیم شدند (Soleymani & Pirzad, 2016). عملیات مبارزه با علف‌های هرز مزرعه در شش نوبت به‌وسیله دست صورت گرفت. عملیات آبیاری که به‌صورت سیستم آبیاری قطره‌ای بود، در ابتدا هر سه روز یک بار و پس از سبز شدن بذور با توجه به شرایط اقلیمی منطقه هر شش تا هفت روز یک بار انجام گردید. برداشت زوفا در مرحله گل‌دهی کامل، در یک چین و در بیست و یکم شهریور ماه انجام شد. در این تحقیق، صفات عملکرد اندام‌های رویشی، مقدار اسانس، عملکرد اسانس و درصد سیس-پینوکامفون، ترانس‌پینوکامفون، بتافلاندرن، تیمول، والریانول و فیتول مورد بررسی قرار گرفتند. به‌منظور تعیین عملکرد اندام‌های رویشی در واحد سطح، از خطوط میانی هر کرت معادل یک مترمربع، بوته در مرحله گل‌دهی کامل به‌روش دستی برداشت گردید. سپس در هوای آزاد و در سایه خشک گردیده و بعد وزن شده و در پایان عملکرد اندام‌های رویشی در واحد سطح محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری میزان اسانس، از هر کرت آزمایشی یک نمونه ۱۰۰ گرمی از پیکره رویشی خشک شده در هوای آزاد، تهیه کرده که بعد از خرد کردن، به‌مدت سه ساعت با استفاده از روش تقطیر با آب و با استفاده از حدود ۵۰۰ میلی لیتر آب مقطر و به‌وسیله دستگاه کلونجر (Clevenger)، اسانس‌گیری گردید (Kapooer et al., 2004; Sefidkon, 2001). درصد اسانس نیز پس از رطوبت‌زدایی آب آن توسط سولفات‌سدیم خشک، محاسبه گردید. همچنین برای محاسبه عملکرد اسانس، از حاصل‌ضرب عملکرد پیکره رویشی و میزان اسانس استفاده شد. جهت شناسایی اجزای تشکیل‌دهنده اسانس و تعیین درصد ترکیبات عمده موجود در آن (شامل سیس‌پینوکامفون، ترانس-پینوکامفون، بتافلاندرن، تیمول، والریانول و فیتول) به‌ترتیب از دستگاه‌های کروماتوگرافی گازی با طیف‌سنج جرمی[1] (GC/Mass) (مدل Agilent 5973، ساخت کشور آمریکا) و کروماتوگرافی گازی[2] (GC) (مدل Younglin Acme 6000، ساخت کشور کره جنوبی) پژوهشکده گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی کرج استفاده گردید. پس از تزریق اسانس به دستگاه‌های نامبرده، شناسایی ترکیبات تشکیل-دهنده اسانس به کمک زمان بازداری ترکیب‌ها، شاخص بازداری طیف جرمی و مقایسه این پارامترها با شاخص‌های موجود در کتاب مرجع (Adams, 2007) و با استفاده از طیف‌های جرمی ترکیب‌های استاندارد و اطلاعات موجود در کتابخانه کامپیوتری صورت گرفت. درصد نسبی این ترکیب‌ها نیز با محاسبه سطوح زیر منحنی در کروماتوگرام‌ها محاسبه شد (Adams, 2007).

جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ استفاده گردید و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار[3] (LSD) در سطح احتمال پنج درصد، انجام گرفت.

نتایج و بحث

عملکرد اندام رویشی

تأثیر تیمارهای مختلف بر عملکرد اندام رویشی در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که عملکرد اندام رویشی در تیمار مصرف ۱۲ تن ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی (۲۶۰۱/۶ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با شاهد (۹۸۸/۰ کیلوگرم در هکتار) در حدود دو و نیم برابر بیشتر بود، امّا با سایر تیمارهای کود آلی و زیستی اختلاف آماری نداشت (جدول ۳) که این موضوع می‌تواند تا حدود زیادی به تأثیرگذاری تقریباً یکسان تیمارهای جداگانه و تلفیقی کودهای آلی و زیستی بر وزن خشک بوته و در نهایت، عملکرد اندام رویشی، مربوط باشد. در همین رابطه، گواهی و همکاران (Govahi et al., 2017) نشان دادند که مصرف تلفیقی ۸ تن ورمی‌کمپوست و باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن، موجب افزایش معنی‌دار عملکرد اندام رویشی در گیاه مریم گلی در مقایسه با شاهد شد. آنان اظهار داشتند اثرات مثبت و هم‌افزایی بین ورمی‌کمپوست و باکتری از طریق تأثیر مثبت آن‌ها بر بستر رشد، افزایش سطح ریشه و جذب بیشتر عناصر غذایی، موجب افزایش فعالیت‌های فتوسنتزی، رشد و عملکرد گیاه می‌گردند. در پژوهشی روی گیاه بابونه نیز مشاهده شد که مصرف ۸ تن ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی نیتروکسین موجب بهبود قابل توجه عملکرد گل گردید (Haj Ali Araghi et al., 2019). آن‌ها بیان داشتند مصرف کود زیستی نیتروکسین در کنار ورمی‌کمپوست، علاوه‌بر تثبیت نیتروژن با کمک به افزایش جمعیت و فعالیت ریزجانداران مفید خاک در جهت فراهمی بیشتر عناصر معدنی عمل کرده و سبب بهبود رشد و عملکرد گل می‌شود.

1- Gas chromatography- mass spectrometry
2 - Gas chromatography
3- Least significant difference

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر کمپوست، ورمی‌کمپوست و کود زیستی بر صفات مورد مطالعه در گیاه زوفا

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of effect of compost, vermicompost and biofertilizer on studied traits in hyssop

منابع تغییرات S. O. V	درجه آزادی d.f	عملکرد اندام رویشی Herb yield	درصد اسانس Essential oil percent	عملکرد اسانس Essential oil yield	درصد سیس پینوکامفون Cis pinocamphone percent	درصد ترانس پینوکامفون Trans pinocamphone percent	درصد بتافلاندرن Beta phellandrene percent	درصد تیمول Thymol percent	درصد والریانول Valerianol percent	درصد فیتول Phytol percent
تکرار Replication	2	136231.4 ^{ns}	0.0015 ^{ns}	0.5261 ^{ns}	2.3976 ^{ns}	0.4591 ^{ns}	1.2924 ^{ns}	0.1999 ^{ns}	0.2485 ^{ns}	0.0003 ^{ns}
تیمار Treatment	7	772283.4 **	0.0023 **	4.559 *	176.1 **	156.6 **	4.487 **	1.993 **	7.385 **	2.041 **
خطا Error	14	139714.08	0.0007	1.103	5.594	0.5028	0.5768	0.1246	0.1011	0.0024
ضریب تغییرات CV (%)		17.21	17.18	29.21	4.92	6.33	9.57	8.88	11.60	4.60

ns ، * و ** : به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

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

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر کودهای آلی و زیستی بر خصوصیات کمی و کیفی اسانس زوفا

Table 3- Mean comparison of organic and bio-fertilizers effect on quantitative qualitative characteristics of hyssop essential oil

تیمار Treatments	عملکرد اندام رویشی Herb yield ($kg.ha^{-1}$)	درصد اسانس Essential oil percent (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield ($kg.ha^{-1}$)	درصد سیس پینوکامفون Cis pinocamphone percent (%)	درصد ترانس پینوکامفون Trans pinocamphone percent (%)	درصد بتافلاندرن Beta phellandrene percent (%)	درصد تیمول Thymol percent (%)	درصد والریانول Valerianol percent (%)	درصد فیتول Phytol percent (%)
کمپوست Compost (20 $t.ha^{-1}$)	2308.9	0.123	2.81	35.84	3.80	7.34	3.28	5.36	2.19
ورمی‌کمپوست Vermicompost (12 $t.ha^{-1}$)	2218.1	0.153	3.38	51.02	7.47	6.76	4.56	2.82	1.29
کود زیستی Biofertilizer	2215.6	0.160	3.55	45.64	14.62	8.15	4.53	2.56	1.48
کمپوست + ورمی‌کمپوست Compost (10 $t.ha^{-1}$) + Vermicompost (6 $t.ha^{-1}$)	2108.3	0.176	3.80	47.76	19.47	8.49	2.92	1.65	0.10
کمپوست + کود زیستی Compost (20 $t.ha^{-1}$) + Biofertilizer	2377.1	0.176	4.11	48.33	19.26	8.83	4.95	1.79	0.17
ورمی‌کمپوست + کود زیستی Vermicompost (12 $t.ha^{-1}$) + Biofertilizer	2601.6	0.200	5.21	46.11	5.07	5.86	2.90	4.79	2.12
کمپوست + ورمی‌کمپوست + کود زیستی Compost (10 $t.ha^{-1}$) Vermicompost (6 $t.ha^{-1}$) + Biofertilizer	2554.9	0.176	4.70	63.56	2.50	9.71	4.49	0.84	0.49
شاهد Control	988.0	0.120	1.18	46.31	17.41	8.29	4.15	2.10	0.75
LSD value	654.5	0.048	1.83	4.14	1.24	1.33	0.61	0.55	0.08

نتایج دو تحقیق دیگر نیز مبین آن بود که مصرف تلفیقی ۵۰ درصد کمپوست با ۵۰ درصد کود اوره و کاربرد توأم ۶ تن ورمی‌-کمپوست و نیتروکسین، به‌ترتیب باعث افزایش معنی‌دار عملکرد اندام رویشی گیاه بادرشبی و عملکرد گل گیاه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) شد (Yousefzadeh et al., 2013; Mojtabavi & Darzi, 2018).

درصد اسانس

تأثیر تیمارهای مختلف بر درصد اسانس در سطح یک درصد معنی‌دار گردید ($p<0.01$) (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که میزان اسانس در تیمار مصرف ۱۲ تن ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی (۰/۲۰۰ درصد) در مقایسه با دو تیمار مصرف ۲۰ تن کمپوست (۰/۱۲۳ درصد) و شاهد (۰/۱۲۰ درصد) به‌ترتیب در حدود ۶۳ و ۶۷ درصد بیشتر بود، امّا با سایر تیمارهای کود آلی و زیستی اختلاف آماری نداشت (جدول ۳). سایر تیمارهای تلفیقی (کمپوست + ورمی‌کمپوست، کمپوست + کود زیستی و کمپوست + ورمی‌کمپوست + کود زیستی) نیز برتری معنی‌داری از نظر درصد اسانس نسبت به شاهد داشتند و این در حالی است که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای منفرد کود آلی و زیستی با شاهد مشاهده نشد. از آنجائی که حضور عناصری نظیر نیتروژن و فسفر برای تشکیل اسانس ضروری می‌باشد (Loomis & Corteau, 1972)، لذا به نظر می‌رسد در تیمارهای ترکیبی و به‌ویژه تیمار مصرف تلفیقی ۱۲ تن ورمی‌-کمپوست و کود زیستی، کود آلی و زیستی دارای یک اثر مثبت و افزایشی روی هم بوده به‌طوری‌که کود آلی موجب بهبود فعالیت باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن موجود در کود زیستی شده و در مجموع، از طریق فراهمی جذب مطلوب فسفر و نیتروژن و نقشی که این عناصر در تولید کلروفیل و تأمین آنزیم‌های مورد نیاز گیاه دارند، باعث افزایش بافت‌های فتوسنتزی و متعاقب آن افزایش میزان اسانس شده است (Mohammadpour Vashvaei et al., 2015). در همین رابطه، در پژوهشی روی مرزه (*Satureja hortensis* L.) مشاهده شد که مصرف ترکیبی کودهای زیستی (نیتروکسین + بیوفسفر + بیوسولفور) موجب افزایش درصد اسانس شد (Gholami Sharafkhaneh et al., 2015). آنان اذعان داشتند که در تیمار تلفیقی به‌علت بهبود ویژگی‌های رشدی نظیر سطح برگ و ماده خشک گیاه، درصد اسانس نیز افزایش یافته بود. تحقیقات حاج علی عراقی و همکاران (Haj Ali Araghi et al., 2019) بر روی بابونه و درزی و حاج سیدهادی (Darzi & Haj Seyed Hadi, 2017) بر روی بادرشبی نیز بیانگر بهبود میزان اسانس در اثر مصرف به‌ترتیب ۸ تن ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی نیتروکسین و ۱۰ تن ورمی‌کمپوست بود. همچنین گواهی و همکاران (Govahi et al., 2016) نیز نشان دادند که مصرف تلفیقی ۸ تن ورمی‌کمپوست و باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن، موجب افزایش بارز میزان اسانس در گیاه مریم گلی شد. آنان اظهار داشتند که کاربرد ترکیبی کودهای آلی و زیستی مذکور با تأمین عناصر غذایی و تثبیت زیستی نیتروژن سبب سهولت و تسریع انجام واکنشهای شیمیایی جهت تولید ترکیبات ترپنی اسانس و در نهایت، میزان اسانس می‌گردند. در پژوهشی روی گیاه بادرنجبویه نیز مشاهده شد که مصرف تلفیقی کود آلی (۲۰ تن کود دامی) و کود زیستی (نیتروکسین) موجب بهبود قابل توجه مقدار اسانس گردید (Razipour et al., 2016). نتایج دو تحقیق دیگر روی گیاهان آویشن (*Thymus vulgaris* L.) و انیسون (*Pimpinella anisum* L.) نیز مبین آن بود که کاربرد ۱۰ تن ورمی‌کمپوست، باعث افزایش معنی‌دار میزان اسانس شد (Golami Ganje et Bahadori & Ghorbanian, 2018; al., 2019). این محققین اظهار داشتند کاربرد منابع آلی نسبت به منابع شیمیایی، شرایط بهتری را برای تولید اسانس در گیاه ایجاد می‌-کند، به‌طوری‌که افزودن ورمی‌کمپوست به خاک، ضمن ایجاد یک بستر مناسب برای رشد ریشه سبب افزایش رشد، تسریع واکنش‌های متابولیسمی، افزایش سنتز و تجمع متابولیت‌ها و در نهایت، بهبود میزان اسانس می‌شود. یافته‌های سایر پژوهشگران بر روی گیاهان مرزه، رازیانه و ریحان نیز بیانگر افزایش میزان اسانس در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست و کود زیستی بود (Rezvani Moghaddam et al., 2013; Akbari & Gholami, 2016; Asheghi et al., 2018).

عملکرد اسانس

تأثیر تیمارهای مختلف در سطح پنج درصد بر عملکرد اسانس معنی دار بود (جدول ۲). عملکرد اسانس در تیمار مصرف ۱۲ تن ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی (۵/۲۱ کیلوگرم در هکتار) در

مقایسه با دو تیمار کاربرد ۲۰ تن کمپوست (۲/۸۱ کیلوگرم در هکتار) و شاهد (۱/۱۸ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب در حدود ۸۵ و ۳۴۱ درصد بیشتر بود و با سایر تیمارهای کود آلی و زیستی تفاوت آماری نداشت (جدول ۳). از آنجائی که عملکرد اسانس تحت تأثیر مستقیم عملکرد خشک پیکره رویشی و میزان اسانس قرار دارد و این دو ویژگی نیز در تیمار کاربرد تلفیقی ۱۲ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی (باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم*) به بیشترین مقدار خود رسید، لذا می‌توان انتظار داشت که عملکرد اسانس در این تیمار نیز بیشترین باشد. یافته‌های یک پژوهش بر روی مریم گلی نیز آشکار کرد که مصرف توأم ورمی‌کمپوست (۸ تن در هکتار) و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن باعث افزایش قابل توجه عملکرد اسانس شد (Govahi et al., 2016). آن‌ها بهبود عملکرد اسانس را به اثر مثبت ورمی‌کمپوست و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن بر روی درصد اسانس و عملکرد خشک پیکره رویشی نسبت دادند. در پژوهشی دیگر روی گیاه بالنگو شهری (*Lallemantia iberica* Fischer & C.A. Meyer) مشخص شد که عملکرد اسانس در تیمارهای مصرف تلفیقی ۱۰ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی (باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل کننده فسفات) و کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست (۷۵ درصد)، کود زیستی و کود شیمیایی (۲۵ درصد) به طرز بارزی بیشتر از تیمار کود شیمیایی بود (Rezaei Chiyaneh et al., 2019). این محققین اظهار داشتند مصرف کودهای زیستی و آلی شرایط را برای جذب عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن و فسفر مهیا کرده و باعث افزایش درصد اسانس و متعاقب آن افزایش عملکرد اسانس شده است. نتایج تحقیقات زراعی بر روی گیاهان بادرشبی، رازیانه، بابونه، ریحان و همیشه بهار نیز مؤید این موضوع بود که کاربرد ورمی‌کمپوست و کود زیستی موجب بهبود بارز عملکرد اسانس گردید (Akbari & Darzi & Haj Seyed Hadi, 2017; Gholami, 2016; Haj Ali Araghi et al., 2019; Asheghi et al., 2018; Mojtabavi & Darzi, 2018).

درصد سیس‌پینوکامفون در اسانس

تأثیر تیمارهای مختلف در سطح یک درصد بر درصد سیس-پینوکامفون معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری در بین آن‌ها بود، به‌نحوی که درصد سیس-پینوکامفون در اسانس در تیمار مصرف تلفیقی ۱۰ تن کمپوست، ۶ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی (۶۳/۵۶ درصد) در مقایسه با سایر تیمارها به‌طور معنی‌داری برتری داشت و این برتری نسبت به تیمارهای ۲۰ تن کمپوست (۳۵/۸۴ درصد)، کود زیستی (۴۵/۶۴ درصد)، ۱۲ تن ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی (۴۶/۱۱ درصد) و شاهد (۴۶/۳۱ درصد) به مراتب بیشتر بود (جدول ۳). می‌توان اظهار داشت که مصرف توأم کودهای آلی (کمپوست و ورمی‌کمپوست) و زیستی (باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم*) که از سلامت و ارزش کیفی بالایی برخوردار بوده، غنی از ریزجانداران مفید خاکزی، عناصر غذایی پر و کم مصرف بوده، با آزادسازی تدریجی عناصر غذایی، ضمن بهبود مناسب رشد گیاه و تأثیر مثبت احتمالی آن بر ترکیب اسانس، سبب افزایش درصد سیس‌پینوکامفون در اسانس گیاه زوفا شده و در نتیجه، کیفیت اسانس این گیاه را بهبود بخشید. در همین رابطه، در تحقیقی روی رازیانه آشکار شد که مصرف ترکیبی کودهای آلی و زیستی (۸ تن ورمی‌کمپوست و قارچ میکوریزا) سبب افزایش درصد آنتول در اسانس گردید (Akbari & Gholami, 2016). این پژوهشگران دریافتند که کاربرد تلفیقی کودهای آلی و زیستی مذکور از طریق تأثیر بر جذب عناصر غذایی و بهره‌گیری مطلوب از عوامل رشدی توسط گیاه رازیانه، موجب افزایش میزان آنتول در اسانس شده است. در پژوهشی روی بابونه نیز مشاهده گردید که مصرف ترکیبی ۸ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی نیتروکسین موجب افزایش درصد کامازولن اسانس شد (Haj Ali Araghi et al., 2019). آن‌ها افزایش کیفیت اسانس بابونه را به تأمین مناسب عناصر غذایی و متعاقب آن، بهبود گل‌دهی بابونه و اسانس آن در اثر کاربرد کودهای آلی و زیستی مذکور، نسبت دادند. در تحقیقی دیگر روی بادرشبی آشکار گردید که مصرف تلفیقی کود آلی و زیستی (۲۰ تن کود دامی و بیوسوپرفسفات) موجب افزایش کیفیت اسانس (درصد ژرانیل استات) شد (Miri & Darzi, 2018). سایر تحقیقات انجام گرفته روی گیاهان مریم گلی، بادرشبی، بابونه و گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) نیز مؤید افزایش کیفیت اسانس در اثر کاربرد تلفیقی کودهای آلی و زیستی است (Naguib, 2003; Hussein et al., 2006; Darzi & Haj Seyed Hadi, 2014; Govahi et al., 2017).

درصد ترانس‌پینوکامفون در اسانس

تأثیر تیمارهای مختلف کاربرد کودهای آلی و زیستی در سطح

یک درصد بر درصد ترانس‌پینوکامفون در اسانس معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها، تفاوت قابل توجهی را بین آن‌ها نشان داد، به‌نحوی که درصد ترانس‌پینوکامفون در تیمار مصرف تلفیقی ۱۰ تن کمپوست و ۶ تن ورمی‌کمپوست (۱۹/۴۷ درصد)، تفاوت آماری با تیمار کاربرد تلفیقی ۲۰ تن کمپوست و کود زیستی (۱۹/۲۶ درصد) نداشت، ولی در مقایسه با سایر تیمارها برتری قابل توجهی داشت به‌طوری که به‌ویژه نسبت به تیمار مصرف تلفیقی ۱۰ تن کمپوست، ۶ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی (۲/۵۰ درصد)، چند برابر آن بوده است (جدول ۳). افزایش درصد ترانس‌پینوکامفون در دو تیمار مصرف تلفیقی ۱۰ تن کمپوست، ۶ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی و نیز کاربرد توأم ۲۰ تن کمپوست و کود زیستی، علاوه‌بر تأثیر تغذیه‌ای کودهای آلی و زیستی مورد استفاده در تشکیل این ترکیب، می‌تواند به‌دلیل کاهش محسوس سایر اجزاء مهم اسانس، به‌ویژه سیس-پینوکامفون در این تیمار باشد. در همین ارتباط، در تحقیقی روی رازیانه مشاهده شد که مصرف ۱۰ تن ورمی‌کمپوست سبب افزایش درصد ترانس آنتول و کاهش درصد متیل کاویکول و لیمونن در اسانس در مقایسه با شاهد گردید (Mohammadi & Rezaei Chiyaneh, 2019). آن‌ها اظهار داشتند که دسترسی بهتر و بیشتر عناصر غذایی از طریق مصرف ورمی‌کمپوست، منجر به افزایش ترکیب اصلی اسانس (ترانس آنتول) شد. گزارش یک پژوهش روی گیاه زنیان نیز حاکی از آن بود که مصرف تلفیقی کودهای آلی (ورمی‌کمپوست و اسید هیومیک)، موجب افزایش درصد تیمول و پارا-سیمن در اسانس شد (Khalesro & Malekian, 2017). آنان اظهار داشتند که کاربرد نهاده‌های آلی با منشأ طبیعی، علاوه‌بر سازگاری بالا با محیط زیست، موجب بهبود خصوصیات کمّی و کیفی گیاه دارویی زنیان می‌شود. همچنین در پژوهشی روی رازیانه، نشان داده شد هنگامی که از کودهای زیستی به‌صورت تلفیقی با ورمی-کمپوست استفاده شد، درصد آنتول در اسانس و کیفیت آن افزایش یافت (Moradi et al., 2011). در پژوهش‌های مرتبط با تأثیر مصرف کودهای آلی (دامی و ورمی‌کمپوست) روی گیاهان گشنیز، ریحان و انیسون، افزایش برخی ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس (به-ترتیب آلفاپینن، بورنیل استات و آنتول) در اثر کاهش دیگر اجزاء آن (به‌ترتیب ژرانیل استات، بتاپینن و استراگول)، مورد تأکید قرار گرفته است (Darzi & Haj Seyed Hadi, 2013; Darzi et al., 2014; Rahmanian et al., 2017).

درصد بتافلاندرن در اسانس

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس آزمایش (جدول ۲)، نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف کودهای آلی و زیستی در سطح احتمال یک درصد بر درصد بتافلاندرن در اسانس معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که در بین تیمارها تفاوت معنی‌داری وجود داشت، به‌طوری‌که درصد بتافلاندرن در اسانس در تیمار مصرف تلفیقی ۱۰ تن کمپوست، ۶ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی (۹/۷۱ درصد) در مقایسه با پنج شاهد (۸/۲۹ درصد)، کاربرد کود زیستی (۸/۱۵ درصد)، مصرف ۲۰ تن کمپوست (۷/۳۴ درصد)، کاربرد ۱۲ تن ورمی‌کمپوست (۶/۷۶ درصد) و کاربرد تلفیقی ۱۲ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی (۵/۸۶ درصد) به‌ترتیب در حدود ۱۷، ۱۹، ۳۲، ۴۴ و ۶۶ درصد بیشتر بود و با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد افزایش درصد بتافلاندرن در اسانس در تیمار مصرف توأم کمپوست، ورمی‌کمپوست و کود زیستی، به‌دلیل اثرات افزایشی و تشدیدکننده آن‌ها بر آزادسازی و جذب مطلوب عناصر معدنی و نیز نگه‌داری و دسترسی به‌موقع به آب و پیامد آن افزایش رشد و کیفیت اسانس (درصد بتافلاندرن) در پیکره رویشی گیاه زوفا باشد و این در حالی است که این افزایش بارز در درصد بتافلاندرن، در تیمارهای منفرد کود زیستی و کود آلی مشاهده نشد. به‌طور کلی، افزایش کمی ترکیبات اسانس در گیاهان در نتیجه فراهمی مناسب عناصر غذایی نظیر نیتروژن در افزایش زیست‌توده برگ می‌باشد که منجر به افزایش ظرفیت فتوسنتزی و در نتیجه، تأمین مواد مورد نیاز برای بیوسنتز ترکیبات اسانس خواهد شد (Ormeno & Fernandez, 2012). در پژوهشی روی رازیانه نیز مشاهده گردید که دو تیمار مصرف تلفیقی ورمی‌کمپوست و کمپوست و مصرف تلفیقی ورمی‌کمپوست و کود زیستی (حاوی باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن)، موجب افزایش درصد آنتول اسانس شد (Moradi et al., 2011). این پژوهشگران اذعان داشتند که عرضه عناصر غذایی از منابع تلفیقی آلی و زیستی که متناسب با مراحل رشدی گیاه می‌باشد باعث افزایش میزان آنتول و بهبود کیفیت اسانس گردید. در یک مطالعه زراعی روی گیاه همیشه‌بهار هم مشاهده شد که مصرف تلفیقی ۶ تن ورمی‌کمپوست و نیتروکسین، باعث افزایش معنی‌دار درصد آلفاکادینول در اسانس در مقایسه با تیمارهای مصرف منفرد ۱۲ و ۱۸ تن ورمی‌کمپوست شد (Mojtabavi & Darzi, 2018).

درصد تیمول در اسانس

تأثیر تیمارهای مختلف حاوی کودهای آلی و زیستی در سطح احتمال یک درصد بر درصد تیمول در اسانس معنی‌دار گردید (جدول ۲). بین تیمارهای مختلف از نظر درصد تیمول تفاوت قابل توجهی وجود داشت، به‌طوری‌که درصد تیمول در تیمار تلفیقی مصرف ۲۰ تن کمپوست و کود زیستی (۴/۹۵ درصد) در مقایسه با شاهد (۴/۱۵ درصد) و تیمارهای مصرف ۲۰ تن کمپوست (۳/۲۸ درصد)، کاربرد تلفیقی ۱۰ تن کمپوست و ۶ تن ورمی‌کمپوست (۲/۹۲ درصد) و مصرف تلفیقی ۱۲ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی (۲/۹۰ درصد) به‌طور معنی‌داری بیشتر بود، امّا با سایر تیمارها از جمله تیمار مصرف تلفیقی ۱۰ تن کمپوست، ۶ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی (۴/۴۹ درصد) اختلاف آماری نداشت (جدول ۳). بهبود درصد تیمول در تیمار مصرف تلفیقی کمپوست و کود زیستی، علاوه‌بر تأثیر تغذیه‌ای این دو منبع آلی و زیستی در تشکیل این ترکیب، می‌تواند به‌دلیل تقلیل محسوس سایر اجزای مهم اسانس، شامل سیس‌پینوکامفون و والریانول در این تیمار باشد. در همین ارتباط، در تحقیقی روی بادرشبی مشاهده شد که مصرف تلفیقی ۱۰ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی سبب افزایش درصد نرال و متعاقب آن کاهش درصد ژرانیول در اسانس گردید (Darzi & Haj Seyed Hadi, 2017). در یافته‌های سایر محققین هم در ارتباط با کاربرد کودهای آلی و زیستی روی گیاهان زنیان، به‌لیمو (*Lippia citriodora* Kunth) و همیشه بهار، افزایش برخی ترکیبات اسانس (به‌ترتیب تیمول، گاما المن و آلفا کادینول) در اثر تقلیل سایر اجزای آن (به‌ترتیب پارا سیمن، لیمونن و مورولن) مورد تأیید قرار گرفته است (Akbarinia et al., 2004; Ebadi et al., 2016; Mojtabavi & Darzi, 2018).

درصد والریانول و فیتول در اسانس

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس آزمایش (جدول ۲)، نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف کودهای آلی و زیستی در سطح یک درصد بر درصد والریانول و فیتول در اسانس معنی‌دار بود. مقایسه میانگین تیمارها نیز، تفاوت محسوسی را بین آن‌ها نشان داد به‌طوری‌که بیشترین مقدار والریانول (۵/۳۶ درصد) و فیتول (۲/۱۹ درصد) در اسانس در تیمار کاربرد ۲۰ تن کمپوست مشاهده شد (جدول ۳). با توجه به کاهش معنی‌دار سایر اجزای مهم اسانس، نظیر سیس‌پینوکامفون، بتافلاندرن و تیمول در تیمار مصرف ۲۰ تن کمپوست، محتمل به‌نظر می‌رسد که این تقلیل، با افزایش درصد والریانول و فیتول در اسانس جبران شده باشد. در همین رابطه، در پژوهشی روی مریم گلی مشخص شد که مصرف ۸ تن ورمی‌کمپوست موجب کاهش درصد ۱ و ۸ سینئول اسانس و افزایش درصد آلفاتوجون اسانس گردید (Govahi et al., 2017). این مسئله به‌وضوح در یافته‌های سایر پژوهشگران روی گیاهان بابونه، ریحان، رازیانه و انیسون گزارش شده است (Anwar et al., 2005; Khalid et al., 2006; Moradi et al., 2011; Darzi et al., 2013; Haj Ali Araghi et al., 2019).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مصرف تلفیقی کودهای آلی و زیستی به‌طور قابل توجه و مثبتی بر عملکرد، مقدار و ترکیب اسانس زوفا مؤثر بوده به نحوی که بیشترین عملکرد اندام رویشی، درصد اسانس و عملکرد آن در تیمار مصرف تلفیقی ۱۲ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی به‌دست آمد. همچنین بهترین کیفیت اسانس در تیمار تلفیقی کاربرد ۱۰ تن کمپوست، ۶ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی مشاهده شد که دارای بیشترین ترکیبات سیس-پینوکامفون (ترکیب غالب) و بتافلاندرن در اسانس زوفا بوده و از نظر ترکیب تیمول هم اختلاف آماری با تیمار برتر مربوطه نداشته است. طبیعی است که این افزایش در ترکیبات نام‌برده، منجر به کاهش محسوس در سایر اجزای اسانس شامل ترانس‌پینوکامفون، فیتول و والریانول در تیمار ترکیبی کاربرد ۱۰ تن کمپوست، ۶ تن ورمی-کمپوست و کود زیستی شده است. در مجموع، به نظر می‌رسد که در تحقیق حاضر، کاربرد تلفیقی کودهای آلی و زیستی از طریق فراهمی مناسب عناصر غذایی منجر به افزایش زیست‌توده و ظرفیت فتوسنتزی شده و با تأمین مواد مورد نیاز گیاه زوفا، موجب بهبود درصد اسانس و ترکیبات آن شده است.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مدیر و کلیه کارکنان شرکت کشاورزی و دامپروری ران در شهرستان فیروزکوه که صمیمانه ما را در انجام این تحقیق یاری نموده‌اند، تشکر می‌کنیم.

References

Adams, R.P., 2007. Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry, Fourth ed. Allured Publishing Corporation, Illinois.

Akbari, I., and Gholami, A., 2016. Evaluation of mycorrhizal fungi, vermicompost and humic acid on essence yield and root colonization of fennel. Iranian Journal of Field Crops Research 13: 840-853. (In Persian with English Summary)

Akbarinia, A., Ghalavand, A., Sefidkon, F., Rezaee, M.B., and Sharifi Ashoorabadi, E., 2004. Study on the effect of different rates of chemical fertilizer ,manure and mixture of them on seed yield and main, compositions of essential oil of Ajowan (*Trachyspermum copticum*). Pajouhesh and Sazandegi 61: 32-41. (In Persian with English Summary)

Anwar, M., Patra, D.D., Chand, S., Alpesh, K., Naqvi, A.A., and Khanuja, S.P.S., 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. Communications in Soil Science and Plant Analysis 36: 1737-1746.

Arancon, N., Edwards, C.A., Bierman, P., Welch, C., and Metzger, J.D., 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. Bioresource Technology 93: 145-153.

Asheghi, P., Darzi, M.T., and Haj Seyed Hadi, M.R., 2018. Effects of organic and bio-fertilizers on biomass yield and quantity and quality of essential oil of green basil (*Ocimum basilicum* L.) in Firouzkuh region. Iranian Journal of Horticultural Science 49: 199-211. (In Persian with English Summary)

Bahadori, F., and Ghorbanian, D., 2018. Evaluation of vermicompost and arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus intraradices*) efficiency on essential oil and dry herb yield of *Thymus vulgaris* in the field conditions. Plant Productions Technology 18: 81-91. (In Persian with English Summary)

Darzi, M.T., Haj Seyed Hadi, M.R., and Rejali, F., 2013. Effects of vermicompost and phosphatic biofertilizer application on quantity and quality of essential oil in anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 29: 583-594. (In Persian with English Summary)

Darzi, M.T., and Haj Seyed Hadi, M.R., 2014. Response of concentration and composition of essential oil of coriander (*Coriandrum sativum* L.) to cattle manure and nitrogen fixing bacteria. Ethno-Pharmaceutical Products 1: 35-42.

Darzi, M.T., and Haj Seyed Hadi, M.R., 2017. The effects of manure, vermicompost, nitroxin and bio-superphosphat application on quantity and quality of essential oil of dragonhead. Crops Improvement 19: 543-560. (In Persian with English Summary)

Darzi, M.T., and Miri, H., 2018. Effects of manure and phosphate solubilizing biofertilizer on growth, yield and essential oil quality of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) in Firouzkuh region. Iranian Journal of Field Crop Science 49: 35-45. (In Persian with English Summary)

Darzi, M.T., and Mojtabavi, K., 2018. Effects of vermicompost and nitroxin application on flower yield, yield components and essential oil quality of marigold (*Calendula officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 33: 1034-1046. (In Persian with English Summary)

Ebadi M.T., Azizi, M., Sefidkon, F., and Ahmadi, N., 2016. Effects of organic and chemical fertilizers on leaf yield, percent and essential oil components of *Lippia citriodora* Kunth. Journal of Horticultural Science 30: 293-302. (In Persian with English Summary)

El Ghadban, E.A.E., Shalan, M.N., and Abdel, L.T.A.T., 2006. Influence of biofertilizers on growth, volatile oil yieldand constituents of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Egyptian Journal of Agricultural Research 84: 977-992.

Gholami Ganje, S., Salehi, A., Shahrasbi, S., and Amirinasab, A.M., 2019. Evaluation the effect of vermicompost different levels and mycorrhiza fungi on yield and essential oil production of Anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Horticultural Science 50: 325-335. (In Persian with English Summary)

Gholami Sharafkhaneh, E., Jahan, M., Banayan Avval, M., Koocheki, A.R., and Rezvani Moghaddam, P., 2015. The effect of organic, bio and chemical biofertilizers on some agroecological characteristics, yield and essential oil of *Satureja hortensis* L. in Mashhad conditions. Journal of Agroecology 7: 179-189. (In Persian with English Summary)

Govahi, M., Ghalavand, A., Nadjafi, F., and Sorooshzadeh, A., 2016. Effects of different soil fertility systems on some physiological characteristics, yield and essential oil of sage (*Salvia officinalis* L.) under different irrigation regimes. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 32: 333-345. (In Persian with English Summary)

Govahi, M., Ghalavand, A., Nadjafi, F., and Sorooshzadeh, A., 2017. Effects of vermicompst, bio and nitrogen fertilizers on quantitative and qualitative yield of sage (*Salvia officinalis* L.) under different humidity condition. Journal of Agroecology 9: 445-457. (In Persian with English Summary)

Haj Ali Araghi, M., Darzi, M.T., and Haj Seyed Hadi, M.R., 2019. Integrated application of vermicompost and nitroxin and quantitative and qualitative characteristics of germanchamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Journal of Agriculture Science and Sustainable Production 29: 85-99. (In Persian with English Summary)

Hussein, M.S., El-Sherbeny, S.E., Khalil, M.Y., Naguib, N.Y., and Aly, S.M., 2006. Growth characters and chemical constituents of *Dracocephalum moldavica* L. plants in relation to compost fertilizer and planting distance. Scientia Horticulturae 108: 322-331.

Kamayestani, N., Rezvani Moghaddam, P., Jahan, M., and Rejali, F., 2015. Effects of separated and integrated application of bio and organic fertilizers on some quantitative and qualitative characteristics of anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 13: 62-70. (In Persian with English Summary)

Kapoor, R., Giri, B., and Mukerji, K.G., 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* Mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. Bioresource Technology 93: 307-311.

Khalesro, S., and Malekian, M., 2017. Effects of vermicompost and humic acid on morphological traits, yield, essential oil content and component in organic farming of ajwan (*Trachyspermum ammi* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 32: 968-980. (In Persian with English Summary)

Khalid, K.H.A., Hendawy, S.F., and El Gezawy, E., 2006. *Ocimum basilicum* L. production under organic farming. Research Journal of Agriculture and Biological Sciecnes 2: 25-32.

Kizil, S., Hasimi, N., Tolan, V., Kilinc, E., and Karatas, H., 2010. Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) essential oil. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 38: 99-103.

Loomis, W.D., and Corteau, R., 1972. Essential oil biosynthesis. Recently Advance in Phytochemistry 6: 147-185.

Mahfouz, S.A., and Sharaf Eldin, M.A., 2007. Effect of mineral vs. biofertilizer on growth, yield, and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill). International Agrophisics 21: 361-366.

Moghtader, M., 2014. Comparative evaluation of the essential oil composition from the leaves and flowers of *Hyssopus officinalis* L. Journal of Horticulture and Forestry 6: 1-5.

Mohammadi, H., and Rezaei Chiyaneh, E., 2019. Effect of vermicompost application on seed yield and quality in fababean (*Vicia faba* L.) and fennel (*Foeniculum vulgare* L.) intercropping. Iranian Journal of Crop Sciences 21: 139-154. (In Persian with English Summary)

Mohammadpour Vashvaei, R., Galavi, M., Ramroodi, M., and Fakheri, B.A., 2015. Effects of drought stress and biofertilizers inoculation on growth, yield and essential oil compositions of thyme (*Thymus vulgaris* L.). Journal of Agroecology 7: 237-253. (In Persian with English Summary)

Mojtabavi, K., and Darzi, M.T., 2018. Effects of vermicompost and nitroxin application on flower yield, yield components and essential oil quality of marigold (*Calendula officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 33: 1034-1046. (In Persian with English Summary)

Moradi, R., Nassiri Mahallati, M., Rezvani Moghaddam, P., Lakzian, A., and Nejad Ali, A., 2011. The effect of application of organic and biological fertilizers on quantity and quality of essential oil in fennel (*Foeniculum vulgare*). Journal of Horticultural Science 25: 25-33. (In Persian with English Summary)

Moro, A., Zalacain, A., De Mendoza, J.H., and Carmona, M., 2011. Effects of agronomic practices on volatile composition of *Hyssopus officinalis* L. essential oils. Molecules 16: 4131-4139.

Naguib, N.Y., 2003. Impact of mineral nitrogen fertilizer and organic compost on growth, herb and chemical composition of german chamomile (*Chamomilla recutita* L.). Egyptian Journal of Applied Science 18: 301–323.

Omidbaigi, R., 2000. Production and Processing of Medicinal Plants. Volume 3, Behnashr Co. 397 p. (In Persian)

Ormeno, E., and Fernandez, C., 2012. Effect of soil nutrient on production and diversity of volatile terpenoids from plants. Current Bioactive Compounds 8: 71-79.

Pandey, V., Verma, R.S., Chauhan, A., and Tiwari, R., 2014. Compositional variation in the leaf, flower and stem essential oils of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) from western-himalaya. Journal of Herbal Medicine 4: 89-95.

Rahmanian, M., Esmaielpour, B., Hadian, J., Shahriari, M.H., and Fatemi, H., 2017. The Effect of organic fertilizers on morphological traits, essential oil content and components of basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Agriculture Science and Sustainable Production 27: 103-118. (In Persian with English Summary)

Razipour, P., Golchin, A., and Daghestani, M., 2016. Effects of different levels of cow manure and inoculation with nitroxin on growth and performance of *Melissa officinalis* L. Iranian Journal of

Medicinal and Aromatic Plants 32: 807-823. (In Persian with English Summary)

Rezaei Chiyaneh, E., Faridvand, S., Amirnia, R., Mahdavikia, H., and Rahimi, A., 2019. Effect of organic and biofertilizers on yield and some qualitative characteristics of the dragon's head (*Lallemantia iberica*) in dryfarming conditions. Journal of Agriculture Science and Sustainable Production 28: 25-40. (In Persian with English Summary)

Rezvani Moghaddam, P., Amin Ghafouri, A., Bakhshaei, S., and Jafari, L., 2013. Effects of bio and organic fertilizers on some quantitative traits and essential oil content of summer savory (*Satureja hortensis* L.). Journal of Agroecology 5: 105-112. (In Persian with English Summary)

Salehi Surmeghi, M.H., 2008. Medicinal Plants and Phytotherapy. Volume 2, Doniaye Taghzieh. 377 p. (In Persian)

Sefidkon, F., 2001. Evaluation of qualitative and quantitative essential oil fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) in different stages of growth. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 7: 85-104. (In Persian with English Summary)

Sharma, A.K., 2002. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Agrobios, India, 407 p.

Soleymany, F., and Pirzad, A.R., 2016. The effect of mycorrhizal fungi on the oxidant enzymes activity in the medicinal herb, hyssop, under water deficit conditions. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 31: 1013-1023. (In Persian with English Summary)Yousefzadeh, S., Modarres-Sanavy, S.A.M., Sefidkon, F., Asgarzadeh, A., Ghalavand, A., Roshdi, M., and Safaralizadeh, A., 2013. Effect of biofertilizer, azocompost and nitrogen on morphologic traits and essential oil content of *Dracocephalum moldavica* L. in two regions of Iran. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 29: 438-459. (In Persian with English Summary)

Yousefzadeh, S., 2018. Effects of vermicompost levels application on some agromorphological traits, photosynthetic pigments and essential oil content of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). Journal of Crop Production 11: 131-137. (In Persian with English Summary)

Zheljazkov, V.D., Astatkie, T., and Hristov, A.N., 2012. Lavender and hyssop productivity, oil content, and bioactivity as a function of harvest time and drying. Industrial Crops and Products 36: 222-228.

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

Research Article
Vol. 14, No. 1, Spring 2022, p. 69-94

Evaluation of Spatial Crop Water Use Efficiency in Khorasan Razavi Province

A. Koocheki[1*], M. Nassiri Mahallati[1], S. Asadi[2], and H. Zare[2]

Received: 20-12-2016
Revised: 16-08-2017
Accepted: 05-10-2017
Available Online: 15-06-2022

How to cite this article:
Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Asadi, S., and Zare, H., 2022. Evaluation of spatial crop water use efficiency in Khorasan Razavi province. Journal of Agroecology 14(1):69-94.
DOI:10.22067/jag.v1i1.61172

Introduction

Water scarcity is the main challenging issue in supplying sufficient food in arid and semiarid regions. Agricultural production in Razavi Khorasan, like other arid and semiarid provinces, depends on underground water. Groundwater exploitation alongside climate change has dramatic effects on the availability of surface water for agricultural production in semiarid areas. Crop water use estimation is the first step to increasing Water Use Efficiency (WUE). From the water resource point of view, assessing the gap between actual and attainable crops, WUE is so important, especially for future mitigation strategies. The term water use efficiency refers to production per unit of water used by evapotranspiration, with units such as kg grain/ha per mm water or kg/m^3 water, so it does not scale in the 0-1 range. This paper aims to evaluate WUE for main crops (wheat, barley, sugar beet, onion, potato, tomato, cucumber, and watermelon) in the different areas of Razavi Khorasan province (Torbat-e Heydarieh, Torbat-e Jam, Chenaran, Mashhad, Sabzevar, Quchan, Kashmar, Gonabad, and Neyshabour) for 26 years (1985-2010).

Material and Methods

WUE shows crop production per unit of water use. It was calculated as production per unit of crop water used (CWU) by evapotranspiration. CWU was acquired by estimating two components: reference evapotranspiration (ET_o) and crop coefficient. ET_o was calculated via the Blaney-Criddle equation. Although this method has a coarse accuracy in comparison to other methods, this is ideal when only air-temperature datasets are available. We examined the relationship between yield and CWU, as well as WUE and CWU for wheat, tomato, alfalfa, and sugar beet. A polynomial line was fitted to describe the best relation between two variables. The maximum yield at each point of CWU was determined as the highest attainable yield. Mann-Kendall test was applied to detect the trend of data over time.

Results and Discussion

The long-term average of WUE showed a similar trend for wheat and barley. The highest wheat WUE was about 0.59 and 0.53 yield per m^3 in Torbat-e Jam and Chenaran. Chenaran and Torbat-e Heydarieh had the highest WUE of sugar beet (3.12 and 3.08 kg fresh root per m^3). The highest amount of potato WUE (4.05), tomato WUE (4.7), and onion WUE (4.9) were found in Torbat-e Jam, Chenaran, and Chenaran, respectively. Kashmar, Gonabad, and Sabzevar had the lowest WUE for most of the crops. It seems that high temperature during crop growth caused a decrease in WUE in the mentioned locations. WUE of all crops had an intense fluctuation between 1986 and 1996, while it modified in the later years to the extent that a mild increasing slope was found in WUE.

1- Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
2- PhD student, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
*- Corresponding Author, Email: akooch@um.ac.ir

A polynomial line was fitted to show yield and WUE changes, then the upper boundary line and the lower boundary line were fitted to represent attainable yield and WUE and minimum yield and WUE. The highest yields were obtained around 540, 880, 940, and 850 mm water use for wheat, alfalfa, sugar beet, and tomato, respectively and the law of diminishing returns was observed between yield and CWU. An increase in temperature caused yield and WUE to decrease. The upper boundary line was more resistant to environmental changes, whereas the lower boundary line was sensitive.

The effect of 1 and 2 ℃ temperature rise on yield and WUE was negligible, while with a three ℃ increase, yield and WUE of lower boundary line decreased by 20%. Although a three ℃ increase in temperature had a negligible impact on WUE in the higher boundary line, WUE in the lower boundary line decreased dramatically. Alfalfa was known as the most sensitive, and sugar beet was the most tolerant crop to temperature in terms of WUE.

Conclusion

WUE was negatively associated with mean annual temperature rise. The results indicated that global warming damages yield stability. Yield and CWU showed a positive correlation up to the maximum yield; then, excessive CWU increases led to yield decline. When temperature increases and environmental conditions become worse, appropriate agronomic management such as changing sowing date, balancing crop nutrition, and proper irrigation schemes can play an effective role in enhancing yield. We concluded that when temperature increase, the WUE gap will widen, and agronomic management will play a more important role in this condition.

Key Words: Blaney-Criddle equation, Crop yield, Mann-Kendall test, Water requirement

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

مقاله پژوهشی

ارزیابی و پهنه‌بندی کارآیی مصرف آب در استان خراسان رضوی

علیرضا کوچکی[۱*]، مهدی نصیری محلاتی[۱]، سارا اسدی[۲] و حسین زارع[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۳۰
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۰۵/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۳

کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م.، اسدی، س.، و زارع، ح.، ۱۴۰۱. ارزیابی و پهنه‌بندی کارآیی مصرف آب در استان خراسان رضوی. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۱): ۹۴-۶۹.

چکیده

کشاورزی در استان خراسان رضوی مانند دیگر استان‌های خشک و نیمه خشک عمدتاً متکی به منابع زیرزمینی می‌باشد. یکی از روش‌هایی که باعث بهبود مدیریت بهره‌برداری آب و در نهایت، افزایش راندمان مصرف آب می‌شود، برآورد دقیق تبخیر و تعرق یا تخمین میزان آب مصرفی و نهایتاً کارآیی مصرف آب گیاهان می‌باشد. در این مطالعه، کارآیی مصرف آب بر اساس نیاز آبی محصولات کشاورزی استان خراسان رضوی، برای شهرستان‌های (تربت حیدریه، تربت جام، چناران، سبزوار، قوچان، کاشمر، گناباد، مشهد و نیشابور) در طول یک دوره ۲۶ ساله از سال ۱۳۶۲ تا ۱۳۸۸ محاسبه شد. نیاز آبی گیاهان زارعی (گندم، جو، پیاز، چغندرقند، سیب زمینی، گوجه‌فرنگی، خیار و هندوانه) از ضرب تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از معادله بلانی-کریدل در ضریب گیاهی به‌دست آمد. همچنین تأثیر افزایش دما بر روند تغییرات کارآیی مصرف آب چهار گیاه گندم، چغندرقند، گوجه‌فرنگی و یونجه بررسی شد. برازش منحنی و ترسیم لایه مرزی با احتمال ۹۵ درصد اطمینان بالا و پایین به‌منظور تعیین میزان تغییرات عملکرد و کارآیی مصرف گیاهان زراعی نسبت به تغییرات نیاز آبی گیاه انجام شد. عملکرد محصولات با توجه به منحنی به سه سطح مدیریتی تقسیم شد. منحنی‌حد بالایی (مدیریت بالا) و حد پایین (مدیریت ضعیف) در نظر گرفته شد. روند تغییرات کارآیی مصرف آب گندم و جو در طول مدت مطالعه مشابه هم بود. بالاترین میانگین کارآیی مصرف آب گندم در تربت جام و چناران (۰/۵۹ و ۰/۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب) مشاهده شد. کارآیی مصرف آب چغندرقند در چناران و تربت حیدریه (۳/۱۲ و ۳/۰۸ کیلوگرم بر مترمکعب) بیشترین انحراف را با میانگین استان (۲/۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب) نشان داد. بیشترین کارآیی مصرف سیب‌زمینی در تربت جام (۴/۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب) و پیاز و گوجه‌فرنگی (۴/۹ و ۴/۷ کیلوگرم بر مترمکعب) در چناران مشاهده شد. کارآیی مصرف آب هندوانه در دو شهر مشهد و نیشابور و کارآیی مصرف خیار در مشهد نسبت به میانگین استان (به‌ترتیب ۲/۱۸ و ۵/۴۲ کیلوگرم بر مترمکعب) بیشتر بود. کمترین کارآیی مصرف آب خیار به‌میزان ۴/۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب نیز در تربت‌جام مشاهده شد. کاشمر، گناباد و سبزوار شهرهایی بودند که برای اکثر محصولات کارآیی مصرف آب کمی داشتند، احتمالاً این امر به‌دلیل دمای بالای هوا در طول فصل رشد محصولات و افزایش نیاز آبی گیاه می‌باشد. کارآیی مصرف آب اکثر محصولات در بین سال‌های ۶۵ تا ۷۵ دارای نوسانات زیادی بودند و روند قابل ملاحظه‌ای در این سال‌ها نداشتند، امّا در سال‌های بعد کارآیی مصرف آب محصولات به یک تعادل نسبی رسید و به‌طور میانگین با شیبی ملایم در حال افزایش بود. با افزایش یک درجه دما در طول دوره رشد گیاهان، اختلاف ناچیزی در کارآیی مصرف آب و عملکرد گیاهان استان در هر سه مدل مدیریت (مدیریت‌های مزرعه در سطح بالا، متوسط و ضعیف) مشاهده شد. افزایش سه درجه سانتی‌گراد دما تأثیر ناچیزی در مدل مدیریتی در سطح بالا شد، درحالی‌که باعث کاهش چشم‌گیری در کارآیی مصرف آب مدل متوسط و ضعیف شد. یونجه به‌عنوان حساس‌ترین گیاه به افزایش دما و چقندرقند به‌عنوان مقاوم‌ترین گیاه شناخته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش دما باعث افزایش خلأ کارآیی مصرف آب می‌شود و مدیریت زراعی تأثیر مهم‌تری در کاهش خلا کارآیی مصرف آب در آینده خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: آزمون من- کندال، روش بلانی-کریدل، عملکرد محصولات زراعی، نیاز آبی

مقدمه

در سال‌های اخیر، دانشمندان و متخصصان علوم کشاورزی و اقلیم شناسی تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه اقلیم-کشاورزی انجام داده و با ارائه روش‌های مختلف سعی بر شناسایی و تبیین ارتباط عناصر و عوامل اقلیمی با کشت و مراحل رشد و نموی محصولات داشته‌اند. عملکرد گیاهان زراعی تحت تأثیر ساختار ژنتیکی گیاه، شرایط محیطی و اثرات متقابل آن‌هاست. اگرچه تنش‌های زنده و غیرزنده از عوامل مهم کاهش تولید محسوب می‌شوند ولی، در حال حاضر میزان بارندگی و یا آب آبیاری، تشعشع و دما مهم‌ترین عوامل مؤثر در عملکرد گیاهان زراعی به‌شمار می‌روند (Entz & Fowler, 1990). برخی محققان عقیده دارند که، به‌دلیل شکل‌گیری کشاورزی اولیه در منطقه‌ی در خاورمیانه بین ایران و عراق، غلات از ابتدا تحت تأثیر خشکی قرار داشته‌اند (Araus et al., 2002). خشکی مهم‌ترین عامل غیر زنده‌ای است که، بر عملکرد گندم تأثیر دارد (Wood et al., 1997; Araus et al., 2002; Asadi et al., 2019). شرایط خاص اقلیمی کشور که خشکی و پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی، واقعیت گریزناپذیر آن است، تولید هرگونه مواد غذایی و محصولات کشاورزی را منوط به استفاده صحیح و منطقی از منابع محدود آب نموده است. در این شرایط اقلیمی آب آبیاری مهم‌ترین نهاده تولید کشاورزی است (Ghaemi & Seyadat, 1994). در حال حاضر از کل منابع آب تجدید شونده کشور، حدود ۸۸/۵ میلیارد متر مکعب جهت مصارف بخش‌های کشاورزی، صنعت و معدن و شرب برداشت می‌شود که حدود ۸۳ میلیارد مکعب آن (۹۳ درصد) به بخش کشاورزی اختصاص دارد (Ehsani & Khalidi, 2003). بنابراین، با توجه به سهم زیاد مصرف آب در بخش کشاورزی، با انتخاب و به‌کارگیری راهکارهایی در زمینه بهبود روش‌های آبیاری، بالا بردن راندمان مصرف آب و بهینه سازی مصرف آب در گیاهان، می‌توان از صرفه‌جویی قابل توجه‌ای بهره برد (Boyer, 1992).

موضوع ارتقای بهره‌وری آب در تولید مواد غذایی از مسائل اساسی در کشورهای مختلف جهان و به‌خصوص کشورهای کم آب نظیر ایران است. متوسط سالیانه ارتفاع بارندگی در کشور ما در مقایسه با متوسط بارندگی جهان حدود ۰/۲۵ می‌باشد و کم‌تر از نصف بارندگی سالیانه آسیا است که با توجه به اقلیم خشک و نیمه خشک ایران بحران آب برای ما در مقایسه با سایر کشورها تهدیدی جدی‌تر محسوب می‌شود. امیرخانی (Amirkhani, 2010) گزارش کرد که در طول ۴۰ سال گذشته ۲۷ خشکسالی در ایران اتفاق افتاده است که خسارت‌آورترین آن‌ها در سال ۲۰۱۱ بوده است و ناظم‌السادات (Nazemosadat, 2010) خسارت وارده به بخش کشاورزی در این سال را حدود ۲۶ میلیارد دلار برآورد کرد.

منظور از راندمان مصرف آب (WUE) مقدار ماده خشک (محصول اقتصادی یا بیولوژیک) تولید شده به ازای هر واحد آب مصرف شده می‌باشد و معمولاً بر حسب گرم ماده خشک بر کیلوگرم بیان می‌شود (Boyer, 1992). هر چه اقلیم خشک‌تر باشد نیاز اتمسفری بیشتر بوده و برای تولید یک واحد ماده خشک، گیاه نیازمند از دست‌دادن آب بیشتری است. عوامل دخیل در کارآیی مصرف آب به سه گروه تقسیم می‌شوند که عبارتند از: عوامل اقلیمی که هم در مصرف آب (تبخیر و تعرق) و هم در تأمین آب (نزولات جوی) نقش اساسی دارند، عملیاتی که به مدیریت زراعی بستگی دارند و عملیاتی که منجر به کاهش تبخیر از سطح خاک می‌شوند (Kafi & Mahdavi Damghani, 2001). تاکنون تلاش‌ها به افزایش سطح زیر کشت معطوف بوده است، درصورتی‌که در شرایط محدودیت منابع آب باید هدف بالا بردن تولید به ازای هر واحد آب مصرفی و استفاده بهینه از منابع محدود آب باشد (Izadi, 2001). از آن‌جایی که عملکرد گیاهان زراعی مختلف متفاوت است، تبخیر و تعرق یا آب مصرفی آن‌ها نیز با یکدیگر برابر نمی‌باشد، در نتیجه نسبت تولید ماده‌ی خشک به آب مصرفی در آن‌ها تغییرات زیادی را نشان می‌دهد. حتی در مورد یک گیاه خاص هم، مقدار ثابتی نبوده و تحت تأثیر شرایط جوی و مدیریت زراعی متفاوت برای واریته‌های گوناگون گیاه کم و زیاد می‌شود (Ghaemi & Seyadat, 1994).

یکی از روش‌هایی که باعث بهبود بهره‌برداری آب و در نهایت،

۱- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۲- دانش آموخته دکتری، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: akooch@um.ac.ir)

DOI:10.22067/jag.v1i1.61172

افزایش راندمان مصـــرف آب می‌شـــود، برآورد دقیق تبخیر و تعرق یا تخمین میزان آب م صرفی گیاهان می‌با شد. تبخیر ـــــ تعرق یکی از مولفه‌های اصـــلی بیلان آبی هر منطقه و در نتیجه، یکی از عوامل کلیدی برنامه‌ریزی درسـت و مناسـب آبیاری می‌باشـد (Li, 2003; Bannayan et al., 2020). روش‌های محاسبه تبخیرــتعرق پتانسیل در دو گروه تجربی و ترکیبی قرار می‌گیر ند. در روش های تجربی اســاس کار بر روی پارامتر دما قرار دارد و با اســتفاده از دمای محیط، تبخیرـــــتعرق پتانسیل محا سبه می‌گردد. در روش‌های ترکیبی برای محاسبه تبخیرـ تعرق پتانسیل از دو فرآیند توازن انرژی و آیرودینامیک ا ستفاده می شود. طی سال‌های اخیر روش‌های تجربی زیادی تو سط متخصـصـان برای برآورد تبخیر و تعرق ارائه شـده‌اند که هر یک تابع متغییرهای اقلیمی خاصـی می‌باشـند. در نشـریه شـماره ۲۴ آبیاری و زهک شی فائو (FAO 56) برای کمک به کاربران با توجه به داده‌های موجود چهار روش بلانی‌ـــکریدیل، تابش، پنمن و تشتک تبخیر برای محاسبه تبخیر ــــ تعرق پتانسیل ارائه شده است. در اغلب روش‌هایی که برای تعیین میزان تبخیر و تعرق ارائه شده‌اند، ابتدا مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o) تخمین زده می شـود و سـپس از روی آن تبخیر و تعرق گیاه مورد نظر محا سبه می شود (Alizadeh, 2004; Bannayan et al., 2020; Abdollahi et al., 2021). یـکی از پارامترهای مهم در محاسبات نیاز آبی، ضریب رشد گیاهی (K_C) است که تغییرات آن به نوع گیاه، میزان رشـد و فصـل رویش گیاه بسـتگی دارد. با توجه به معیارهای پیشـنهادی نشـریه شـماره ۵۶ فائو، مقادیر ضریب رشد گیاهی در مراحل مختلف رویش برای کلیه گیاهان الگوی محا سبه می شود. نیاز آب گیاه از حا صل ضرب میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در ضریب گیاهی (مراحل اولیه رشد، توسعه گیاه (اواسط دوره رشـد) و مراحل انتهایی رشـد) به‌دسـت می‌آید. ضـریب رشـد گیاهی منعکس‌کننده خصوصیات گیاهی در نیاز آبی آن می‌باشد. طبق تعریف ضریب ر شد گیاهی عبارت ا ست از ن سبت تبخیر و تعرق محصول در شـرایط تولید حداکثر پتانسـیل به تبخیر و تعرق بالقوه. مقادیر ضـریب گیاهی بر حسب نوع گیاه، مرحله ر شد، زمان کا شت و شرایط عمومی آب و هوایی شامل رطوبت متغیر می‌باشد.

باتوجه به مباحث فوق تعیین دقیق و علمی شـــاخص کارآیی مصرف آب فعلی در کشاورزی کشور و استفاده از روش‌های علمی و فنی منا سب مبتنی بر مطالعه و تحقیق، جهت افزایش کارآیی مصرف آب کشاورزی از ضروریات است. با بررسی‌های به عمل آمده مشخص گردیده است که در حال حاضر شاخص کارآیی مصرف آب محصولات زراعی منـاطق مختلف در کشـــور عملاً مشـــخص نبوده و اندازه‌گیری‌های دقیق و معتبری در این زمینه در سطح مزارع و تحت شرایط مدیریت محلی کشاورزان کشور انجام نیافته و یا محدود بوده و کافی نمی‌با شند. از طرف دیگر، بیشتر منابع و داده‌های موجود متکی بر نتایج طرح‌های تحقیقاتی ایستگاهی و یا مرور منابع خارجی هستند. هدف از این مطالعه محاسبه نیاز آبی و کارآیی مصرف آب محصولات عمده زراعی استان خراسان رضوی در یک دوره‌ی بلندمدت ۲۶ ساله و سـپس بررسـی ارتباط بین کارآیی مصـرف آب و پارامترهای اقلیمی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

اســتان خراســان رضــوی با مســاحتی معادل ۱۱۸۸۵۱/۴۴ کیلومترمربع در بخش شمال شرقی کـشور یکی از مناطق عمده تولید مح صولات ک شاورزی می‌با شد. گ ستردگی ا ستان و عواملی همچون وجود رشـــته کوه های مرتفع و مناطق کویری، دور از دریا و وزش بادهای مختلف موجب گوناگونی آب و هوا در این استان شده است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه استان دارای اقلیم خشک سرد و نیمه خشک سرد می‌با شد. بارش باران و برف در این ا ستان در فصل سرد ســال با توزیع غیر نرمال اســت و به‌طور کلی، مقدار آن از شــمال به جنوب استان کاهش می‌یابد. بارش‌های سیل‌آسا، کوتاه‌مدت و رگباری ق سمت عمده بارندگی‌های سالیانه را ت شکیل می‌دهد. متو سط بارش سالانه این ا ستان طی دوره آماری ۱۳۶۸-۱۳۹۱ حدود ۲۲۰ میلی‌متر می‌با شد، این در حالی ا ست که متو سط بارندگی ایران ۲۳۶ میلی‌متر و متو سط بارش جهان ۷۸۰ میلی‌متر برآورد شده ا ست. ا ستان خرا سان ر ضوی با متو سط بار شی در حدود یک چهارم متو سط بارش جهانی، یکی از قطب‌های تولیدکننده محصولات کشاورزی در ایران می‌با شد. در این شـــرایط، تولید محصـــولات کشـــاورزی عمدتاً وابســـته به آب زیرزمینی است (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های انتخابی در استان خراسان رضوی
Table 1 - Selected weather stations in Razavi Khorasan province

نام ایستگاه Station name	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	ارتفاع از سطح دریا Above sea level (m)	میانگین دمای سالانه Mean annual temperature (°C)	مجموع بارندگی سالانه Total annual precipitation (mm)
تربت حیدریه Torbat-e Heyedariyee	'16° 35	'3° 59	1451	14.3	267.7
تربت جام Torbat-e Jam	'15° 35	'35° 60	951	15.7	172.8
چناران Chenaran	'29° 36	'17° 59	1176	13.5	208
سبزوار Sabzevar	'12° 36	'39° 57	972	17.5	186.6
قوچان Quchan	' 4° 37	'30° 58	1287	12.7	308.4
کاشمر Kashmar	'12° 35	'28° 59	1110	17.8	197.2
گناباد Gonabad	'21° 34	'41° 58	1056	17.4	137.4
مشهد Mashhad	'16° 36	'38° 59	999	14.3	251.5
نیشابور Sabzevar	'16° 36	'48° 57	1213	14.4	238.2

روش پژوهش

داده های اقلیمی مورد نظر برای برآورد ظرفیت تبخیر آب در دوره رشد گیاه زراعی از سازمان هواشناسی در یک دوره ۲۶ ساله از سال ۱۳۶۲ تا ۱۳۸۸ جمع‌آوری شد. این داده ها شامل دمای حداکثر و حداقل روزانه و بارش روزانه بود. با توجه به این که اطلاعات هواشناسی جهت محاسبه تبخیر و تعرق به‌روش پنمن-مانتیس برای تمامی سال‌های مورد نظر و در همه مناطق موجود نبود، برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع از معادله بلانی-کریدل استفاده شد معادله (۱).

معادله (۱) $$ET_o = p(0.46 \times T_{mean} + 8)$$

در این معادله، T_{mean}: میانگین درجه حرارت روزانه (سانتی‌گراد) و p: میانگین درصد روزانه ساعات آفتابی در سال می‌باشد. نیاز آبی گیاه زراعی در شرایط استاندارد از حاصل ضرب تبخیر و تعرق گیاه مرجع، در ضریب گیاهی، به‌دست می‌آید (معادله ۲).

معادله (۲) $$CWU = K_c \times ET_o$$

در این معادله، CWU[1]: مقدار آب مصرفی گیاه زراعی، ET_o[2]، تبخیر و تعرق پتانسیل و K_c[3]، ضریب گیاهی می‌باشند. یکی از پارامترهای مهم در محاسبات نیاز آبی، ضریب رشد گیاهی (K_c) است که تغییرات آن به نوع گیاه، میزان رشد و فصل رویش بستگی دارد (جدول ۲). سازمان جهانی خوار و بار کشاورزی فائو در نشریه شماره ۵۶، با توجه به معیارهای یاد شده، مقادیر ضریب رشد گیاهی در مراحل مختلف رشد برای اکثر گیاهان زراعی ارائه داده است. ضریب گیاهی کسری از تبخیر و تعرق پتانسیل است که توسط گیاه مورد نظر انجام می شود. این مقدار ارتباط زیادی به خصوصیات فیزیولوژیک و مرحله رشدی گیاه دارد. اگرچه تبخیر و تعرق هر گیاه زراعی در هر منطقه تغییر می کند، از آنجایی که خصوصیات اقلیمی هر منطقه در محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل لحاظ می‌شود، لذا ضریب گیاهی مستقل از مکان می‌باشد. بر همین اساس فائو ضرایب گیاهی و روش

1- Crop Water Use
2- Reference Evapotranspiration
3- Crop Coefficient

اســـتاندارد محاســـبه تبخیر و تعرق (فائو- پنمن- مانتیس) را برای استفاده در تمامی مناطق کره زمین ارائه داده است.

جدول ۲- ضریب گیاهی مفرد مراحل مختلف رشد گیاهان زراعی (فائو)

Table 2 - Single crop coefficients (Kc) of different stages of crop growth (FAO)

گیاه زراعی Crop	ضریب گیاهی Crop coefficient			حداکثر ارتفاع گیاه Maximum crop height (m)
	مرحله اولیه رشد The initial stage	مرحله میانی رشد The mid-season stage	مرحله انتهایی رشد The end of the late season stage	
گندم Wheat	0.15-0.5	1.15	0.25-0.4	1
جو Barley	0.3	1.15	0.25	1
پیاز Onion	-	1	1	0.3
چغندر قند Sugar Beet	0.35	1.2	0.705	0.5
سیب زمینی Potato	-	1.15	0.754	0.6
گوجه‌فرنگی Tomato	-	1.15	0.70-0.90	0.6
خیار Cucumber	0.6	1.002	0.75	0.3
هندوانه Water melon	0.4	1	0.75	0.4
یونجه Alfafa	0.4	0.95	0.90	0.7

محاسبه تبخیر و تعرق گیاه زراعی در طول دوره رشد بر اساس تاریخ کا شت ارائه شده تو سط گزارش‌های جهاد ک شاورزی ا ستان و تاریخ برداشـــت بر اســـاس درجه روز مورد نیاز هر محصـــول تا زمان رسیدگی (GDD[1])، انجام شد. با توجه به عدم اطلاعات کافی در مورد ارقام کشـت شـده در بازه طولانی‌مدت (۲۶ سـال گذشـته) در مناطق مختلف اسـتان خراسـان رضـوی و عدم کشـت و دسـترسـی به ارقام قدیمی، امکان مطالعه و ا صلاح ضریب گیاهی آن ارقام وجود ندا شت. از این رو، برای محا سبه نیاز آبی گیاهان زراعی همانند سایر محققین از ضـریب گیاهی ارائه شـده فائو اسـتفاده شـد (Bhojaraja et al., 2015; Yea et al., 2015).

راندمان مصـــرف آب با توجه به نوع محصـــول از طریق تقسـیم عملکرد دانه، ماده خ شک اندام هوایی، محصول تازه میوه و یا ری شه (SY) (گرم بر مترمربع) بر میزان کل تبخیر و تعرق (ET) (میلی‌متر) محاسبه شد (Ghosh et al., 2006).

$$WUE_{SY}=SY.ET^{-1} \quad (۳) \text{ معادله}$$

راندمان مصرف آب (WUE[2]) با توجه به داده‌های موجود به سطح زیر کشـــت و عملکرد گنـدم (*Triticum avestivum* L.)، جو (*Hordeum vulgare* L.)، گـوجـه فـرنـگـی (Solanum lycopersicum L.) و یونجه (*Medicago sativa*) در واحد سـطح محصولات کشاورزی برای یک دوره ۲۶ ساله از سال ۱۳۶۲ تا ۱۳۸۸ و ســایر گیاهان شــامل پیاز (*Allium cepa*)، چغندرقند (*Beta vulgaris*)، سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*)، خیار (*Cucumis sativus*)، هندوانه (*Citrullus lanatus*) برای یک دوره ۲۲ سـاله از سال ۱۳۶۲ تا ۱۳۸۴ برای نه شهرستان یاد شده، محاسبه شد (جدول ۳).

آنالیز روند

تجزیه و تحلیل روند نشان‌دهنده تغییرات پارامترها در طول زمان

1- Growing degree days

2- Water Use Efficiency

است، که با استفاده از دو روش آماری آزمون پارامتری t تست و آزمون غیرپارامتری من- کندال انجام می‌شود. اگر چه کاربرد هر دو آزمون در بسیاری از موارد نتایج مشابه می‌دهد، امّا انوز و بایزت (Onoz & Bayazit, 2003) نشان دادند که آزمون غیرپارامتری من- کندال قدرت بیشتری در مقایسه با آزمون پارامتری t تست در نشان دادن توزیع احتمال چولگی دارد. در نتیجه، به‌منظور تشخیص هر گونه روند احتمالی در سری آماری متغیرهای اقلیمی، کارآیی مصرف آب و نیاز آبی گیاه آزمون غیرپارامتری من‌کندال به‌کار برده شد.

جدول ۳- سطح زیرکشت و عملکرد محصولات کشاورزی استان خراسان رضوی در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸

Table 3–Area cropland and yield of agricultural products in Khorasan Razavi province in 2009-2010

گیاه زراعی Crops		سطح زیرکشت Harvested area (ha)			تولید Yield (ton)			متوسط عملکرد The average yield (kg.ha^{-1})	
		آبی Irrigated	دیم Rainfed	کل Total	آبی Irrigated	دیم Rainfed	کل Total	آبی Irrigated	دیم Rainfed
غلات Cereals	گندم Wheat	260408	2458882	506289	838089	99617	937706	3218.4	405.1
	جو Barley	132335	24512	182846	450301	25912	476213	3402.7	512.99
گیاهان صنعتی Industrial plants	چغندر قند Sugar Beet	4\24732	0	24732	883427	0	883427	35720.0	0
نباتات علوفه‌ای Forage crops	یونجه Alfafa	23405	706	33111	259425	575	260182	4318.5	219385.8
سبزیجات Vegetables	سیب‌زمینی Potato	5816	0	5816	170616	0	170616	29335.6	0
	پیاز Onion	2136	0	2136	91057	0	91057	42637.6	0
	گوجه‌فرنگی Tomato	14439	0	14439	854821	0	584821	40502.8	0
محصولات جالیزی Cucurbits	هندوانه Water melon	13222	1348	14571	316289	3941	320230	23920.7	2922.7
	خیار Cucumber	2626	0	2626	40684	0	40684	15493.1	0

فرض صفر (H_0) آزمون من- کندال (MK) (Gilbert,1987; Mann, 1945; Kendall, 1975) بر تصادفی بودن و عدم وجود روند و فرض یک (H_1) مبنی بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. در ابتدا برای استخراج آماره S، اختلاف بین تک تک مشاهدات با یکدیگر با استفاده از معادله ۳ محاسبه می‌شود:

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

که در آن، x_j: مقدار داده j ام، n: طول دوره آماری و $sng(\theta)$: تابع علامت می‌باشد که به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

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

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

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

در نهایت، آماره آزمون من- کندال یا آمار Z استاندارد به‌شکل زیر محاسبه می‌شود:

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

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

مدل

به‌دلیل حجم بالای داده‌ها و محدود بودن حجم مقاله اثر دما بر کارآیی مصرف آب، چهار گیاه زراعی از خانواده‌های متفاوت (گندم، یونجه، چغندرقند و گوجه‌فرنگی) مورد بررسی قرار گرفت. پس از نشان دادن رابطه بین عملکرد گیاهان زراعی با کارآیی مصرف آب و کارآیی

مصرف آب با نیاز آبی گیاه به‌صورت نمودار نقطه‌ای، یک خط چند جمله ای برای توصیف بهترین رابطه بین دو متغیر برازش داده شد (Casanova et al., 1999). برازش منحنی با عدم در نظر گرفتن داده‌های پرت انجام شد. سپس، خط اطمینان ۹۵ درصد بالا و پایین رسم شد. به‌طور کلی، فرض شد که این خط مرزی نشان‌دهنده حداکثر عملکرد در هر نقطه از نیاز آبی گیاه، و تفاوت بین دو خط، شکاف بین عملکرد واقعی و حداکثر عملکرد قابل دسترسی است. سپس، حداکثر عملکرد در هر نقطه از نیاز آبی گیاه به‌عنوان بالاترین عملکرد قابل دسترسی تعیین شد. در انتها، با توجه به این که نیاز آبی محاسبه شده، بر اساس نیاز آبی پتانسیل در طول دوره رشد بوده است، لذا افزایش دما به‌طور مستقیم بر نیاز آبی تأثیرگذار خواهد بود. به همین منظور سه سناریو افزایش دما (یک درجه سانتی‌گراد افزایش، دو درجه و سه درجه سانتی‌گراد افزایش دما) طراحی شد. با استفاده از معادله بلانی- کریدل، تأثیر افزایش دما بر نیاز آبی هر محصول محاسبه شد و اثر آن بر کارآیی مصرف آب بررسی شد.

لازم به ذکر است محاسبه ET_0 و CWU به‌ترتیب با استفاده از نرم‌افزار Ref ET و CROPWAT 8 و تست من- کندال با نرم‌افزار r انجام شد.

نتایج و بحث

میانگین بلندمدت کارآیی مصرف آب

میانگین ۲۶ ساله کارآیی مصرف آب بر حسب عملکرد دانه غلات پاییزه گندم و جو حاکی از تشابه کارآیی مصرف آب دو گیاه در همه مناطق بود. میانگین کارآیی مصرف آب گندم در شهرهای کاشمر، گناباد و سبزوار (۰/۳۲، ۰/۳۵ و ۰/۳۹ کیلوگرم بر مترمکعب) و شهرهای تربت جام و چناران (۰/۵۹ و ۰/۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب) به‌ترتیب کمتر و بیشتر از میانگین کارآیی مصرف آب استان (۰/۴۵ کیلوگرم بر مترمکعب) بود. این روند در جو نیز بین شهرستان‌ها مشاهده شد (جدول ۴ و شکل ۱). همچنین در این گیاهان به‌دلیل پاییزه بودن، بارندگی که در طول زمستان اتفاق می‌افتد جز آب مصرفی در کشت آن‌ها محسوب می‌گردد، در حالی‌که به‌دلیل خواب زمستانی استفاده‌ای از این منبع آبی برای افزایش تولید صورت نمی‌گیرد که همین امر موجب کاهش کارآیی مصرف آب آن‌ها در مقایسه با سایر گیاهان می‌شود.

کارآیی مصرف آب چغندرقند در چناران و تربت حیدریه (۳/۱۲ و ۳/۰۸ کیلوگرم بر مترمکعب) بیشترین انحراف را با میانگین استان (۲/۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب) نشان داد. بیشترین کارآیی مصرف آب یونجه در چناران و نیشابور با ۱/۱ کیلوگرم بر مترمربع و کمترین آن در قوچان با ۰/۷۸ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده شد. در بین سبزیجات نیز سه شهر کاشمر، گناباد و سبزوار کمترین میزان کارآیی مصرف آب را دارا بودند. بیشترین کارآیی مصرف آب سیب‌زمینی، پیاز و گوجه‌فرنگی (۴/۱، ۴/۹ و ۴/۷ کیلوگرم بر مترمکعب) در چناران مشاهده شد. این افزایش به احتمال زیاد به‌دلیل پایین‌تر بودن میانگین دمای سالانه و فصلی مناطق می‌باشد. به‌گونه‌ای که کمترین کارآیی مصرف آب سیب‌زمینی، پیاز و گوجه‌فرنگی در سه شهر گناباد، کاشمر و سبزوار با بالاترین میانگین دمای سالانه به‌دست آمد (جدول ۴ و شکل ۱).

روند کارآیی مصرف آب محصولات جالیزی در شهرستان‌ها نسبت به سایر گیاهان متفاوت بود. کارآیی مصرف آب هندوانه در دو شهر مشهد و نیشابور و کارآیی مصرف خیار در مشهد نسبت به میانگین استان (به‌ترتیب ۲/۲۳ و ۵/۵۸ کیلوگرم بر مترمکعب) بیشتر بود. کمترین کارآیی مصرف آب خیار به‌میزان ۴/۸۹ کیلوگرم بر مترمکعب نیز در کاشمر مشاهده شد (جدول ۴ و شکل ۱). محصولاتی مانند خیار، گوجه‌فرنگی، هندوانه و پیاز که به‌صورت میوه تازه مصرف می‌شوند، وزن‌تر محصول به‌عنوان عملکرد در نظر گرفته می‌شود، بنابراین، در صورت کسر معادله کارآیی مصرف آب، عملکرد محصول تازه وارد شده و به‌دلیل داشتن رطوبت زیاد در محصول، کارآیی مصرف آب این گیاهان بالاتر رفته است. بالاترین میانگین کارآیی مصرف آب محصولات جالیزی در نیشابور و سایر گیاهان زراعی در چناران و تربت جام مشاهده شد.

دامنه تغییرات بلندمدت کارآیی مصرف آب گندم و جو در تمامی شهرها نسبت به میانگین استان پایین بود. کاشمر، گناباد و مشهد در اکثر محصولات به‌دلیل دمای هوای بالاتر و بارندگی کمتر نسبت به سایر شهرها داری کارآیی مصرف آب پایین‌تر (انحراف معیار منفی) از میانگین استان می‌باشد. چناران و نیشابور نیز در اکثر محصولات به‌جز گندم و جو دارای بالاترین کارآیی مصرف آب (انحراف از معیار مثبت) نسبت به میانگین استان بود (شکل ۳). کارآیی مصرف آب تمام گیاهان مورد مطالعه در شهرستان‌های کاشمر، گناباد و سبزوار از میانگین کارآیی مصرف آب استان خرسان رضوی پایین‌تر می‌باشد (شکل ۱ و ۲).

جدول ٤- میانگین کارآیی مصرف آب برخی از محصولات کشاورزی استان خراسان رضوی برای یک دوره ۲٦ ساله (۱۳۸۸-۱۳٦۲)

Table 4- Long-term average of crop water use in Razavi Khorasan province for the period of 26 years (1984-2010)

نام ایستگاه Station name	غلات Cereals		گیاهان صنعتی Industrial plants	نباتات علوفه‌ای Forage crops	سبزیجات Vegetables			محصولات جالیزی Cucurbits	
	گندم Wheat	جو Barley	چغندر قند Sugar Beet	یونجه Alfalfa	سیب زمینی Potato	پیاز Onion	گوجه‌فرنگی Tomato	خیار Cucumber	هندوانه Water melon
تربت حیدریه Torbat-e Heydarieh	0.48	0.52	3.08	1.04	3.36	3.46	3.25	5.66	2.32
تربت جام Torbat-e Jam	0.59	0.56	2.95	0.92	4.05	3.53	4.49	5.20	2.23
چناران Chenaran	0.56	0.49	3.29	1.10	4.10	4.90	4.95	5.64	2.27
سبزوار Sabzevar	0.39	0.4	2.31	0.75	2.42	1.99	3.19	5.99	2.36
قوچان Quchan	0.49	0.5	2.80	0.78	3.25	3.28	3.88	5.53	2.32
کاشمر Kashmar	0.32	0.3	2.23	0.98	1.97	1.74	2.41	4.89	2.00
گناباد Gonabad	0.36	0.34	2.12	0.81	2.07	1.77	1.86	5.25	1.70
مشهد Mashhad	0.46	0.41	2.82	0.97	3.15	3.46	4.02	5.36	2.46
نیشابور Sabzevar	0.46	0.45	2.86	1.10	3.90	4.64	4.51	6.69	2.44
میانگین Mean	0.46	0.44	2.72	0.94	3.14	3.20	3.62	5.58	2.23

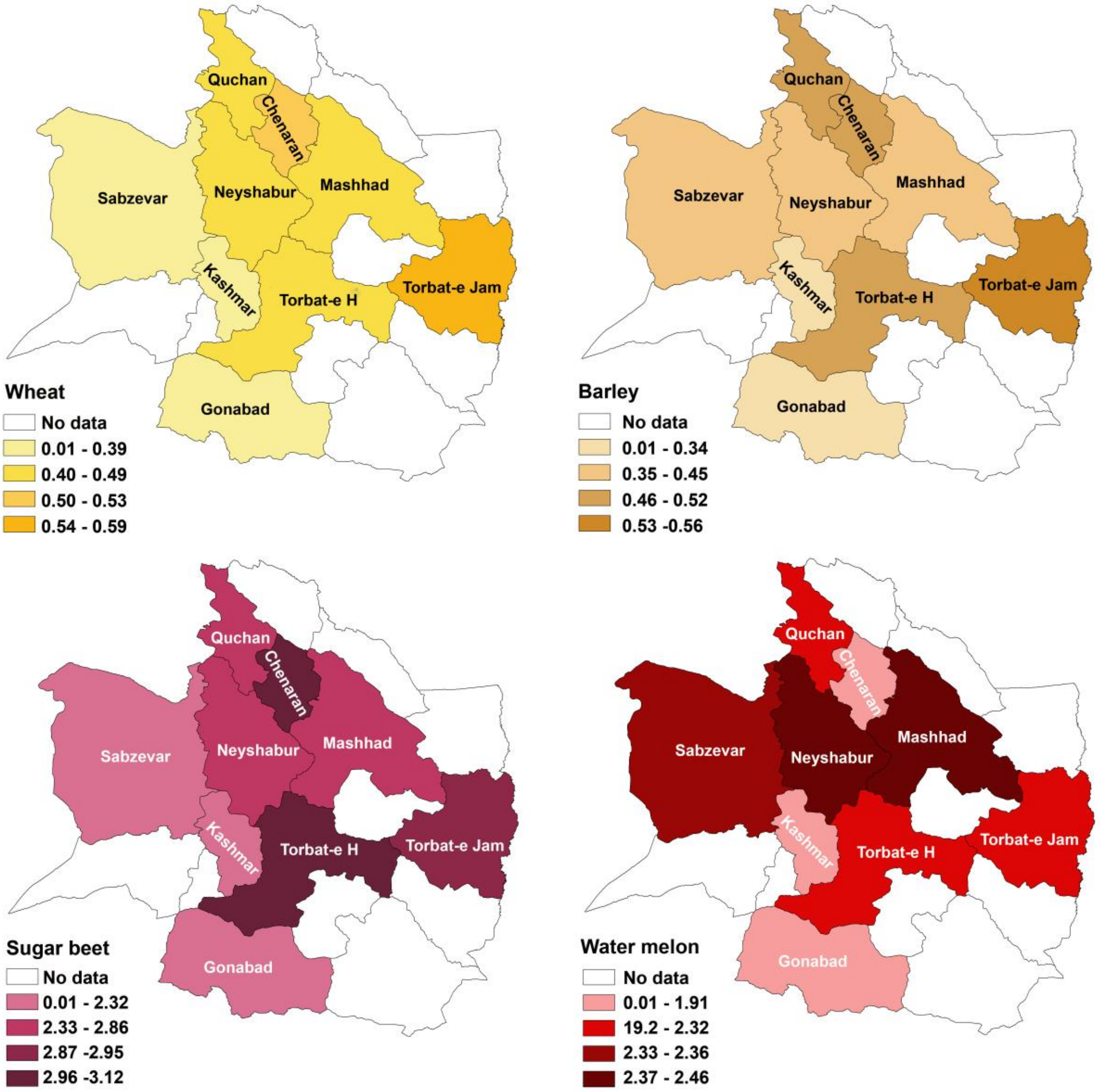
با توجه به شکل ۳ به نظر می‌رسد که دما یکی از عوامل تعیین‌کننده در کارآیی مصرف آب در این شهرستان‌ها می‌باشد، به این صورت که با افزایش میانگین دمای هوا، کارآیی مصرف آب کاهش یافته است. در واقع با افزایش دما تبخیر و تعرق زیاد شد، بنابراین به رطوبت بیشتری برای دستیابی به عملکرد مورد انتظار نیاز می‌باشد. میانگین بلندمدت عوامل اقلیمی نشان می‌دهد که شهرستان‌های شمالی استان دارای بارش‌های بیشتر و دمایی سردتر نسبت به شهرستان‌های جنوبی و غربی استان می‌باشد. بیشترین میانگین دمای هوا در سبزوار، کاشمر و گناباد و کم‌ترین آن در چناران و قوچان می‌باشد. بیشترین بارندگی در شهرستان قوچان و کم‌ترین در گناباد و تربت جام می‌باشد.

بهره‌وری آب گندم استان‌های مختلف کشور با استفاده از آمار درازمدت عملکرد و استفاده از مدل هیدرولوژی و بیلان آب به‌نام سوآت (برای تعیین تبخیر و تعرق) برآورد گردید (Faramarzi et al., 2010). براساس نتایج این تحقیق، بهره‌وری آب گندم آبی و دیم به‌ترتیب در دامنه‌های ۱/۵۵-۰/۱۵ و ۰/۷۵-۰/۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب تغییر نموده و این دامنه تغییرات برای گندم دیم بیشتر بود (Faramarzi et al., 2010). بهره‌وری آب گندم در حوضه کرخه با استفاده از مدل کراپ ـ سیست (CropSyst) برای دوره‌های خشک، عادی و تر تعیین و پهنه‌بندی شد. براساس نتایج، بهره‌وری آب گندم در مقیاس حوضه آبریز، برای دوره‌های خشکسالی، عادی و ترسالی به‌ترتیب ۰/۶۲، ۰/۵۹ و ۰/۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد گردید (Momeni et al., 2008).

محاسبات تخمینی (مبتنی بر آمار و ارقام و نتایج حاصل از طرح ملی در زمینه تعیین راندمان آبیاری)، کارآیی مصرف آب آبیاری محصولات زراعی مختلف در روش‌های آبیاری سطحی با مدیریت زارعین در مناطق اصفهان، گلستان، خراسان، خوزستان (دزفول) و آذربایجان غربی و برای محصولات گندم جو، سیب زمینی به‌ترتیب ۰/۸۴-۰/۳۴، ۱/۰، ۲/۷۲ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش نموده است (Heidari & Haghayeghi Moghadam, 2001). در یک بررسی دیگر، مقادیر کارآیی مصرف آب ۱۰ محصول زراعی انتخابی با استفاده از نتایج ۶۷ طرح تحقیقاتی انجام شده طی سال‌های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۶ در

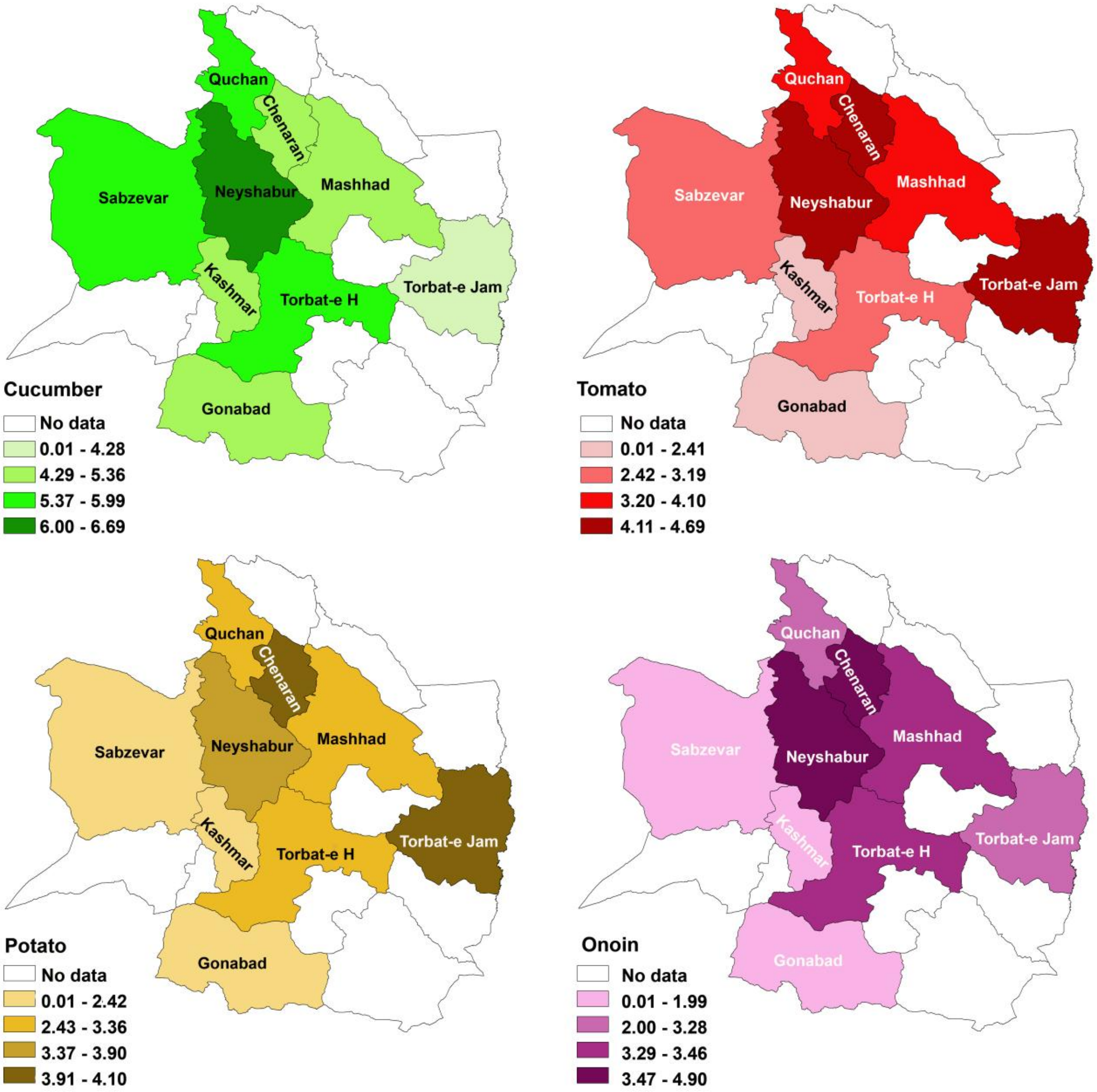
ایستگاه‌های تحقیقاتی ۱۳ استان کشور تعیین گردید. براساس نتایج این بررسی، متوسط کارآیی مصرف آب گندم، جو، برنج، چغندرقند، ذرت، پنبه (بذر)، یونجه، سیب زمینی، گوجه‌فرنگی و کنجد به‌ترتیب ۱/۶۲، ۲/۳۷، ۰/۴۲، ۱/۱۷، ۰/۶۱، ۰/۸۹، ۲/۷۴، ۶/۷۷ و ۰/۱۱ کیلوگرم بر مترمکعب بود (Montazar & Kosari, 2007). صادقی (Sadeghi, 2012) نیز کارآیی و بهره‌وری مصرف آب گندم، چغندرقند، سیب زمینی را به‌ترتیب ۰/۷، ۲/۵، ۱/۴ کیلوگرم در مترمکعب گزارش نمود.

فرامرزپور و همکاران (Faramarz Pour et al., 2012) در بررسی کارآیی مصرف آب خیار را در شرایط گلخانه در حدود ۵/۳ کیلوگرم در مترمکعب برآورد کردند. نجفی علیشاه و همکاران (Najafi Alshah et al., 2013) دامنه تغییرات کارآیی مصرف آب در دور آبیاری ۳، ۶ و ۹ هفته از ۹/۷ تا ۵/۴ گرم به‌ازای هر لیتر آب برآورد کردند و همچنین بیان نمودند که با استفاده از سطوح هیدروژل می‌توان کارآیی مصرف آب خیار را افزایش داد.



شکل ۱– میانگین بلندمدت کارآیی مصرف آب برخی از محصولات زراعی استان خراسان رضوی (سال ۸۸-۱۳۶۲)

Fig. 1 - Long-term average of crop water use efficiency in Razavi Khorasan province (1984-2010)



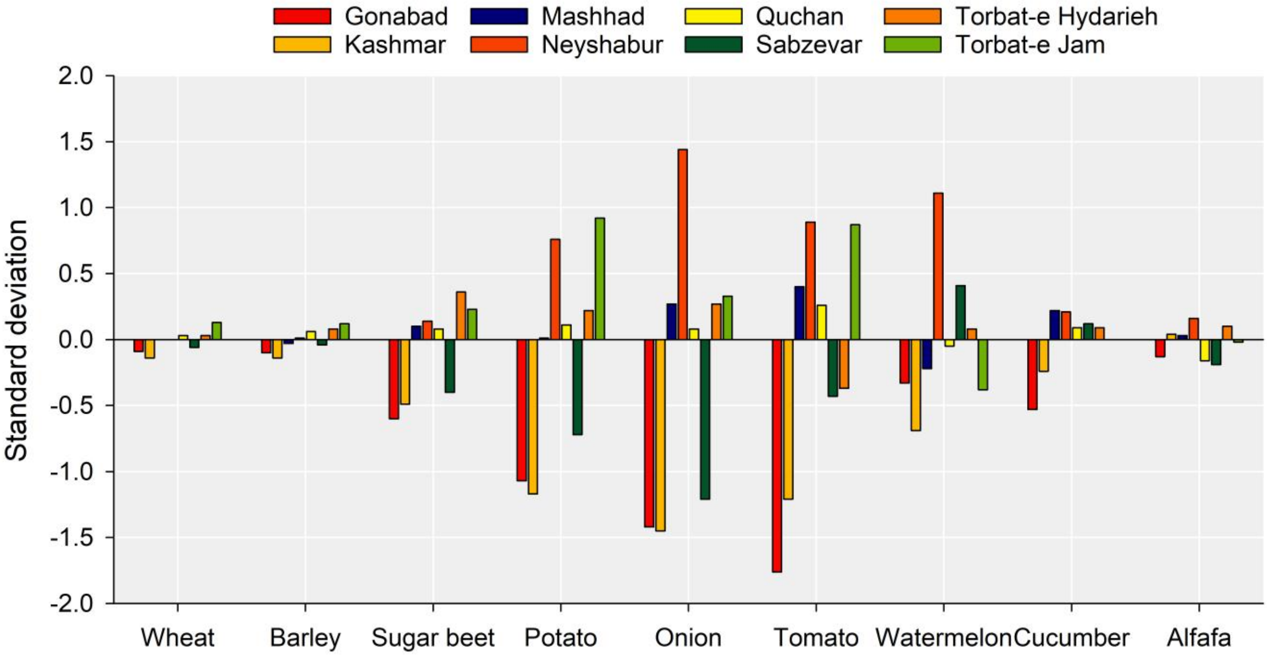
ادامه شکل ۱– میانگین بلندمدت کارآیی مصرف آب برخی از محصولات زراعی استان خراسان رضوی (سال ۸۸-۱۳۶۲)

Fig. 1- Long-term average of crop water use efficiency in Razavi Khorasan province (1984-2010)

بررسی روند تغییرات کارآیی مصرف آب در استان خراسان رضوی

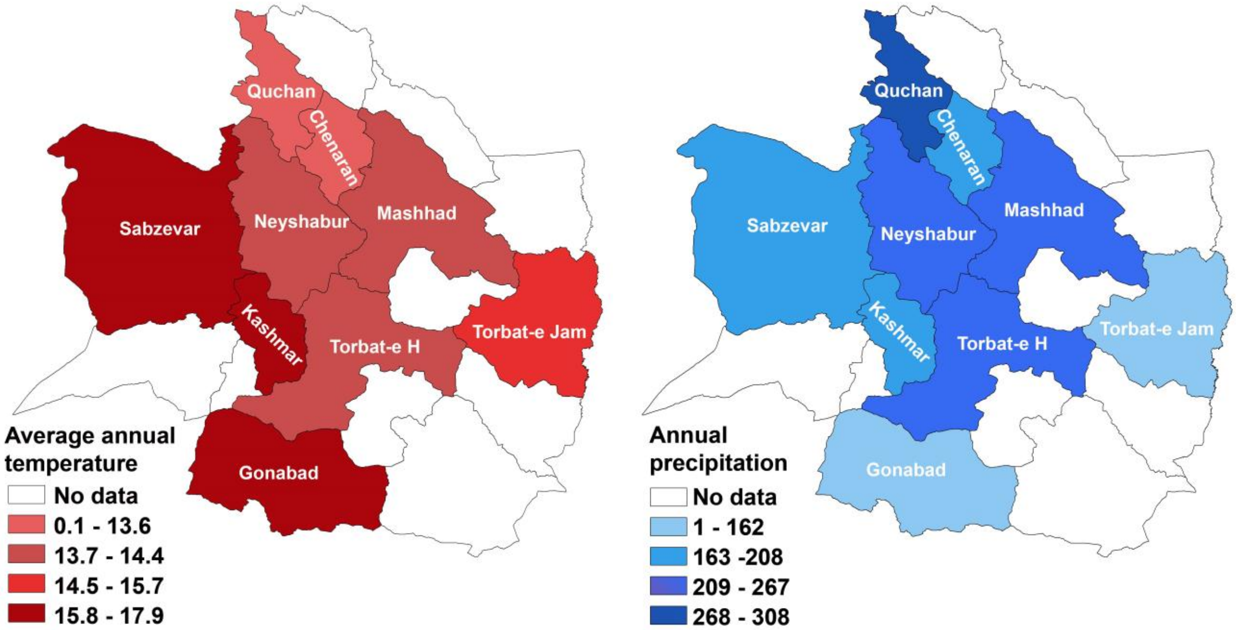
گندم و جو

روند تغییرات بلندمدت کارآیی مصرف آب گندم در شهرستان‌های استان خراسان متفاوت بود (شکل ۵). دامنه تغییرات بلندمدت کارآیی مصرف آب گندم در این استان از ۰/۱۸ کیلوگرم بر مترمکعب در کاشمر تا ۰/۷۷ کیلوگرم بر مترمکعب در چناران بود. میانگین کارآیی مصرف آب در تربت‌جام، چناران، قوچان و تربت حیدریه به‌ترتیب ۰/۵۹، ۰/۵۶، ۰/۴۹ و ۰/۴۸ کیلوگرم بر مترمکعب بودند. کارآیی مصرف آب گندم دو شهرستان نیشابور و مشهد مشابه میانگین کارآیی مصرف آب بلندمدت استان (۰/۴۶ کیلوگرم بر مترمکعب) بود. کارآیی مصرف آب در سال‌های اولیه در تمامی شهرستان‌ها پایین‌تر از میانگین بلندمدت استان بود، ولی با گذر زمان کارآیی مصرف آب با شیبی ملایم در حال افزایش است.



شکل ۲- انحراف معیار کارآیی مصرف آب محصولات کشاورزی از میانگین استان خراسان رضوی (۱۳۸۸-۱۳۶۲)

Fig. 2- Standard deviations from the mean water use efficiency for different crops in Khorasan Razavi province (1984-2010)

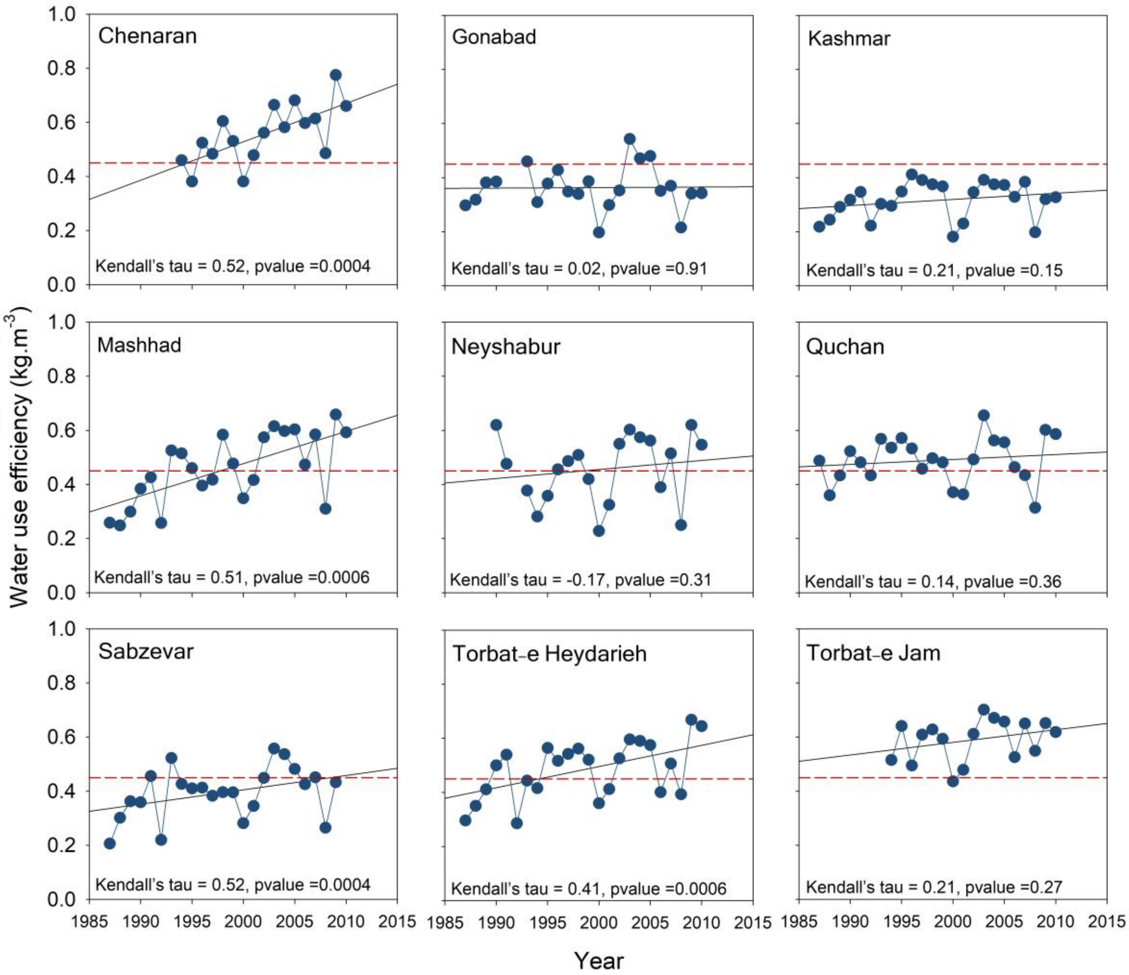


شکل ۳- میانگین بلندمدت عناصر اقلیمی (دما و بارش) در نقاط شهرستان‌های استان خراسان رضوی (۱۳۸۸-۱۳۶۲)

Fig. 3- The long-term average of climatic parameters (temperature and precipitation) in Razavi Khorasan province (1984-2010)

روند افزایشی معنی‌داری کارآیی مصرف آب در بلندمدت تنها در شهرهای مشهد، چناران، تربت‌حیدریه و سبزوار ($p<0.01$) مشاهده شد. کارآیی مصرف آب در شهرهای گناباد، کاشمر، نیشابور و قوچان روندی ثابت دارد. در سال‌های ۷۸ و ۸۶ در تمامی شهرستان‌ها افت محسوس کارآیی مصرف آب در گندم دیده می‌شود که می‌توان دلیل آن را به عوامل اقلیمی ارتباط داد، زیرا این تغییر در کلیه شهرهای استان اتفاق افتاده و بر کارآیی مصرف آب گیاه گندم تأثیر گذاشته است. بیشترین کارآیی مصرف آب در بازه زمانی مورد نظر مربوط به چناران، مشهد و تربت‌جام بود. کم‌ترین مقدار کارآیی مصرف آب در شهرستان‌های کاشمر و نیشابور دیده شد. به‌طور کلی، کارآیی مصرف آب گندم در مناطق با متوسط درجه حرارت سالانه بالاتر (شکل ۳)، پایین‌تر است.

بر اساس مطالعه ۸۴ منبع تحقیقاتی مربوط به ۲۵ سال اخیر، میانگین شاخص کارآیی مصرف آب محصول گندم ۱/۰۹ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد و دامنه تغییرات آن بین ۱/۷-۰/۶ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شده است (Zwart & Bastiansen, 2004). شائوژانگ و همکاران (Shaozhong et al., 2000) با بررسی کارآیی مصرف آب کانوپی گندم زمستانه در شمال چین بر اساس نسبت محصول به تبخیر و تعرق اظهار داشتند که کارآیی مصرف آب (بر اساس زیست‌توده) گیاه گندم در مراحل پنجه‌زنی و استقرار تا ساقه رفتن و ساقه رفتن تا خوشه‌دهی، به‌ترتیب در دامنه‌های ۴/۰۳-۱/۳۷ و ۷/۰۳-۶/۴۱ کیلوگرم بر مترمکعب بود.



شکل ۵- بررسی روند کارآیی مصرف آب گندم (WUE) استان خراسان رضوی با استفاده از آزمون من- کندال (۱۳۸۸-۱۳۶۳)

Fig. 5- Trend analysis of wheat water use efficiency (WUE) by Mann-Kendall test from 1985 to 2010

خطوط منقطع قرمز و توپر مشکی به‌ترتیب نشان‌دهنده متوسط کارآیی مصرف آب استان و خط رگرسیون می‌باشند.

The dashed red and solid black lines represent the average water use efficiency of the province and the regression line, respectively.

در واقع، حداکثر کارآیی مصرف آب در مرحله خوشه‌دهی اتفاق می‌افتد و سپس شروع به کاهش می‌نماید. در تحقیقی در دشت آزادگان در جنوب حوضه آبخیز کرخه کارآیی مصرف آب گندم در ۶۰ درصد مزارع کشاورزان ۰/۳ تا ۰/۶ گزارش گردیده است (Absalan et al., 2010). حیدری (Heydari, 2011) میانگین کارآیی مصرف آب جو را در برخی نقاط کشور را ۰/۵۶ گزارش کرد که مطابق نتایج به‌دست آمده در این تحقیق می‌باشد.

چغندرقند

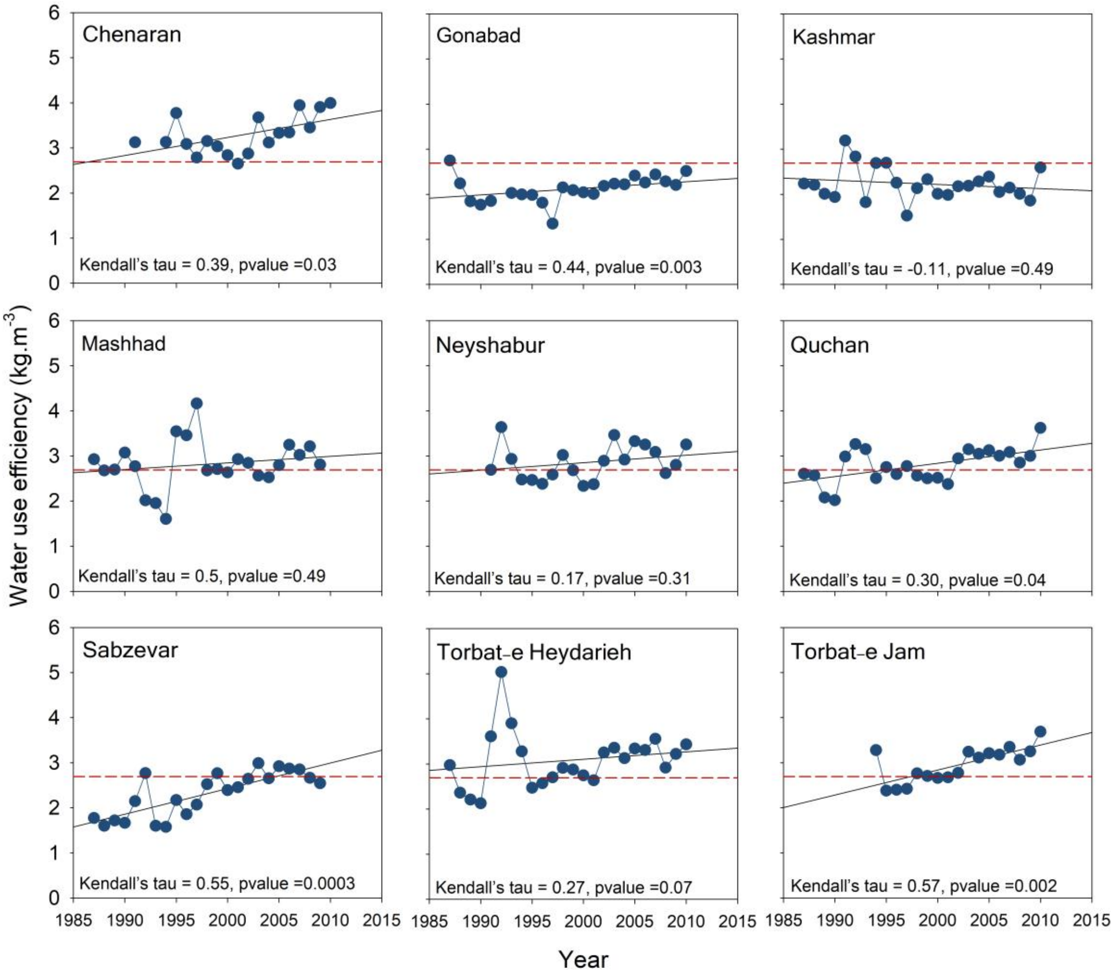
روند تغییرات بلندمدت کارآیی مصرف آب چغندرقند مانند گندم در سال‌های مختلف نوسان زیادی نشان نداد (شکل ۶). در طی بازه زمانی مورد مطالعه میانگین کارآیی مصرف آب در شهرهای سبزوار، کاشمر و گناباد از میانگین بلندمدت استان (۲/۷۲ کیلوگرم در مترمکعب) کمتر بوده است. روند کارآیی مصرف آب سبزوار، تربت جام، قوچان و چناران با شیب متوسطی در سال (به‌ترتیب ۰/۰۶، ۰/۰۶، ۰/۰۳ و ۰/۰۴) به‌طور معنی‌داری افزایش (pvalue<0.01) یافت. ولی در سایر شهرهای استان روند ثابتی داشته که در برخی از سال‌ها در شهرهای مشهد و کاشمر نوساناتی کوتاه‌مدت اتفاق افتاده است. تربت‌حیدریه، چناران و مشهد در اکثر سال‌ها بیشترین کارآیی و گناباد و کاشمر کم‌ترین مقدار را داشتند. دامنه تغییرات بلندمدت کارآیی مصرف آب چغندرقند در این استان از ۱/۳۵ در گناباد تا ۵/۰۳ در تربت‌حیدریه بود. بیشترین میانگین کارآیی مصرف آب چغندرقند استان در تربت‌حیدریه (۵/۰۳ کیلوگرم بر مترمکعب) به‌دلیل پایین بودن میانگین دما در سه ماه اول رشد گیاه (۵/۹۳) و دو ماه انتهایی رشد (۱۶/۱۰) نسبت به سایر سال‌ها بود. در سال‌های ۶۹ و ۸۱ در اکثر شهرستان‌ها بالاترین مقدار کارآیی مصرف آب مشاهده شد که به احتمال فراوان دلیل آن شرایط آب و هوایی به‌وجود آمده در طی این سال‌ها می‌باشد که شرایطی را مهیا کرده و مقدار کارآیی افزایش یافته است. حیدری (Heydari, 2011) مقدار متوسط کارآیی مصرف آب برای گیاه چغندرقند در کل کشور را ۴/۵۶ کیلوگرم به‌ازای هر مترمکعب گزارش کرد که از مقدار به‌دست آمده در استان خراسان بیشتر می‌باشد. همچنین حقایقی مقدم و همکاران (Haghayeghi Moghadam, 2015) مقدار کارآیی مصرف آب چغندرقند پاییزه در منطقه مشهد را تحت سطوح و دور آبیاری متفاوت محاسبه کردند و مقدار آن‌را برای چغندرقند در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد حدود ۲/۴ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. بهتر است کارآیی مصرف آب به‌ازای عملکرد قند تولیدی محاسبه شود. دامنه کارآیی مصرف آب چغندرقند و نیشکر بر اساس شکر به‌ترتیب ۱/۷– ۰/۲۹ و ۰/۴۴– ۰/۲۵ کیلوگرم شکر بر مترمکعب آب مصرفی توسط حیدری (Heydari, 2011) گزارش گردید. حیدری‌پور و همکاران (Heydari et al., 2014) نیز اظهار داشتند که کارآیی مصرف آب چغندرقند در مشهد تحت سطوح آبیاری۱۰۰ و ۷۵ درصد به‌ترتیب ۲/۷ و ۲/۶ کیلوگرم در مترمکعب بود.

گوجه‌فرنگی

دامنه تغییرات بلندمدت کارآیی مصرف آب گوجه‌فرنگی از ۱/۲۱ در گناباد تا ۶/۱ کیلوگرم بر مترمکعب در نیشابور بود (شکل ۷). کارآیی مصرف آب این محصول در قوچان، مشهد و سپس تربت‌جام و تربت‌حیدریه به‌ترتیب با شیبی ۰/۲، ۰/۱، ۰/۱ و ۰/۱ در سال در حال افزایش بود، به‌طوری‌که کارآیی مصرف آب در قوچان از ۱/۹۴ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۹۸۷ به ۴/۷۳ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۸۸ و در مشهد از ۳/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۹۸۷ به ۴/۴۹ کیلوگرم بر مترمکعب در سال ۱۳۸۸ افزایش یافت. اگرچه چناران دارای کارآیی مصرف آب بالایی بود، امّا تغییرات قابل ملاحظه‌ای در طول زمان نداشت. احتمالاً، افزایش درجه حرارت در مناطقی مانند قوچان و چناران منجر به افزایش طول فصل رشد و عملکرد شده است. روند کارآیی مصرف آب در شهرستان‌های تربت‌حیدریه، سبزوار و نیشابور نوسانات فراوانی داشته که در برخی سال‌ها افزایشی و برخی دیگر کاهشی است.

به‌طور کلی، روند افزایشی کارآیی مصرف آب گوجه‌فرنگی در تمامی شهرستان‌ها به‌جز گناباد، کاشمر و سبزوار معنی‌دار (pvalue<0.01) بود. کارآیی مصرف آب گوجه‌فرنگی در طول دوره در دو شهر گناباد و کاشمر از میانگین کارآیی مصرف آب استان بر خلاف سایر استان‌ها پایین‌تر بود. شیب تغییرات کارآیی مصرف آب گوجه‌فرنگی در سبزوار همراستا و پایین‌تر از میانگین استان قرار داشت. به نظر می‌رسد این کاهش به‌دلیل دمای بالاتر این سه شهر و میانگین بالاتر میزان آب مصرفی (گناباد، کاشمر و سبزوار به‌ترتیب ۸۳۴، ۸۴۲ و ۸۵۶ میلی‌متر) نسبت به سایر شهرها (میانگین سایر شهرها ۷۶۳ میلی‌متر) باشد. در طی محاسبات تخمینی مبتنی بر آمار و ارقام کارآیی

مصرف آب گوجه‌فرنگی در مناطق اصفهان، گلستان، خراسان، خوزستان و آذربایجان ۳/۳۳ گزارش شد (Heidari & Haghayeghi Moghadam, 2001) که تا حدودی مشابه مقدار به‌دست آمده برای برخی از مناطق استان می‌باشد.



شکل ٦- بررسی روند کارآیی مصرف آب چغندرقند (WUE) استان خراسان رضوی با استفاده از آزمون من- کندال (۱۳۸۸-۱۳٦۳)

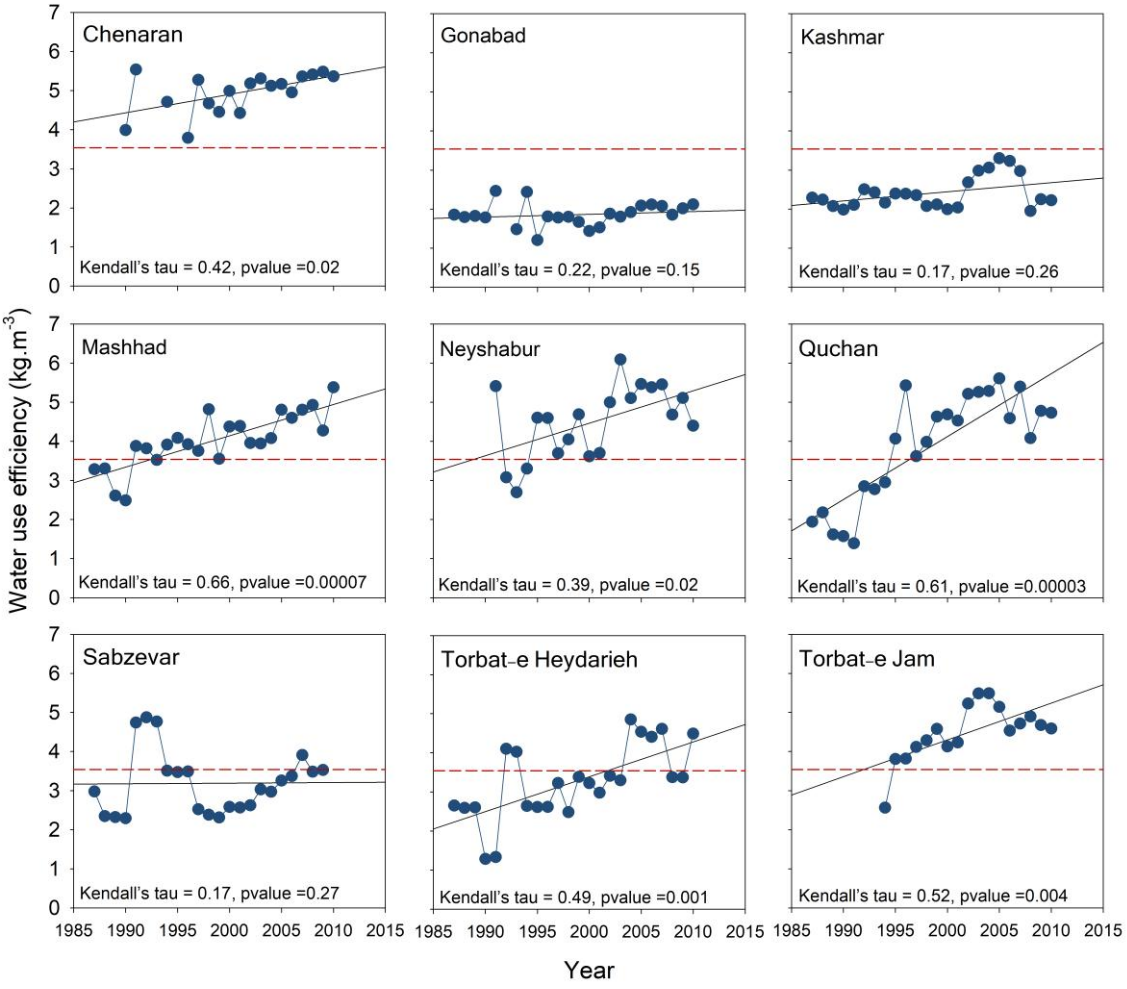
Fig. 6- Trend analysis of suger beet water use efficiency (WUE) by Mann-Kendall test between 1985 and 2010

خطوط منقطع قرمز و توپر مشکی به‌ترتیب نشان‌دهنده متوسط کارآیی مصرف آب استان و خط رگرسیون می‌باشند.

The dashed red and solid black lines represent the average water use efficiency of the province and the regression line, respectively.

اکبر نودهی و همکاران (Akbar Nohi et al., 2013) در بررسی سطوح مختلف آبیاری بر کارآیی مصرف آب گوجه‌فرنگی در مازندران بیان نمودند که بیشترین کارآیی مصرف آب گوجه‌فرنگی در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد در هر دو سال آزمایش (به‌ترتیب ۹/۵ و ۸/۹ کیلوگرم در مترمکعب) به‌دست آمد، و بازه تغییرات کارآیی مصرف آب گوجه‌فرنگی در سطوح مختلف آبیاری این تحقیق ۴/۸ تا ۸/۹ کیلوگرم در مترمکعب بود. بازه کارآیی مصرف آب گوجه‌فرنگی رقم سیندا در مطالعه گلخانه‌ای تحت تأثیر سطوح مختلف آب ۳ تا ۴/۷ کیلوگرم در مترمکعب برآورد شد (Rahimi et al., 2014). کارآیی مصرف آب در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد، آبیاری قطره‌ای زیر سطحی به‌ترتیب ۷/۲ و ۷/۹ کیلوگرم در مترمکعب گزارش شد. این در حالی است که کارآیی مصرف آب گوجه‌فرنگی در شرایط عدم استفاده از خاک‌پوش پلاستیکی (۶/۱ کیلوگرم در مترمکعب) در مقایسه با استفاده از خاک‌پوش پلاستیک در حدود دو کیلوگرم در مترمکعب کاهش یافت (Jolaini, 2011). محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2010) نیز در آزمایش مشابهی در کرج کارآیی مصرف آب گوجه‌فرنگی را ۷/۶

کیلوگرم در مترمکعب برآورد کردند و بیان کردند که افزایش تنش خشکی و شوری منجر به کاهش کارآیی مصرف گوجه‌فرنگی می‌شود. کارآیی مصرف آب گوجه‌فرنگی در صفی‌آباد دزفول در شرایط عدم کمبود آب ۸/۷ کیلوگرم در مترمکعب برآورد شد، که این میزان با کاهش سطح آبیاری به ۱۱/۴ کیلوگرم در مترمکعب رسید، البته میزان کارآیی مصرف آب گوجه‌فرنگی (۴/۴ کیلوگرم در مترمکعب) در شرایط استفاده از آبیاری جویچه‌ای کاهش معنی‌داری یافت (Khorramian, 2014).



شکل ۷- بررسی روندکارآیی مصرف آب گوجه‌فرنگی (WUE) استان خراسان رضوی با استفاده از آزمون من- کندال (۱۳۸۸-۱۳۶۳)

Fig. 7- Trend analysis of tomato water use efficiency (WUE) by Mann-Kendall test from 1985 to 2010

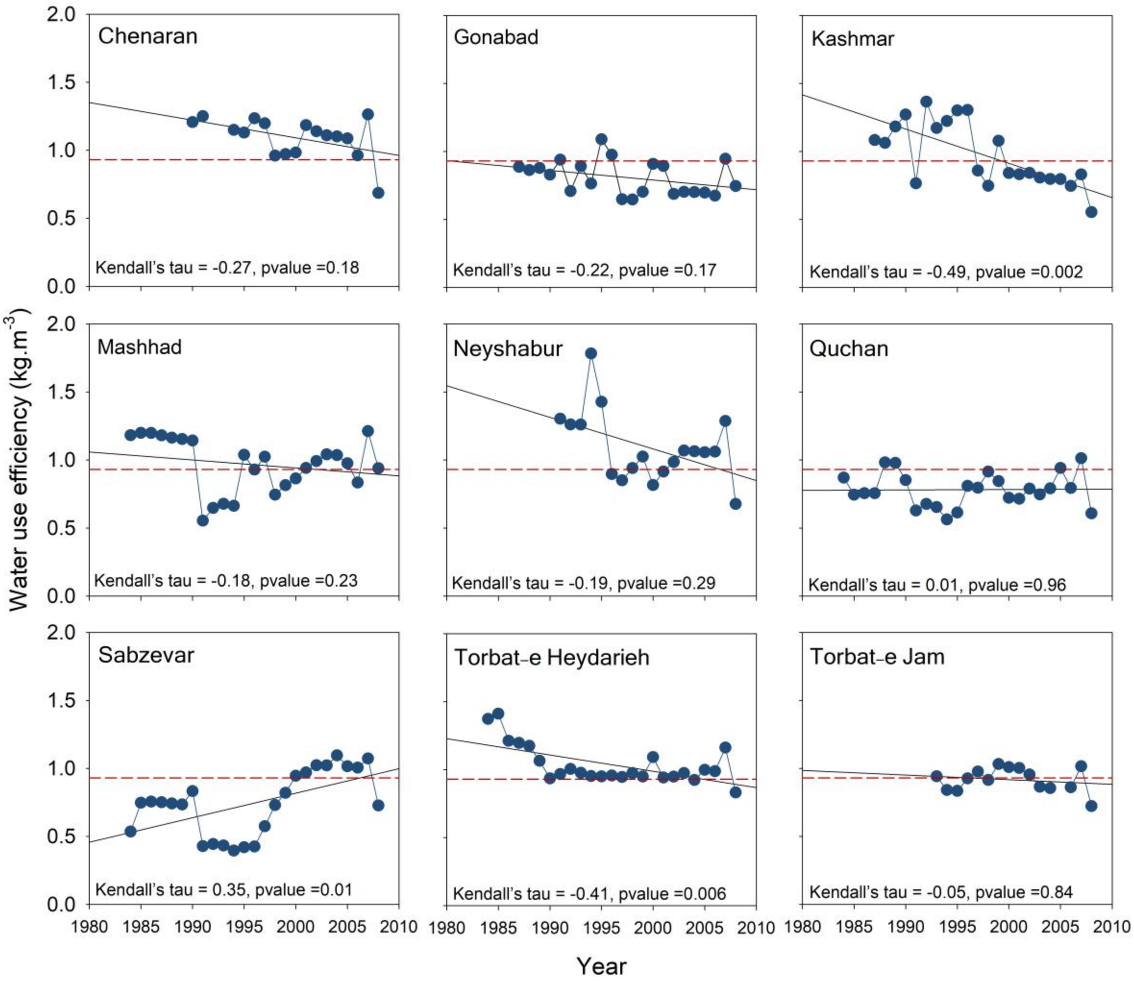
خطوط منقطع قرمز و توپر مشکی به‌ترتیب نشان‌دهنده متوسط کارآیی مصرف آب استان و خط رگرسیون می‌باشند.

The dashed red and solid black lines represent the average water use efficiency of the province and the regression line, respectively.

یونجه

میانگین بلندمدت کارآیی مصرف آب یونجه در استان ۰/۹ کیلوگرم ماده خشک در مترمکعب بود (شکل ۸). دامنه تغییرات بلندمدت کارآیی مصرف آب یونجه از ۰/۴ کیلوگرم ماده خشک در مترمکعب در سبزوار تا ۱/۸ کیلوگرم ماده خشک در مترمکعب در نیشابور بود. روند تغییرات کارآیی مصرف آب یونجه با سایر محصولات زراعی متفاوت بود. تنها کارآیی مصرف آب یونجه در سبزاور در بلندمدت، روند افزایشی معنی‌داری ($p \leq 0.01$) داشت. کارآیی مصرف آب یونجه در سایر شهر روند کاهشی داشته به‌گونه‌ای که در سال‌های انتهایی از میانگین ا ستان هم کمتر شد. امّا این روند کاه شی تنها در کاشمر و تربت حیدریه معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود (شکل ۸). بازه تغییرات کارآیی مصرف آب یونجه خوزستان در دور آبیاری کم و

آبیاری سنگین به‌ترتیب ۰/۴۹ تا ۲/۱۱ کیلوگرم در هکتار علوفه خشک به‌ازای هر مترمکعب آب بود (Khorramian et al., 2012). مقایِ سه چهار تیمار آبیاری پس از تخلیه ۹۰، ۷۰، ۵۰ و ۳۰ در صد رطوبت قابل اســتفاده خاک نشــان داد که آبیاری پس از ۵۰ درصــد تخلیه مجاز رطوبت با ۱۹ آبیاری و حجم آب م صرفی ۱۲۹۶۵ مترمکعب در هکتار و کارآیی م صرف آب آبیاری علوفه خ شک ۱/۱ کیلوگرم در مترمکعب از سایر تیمارها برتر بود (Dehghani et al., 2005; Kizer, 2002). نیشـــابوری و صـــادقی (Nyshaboury & Sadeghi, 2003) نیز بیشترین کارآیی مصرف آب را چین دوم یونجه در حدود ۱/۱ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمار ۵۰ درصـد آب قابل دسـترس در منطقه ریشـه برآورد کرد.



شکل ۸- بررسی روندکارآیی مصرف آب یونجه (WUE) استان خراسان رضوی با استفاده از آزمون من- کندال (۱۳۸۸-۱۳۶۳)

Fig. 8- Trend analysis of alfalfa water use efficiency (WUE) by Mann-Kendall test between 1985 and 2010

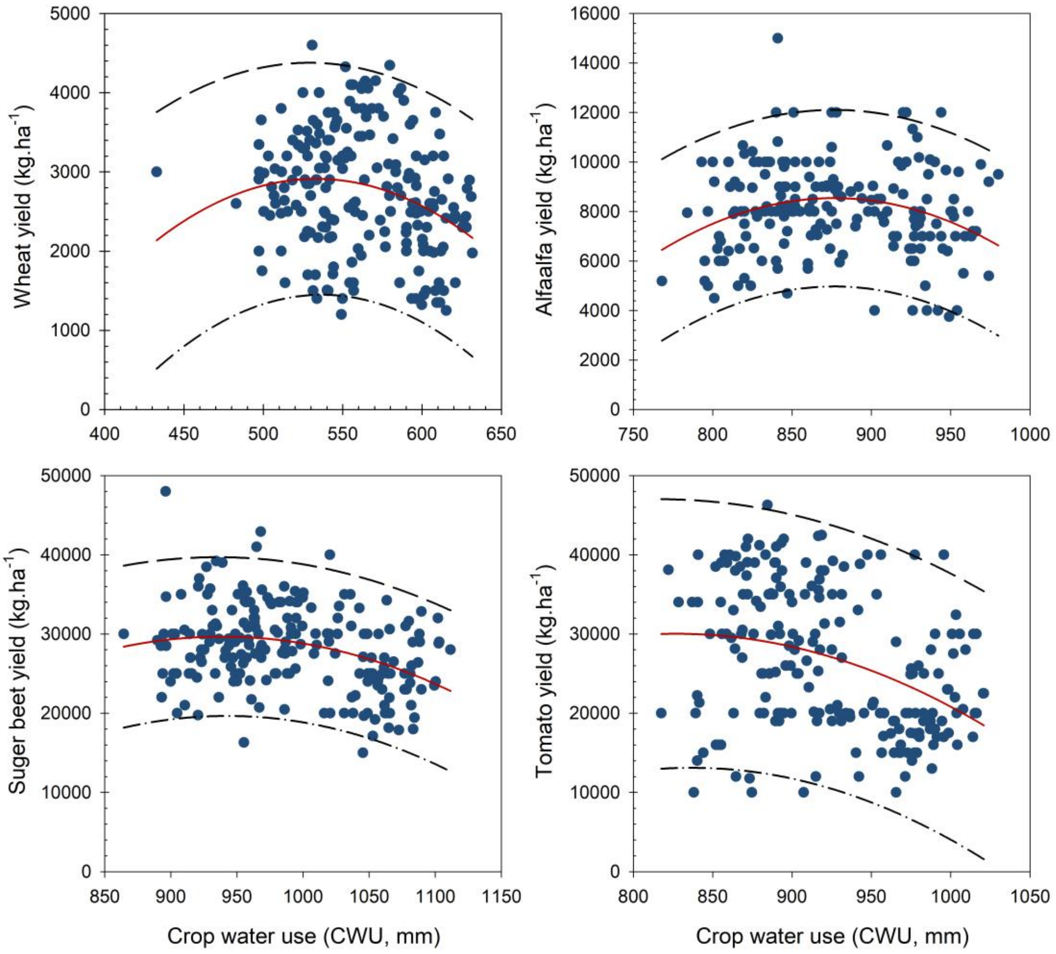
خطوط منقطع قرمز و توپر مشکی به‌ترتیب نشان‌دهنده متوسط کارآیی مصرف آب استان و خط رگرسیون می‌باشند.

The dashed red and solid black lines represent the average water use efficiency of the province and the regression line, respectively.

تأثیر افزایش دما بر عملکرد و کارآیی مصرف آب

با توجه به یافته‌های دیگران مبنی بر رابطه معکوس بین عملکرد و تقاضـــای تبخیر در گیاهان زراعی، عملکرد چهار محصـــول گندم، یونجه، چغندرقند و گوجه‌فرنگی در مقابل نیاز آبی آن‌ها در اســـتان خراسـان رضـوی در شـکل ۹ به تصـویر کشـیده شـد (Sadras & Angus, 2006). همان‌طور که مشـاهده می‌شـود، عملکرد گیاهان دارای نوسانات زیادی در یک مقدار آب ثابت می‌باشند. بهترین منحنی برای نشـــان‌دادن تغییرات عملکرد گیاهان در هر مقدار آب مصـــرفی

برازش داده شـده اسـت (خطوط ممتد مشـکی) و برای محدود کردن بالاترین و کم‌ترین مقدار عملکرد در نیاز آبی منحنی لایه مرزی (بازه ۹۵ درصـد اطمینان بالا و پایین) نیز برازش داده شـده اسـت (خطوط نقطه‌چین). به‌این ترتیب عملکرد محصـولات به سـه گروه مجزا تقسیم‌بندی شده است. گروه اول بالاترین عملکرد را در هر مقدار نیاز آبی دارند (بالاترین خط در هر نمودار). گروه دوم نشـان‌دهنده عملکرد متوسط و گروه سوم نشان‌دهنده کمترین عملکرد بر نیاز آبی می‌باشد. بنابراین، منحنی نشـان‌دهنده حد بالایی عملکرد، همان عملکرد پتانسیل قابل دسترس بر اساس نیاز آبی پتانسیل می‌باشد. لذا فاصله عمودی بین حد بالایی عملکرد و حد پایینی بیانگر خلأ عملکرد (عملکرد قابل دسترس) در استان خراسان رضوی می‌باشد. در هر گروه با افزایش نیاز آبی پتانسیل عملکرد محصولات افزایش می‌یابد و به بالاترین مقدار خود می‌رسـد و سـپس با افزایش بیشـتر نیاز آبی پتانسـیل، عملکرد کاهش می یابد. بالاترین عملکرد در ۵۴۰، ۸۸۰، ۹۴۰ و ۸۵۰ میلی‌متر نیاز آبی پتانسیل برای گندم، یونجه، چغندرقند و گوجه‌فرنگی به‌دست آمد. با توجه به این که نیاز آبی برای هر محصول به‌وسیله تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده است، لذا تفاوت عملکرد بین هر سـه گروه در یک مقدار نیاز آبی، نشـان‌دهنده مدیریت‌های متفاوت در هر مزرعه می‌باشد. تاریخ کاشت، کوددهی، مقدار آبیاری (Oweis & Hachum, 2009) و رقم (Oweis et al., 2002)، مهم‌ترین منابع تغییرات عملکرد می‌باشد.



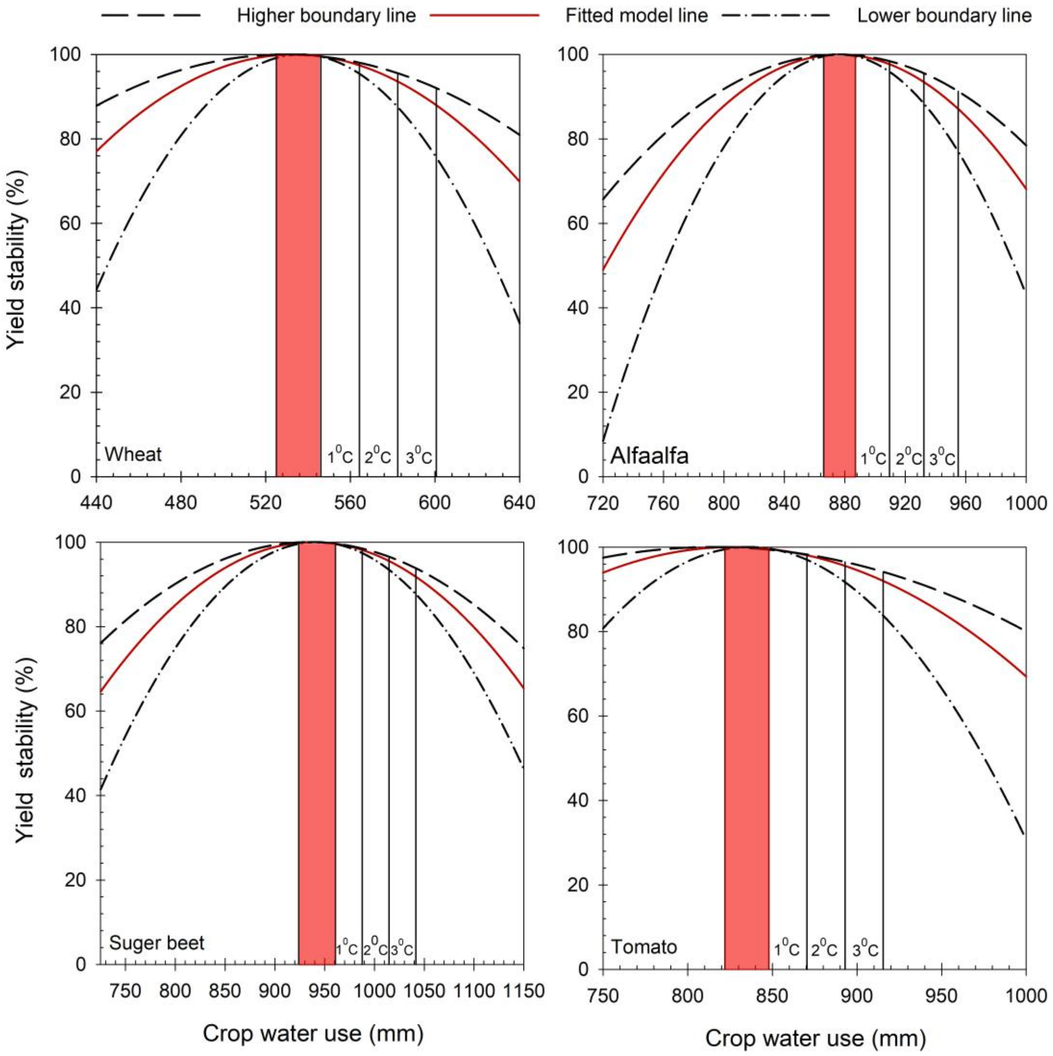
شکل ۹- تغییرات عملکرد گندم، یونجه، چغندرقند و گوجه‌فرنگی در مقابل میزان آب مصرفی

Fig. 9 - Yield changes in wheat, alfalfa, sugar beet and tomatoes versus water use

خطوط منقطع نشان‌دهنده لایه مرزی بالا و پایین و خطوط قرمز توپر نشان‌دهنده مدل برازش داده شده می‌باشد.

The dashed lines represent the upper and lower boundary lines and the solid red lines represent the fitted model.

مقدار نیاز آبی بهینه، مقدار نیاز آبی است که در آن حداکثر عملکرد هر محصول به‌دست می‌آید. نیاز آبی بهینه برای هر سه مدل برازش داده شده یکسان بود. از آن‌جایی‌که نیاز آبی هر محصول بر اساس تبخیر و تعرق پتانسیل و ضریب گیاهی هر محصول محاسبه شده است و از طرفی، تبخیر و تعرق پتانسیل به‌روش بلانی- کریدل محاسبه شده است، لذا افزایش و کاهش نیاز آبی به‌معنی افزایش و کاهش دما در طول دوره رشد می‌باشد. شکل ۱۰ تأثیر افزایش دما (نیاز آبی) را بر ثبات عملکرد در هر یک از سه مدل برازش داده شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می شود افزایش نیاز آبی تأثیر متفاوتی بر کاهش عملکرد در هر سه گروه و هر یک از محصولات دارد. با افزایش یک درجه دما در طول دوره رشد عملکرد در هر سه مدل به‌مقدار خیلی ناچیزی کاهش می یابد و تفاوتی بین سه مدل مشاهده نمی‌شود. در حالی‌که با افزایش بیشتر دما اختلاف بین مدل‌ها بارز می‌شود.



شکل ۱۰- تغییرات ثبات عملکرد گندم، یونجه، چغندرقند و گوجه‌فرنگی تحت تأثیر میزان آب مصرفی و افزایش درجه حرارت (۱ تا ۳ درجه سانتی‌گراد)

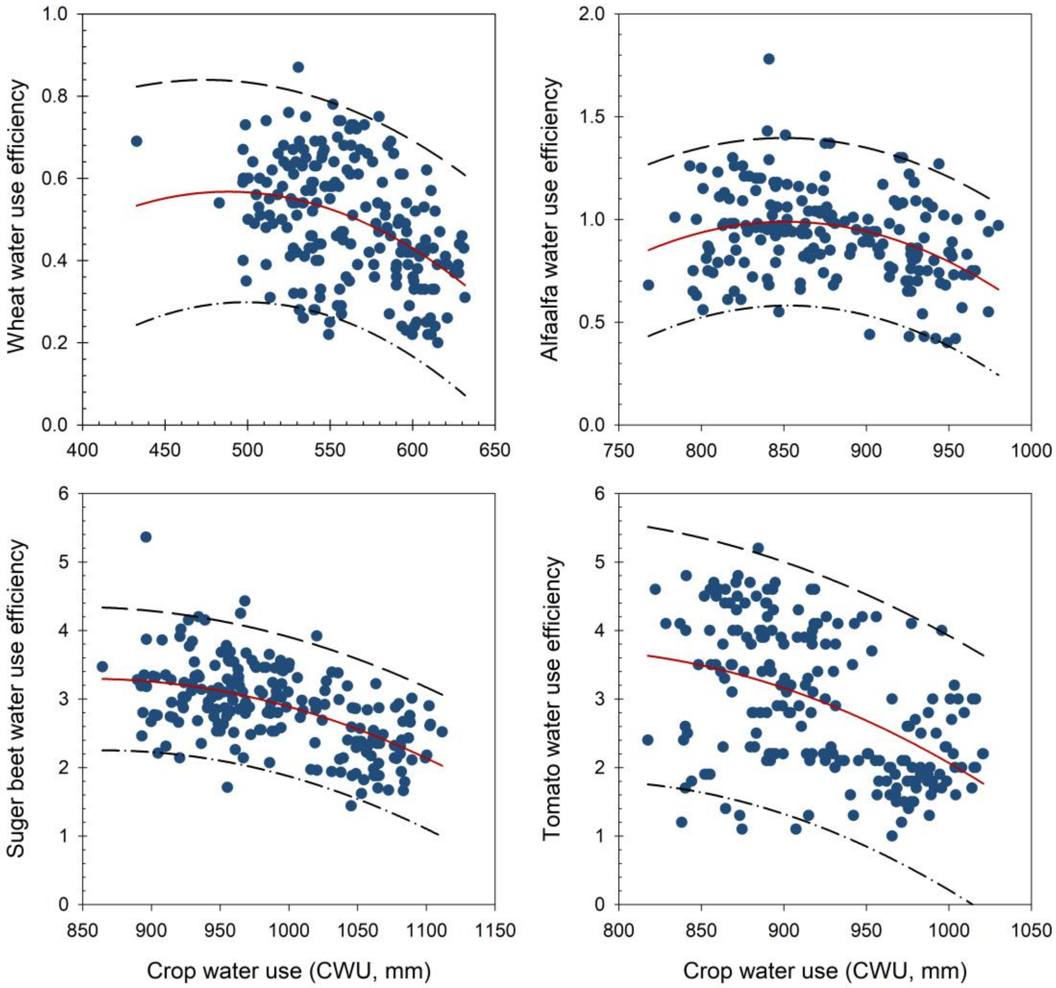
Fig. 10- Changes in yield stability of wheat, alfalfa, sugar beet and tomatoes under the influence of water use and increase in temperature (1 to 3 °C)

خطوط منقطع نشان‌دهنده لایه مرزی بالا و پایین و خطوط قرمز توپر نشان‌دهنده مدل برازش داده شده می‌باشد.

The dashed lines represent the upper and lower boundary lines and the solid red lines represent the fitted model.

کشاورزانی که در گروه عملکردی بالا قرار دارند، در مقابل افزایش دما مقاومت بی شتری ن شان می‌دهند و عملکرد آن‌ها به‌مقدار کم‌تری کاهش می یابد. این در حالی اســـت که کشـــاورزانی که در گروه عملکردی پایین قرار دارند در مقابل تغییرات دما حساسـیت بیشـتری داشته، به‌طوری‌که با افزایش سه درجه سانتی‌گراد دما عملکرد گندم و یونجه وگوجه‌فرنگی ۲۰ درصـــد و چغندرقند حدود ۱۷ درصـــد کاهش می‌یابد.

شکل ۱۱ پراکندگی کارآیی مصرف آب گندم، یونجه، چغندرقند و گوجه‌فرنگی را بر اســاس نیاز آبی پتانســیل نشــان می‌دهد. فاصــله عمودی بین نقاطی که در یک مقدار مشـــخص نیاز آبی قرار دارند، بیانگر اختلاف بین کارآیی مصـرف آب مزارعی هسـت که در شـرایط یکســـان قرار دارند. تفاوت بین روش‌های مختلف کشـــت و مدیریت زراعی دلیل ا صلی اختلاف در کارآیی م صرف آب شده ا ست. منحنی که با خط م شکی توپر نمایش داده شده ا ست، مدل برازش داده شده برای نمایش روند تغییرات کارآیی مصـــرف آب در نیاز آبی پتانســـیل می باشـــد و خطوط بالا و پایین آن، منحنی لایه مرزی بوده که برای نمایش بالاترین و کم‌ترین مقدار کارآیی مصرف آب، برازش داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص شده است، با افزایش نیاز آبی، کارآیی مصرف آب کاهش می‌یابد.



شکل ۱۱- تغییرات کارآیی مصرف آب در مقابل تأثیر میزان آب مصرفی

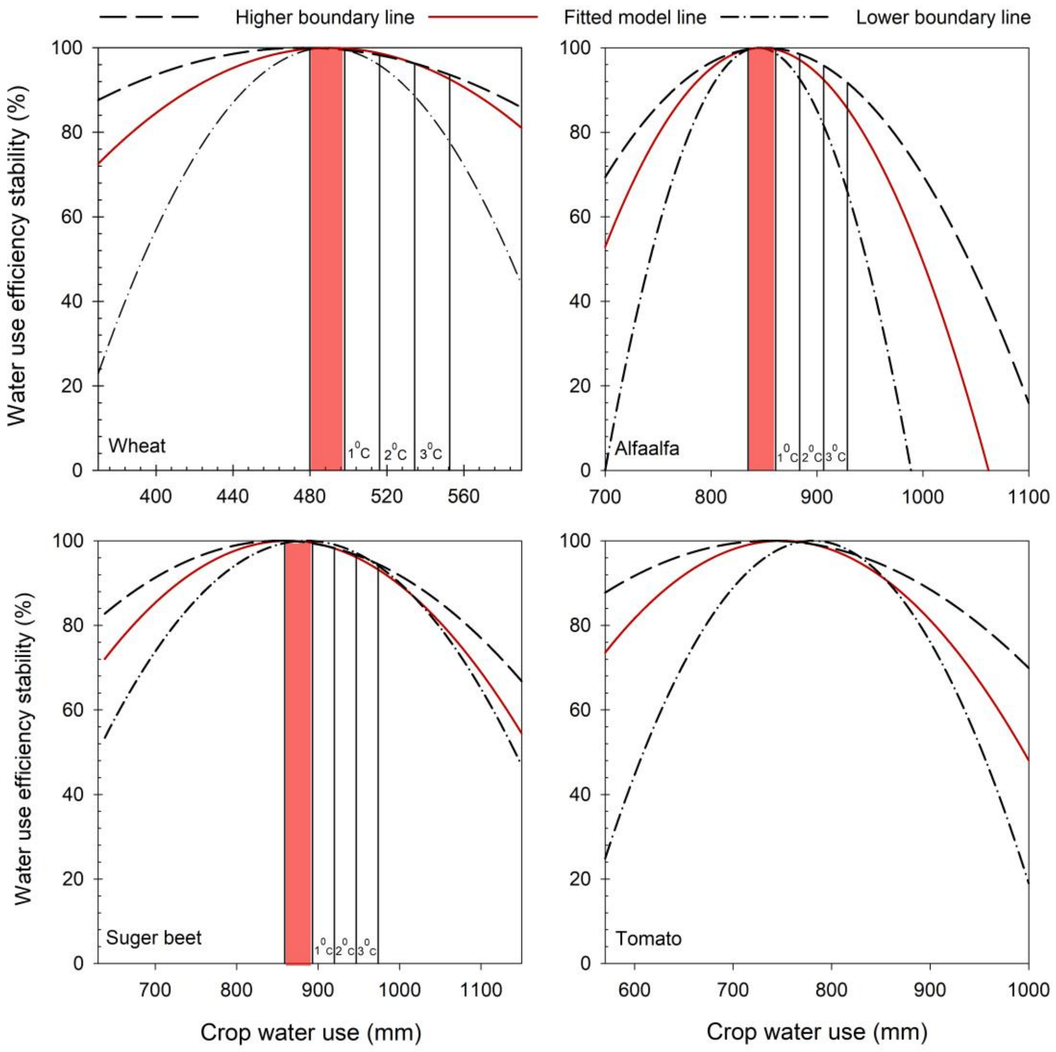
Fig. 11- Changes in water use efficiency versus water use

خطوط منقطع نشان‌دهنده لایه مرزی بالا و پایین و خطوط قرمز توپر نشان‌دهنده مدل برازش داده شده می‌باشد.

The dashed lines represent the upper and lower boundary lines and the solid red lines represent the fitted model.

بالاترین مقدار کارآیی مصرف آب برای گندم زمانی به‌دست می‌آید که نیاز آبی در حدود ۵۰۰ میلی‌متر در طول دوره رشد باشد و با افزایش و کاهش این مقدار، کارآیی مصرف آب کاهش می یابد. بهترین کارآیی مصرف آب برای یونجه در نیاز آبی ۸۵۰ میلی‌متر به‌دست آمد و مانند گندم، با افزایش و کاهش نیاز آبی کارآیی مصرف آب کاهش می یابد. کارآیی مصرف آب چغندرقند و گوجه‌فرنگی، با افزایش نیاز آبی کاهش یافت.

افزایش نیاز آبی به‌طور مستقیم با افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل در ارتباط است. با افزایش تبخیر و تعرق گیاهان در معرض تنش خشکی قرار گرفته و کارآیی مصرف آب کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، افزایش نیاز تبخیری محیط باعث افزایش نسبت تبخیر به تعرق شده و بدین طریق نیز کارآیی مصرف آب کاهش می‌یابد.



شکل ۱۲- تغییرات ثبات کارآیی مصرف آب گندم، یونجه، چغندرقند و گوجه‌فرنگی تحت تأثیر میزان آب مصرفی و افزایش درجه حرارت (۱ تا ۳ درجه سانتی‌گراد)

Fig. 12- Stability changes in water consumption efficiency of wheat, alfalfa, sugar beet and tomato under the influence of water use and increase in temperature (1 to 3 °C)

خطوط منقطع نشان‌دهنده لایه مرزی بالا و پایین و خطوط قرمز توپر نشان‌دهنده مدل برازش داده شده می‌باشد.

The dashed lines represent the upper and lower boundary lines and the solid red lines represent the fitted model.

حداکثر کارآیی مصرف آب برای هر سه مدل تقریباً در یک مقدار نیاز آبی به‌دست آمد. بالاترین کارآیی مصرف آب برای گندم، یونجه، چغندرقند و گوجه‌فرنگی در ۴۹۰، ۸۵۰، ۸۸۰ و ۷۸۰ میلی‌متر نیاز آبی به‌دست آمد (شکل ۱۲). با افزایش نیاز آبی کارآیی مصرف آب برای همه محصولات به‌صورت منحنی نزولی (با شیب متفاوت) کاهش یافت. همان‌طور که در شکل ۱۲ نشان داده شده است، گروه سوم که دارایی کارآیی مصرف آب پایینی می‌باشد، به تغییرات نیاز آبی بسیار حساس بوده و با افزایش دما کارآیی مصرف آب این گروه با شیبی تند کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که با افزایش سه درجه سانتی‌گراد دما در طول دوره رشد، کارآیی مصرف آب گندم و یونجه ۲۵ و ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. در حالی که افزایش نیاز آبی تأثیر مخرب کم‌تری بر کارآیی مصرف آب در گروه دیگر می‌گذارد. از آن‌جایی که اختلاف بین دو گروه حد بالایی و پایینی کارآیی مصرف آب، با افزایش دما بیشتر می‌شود، به نظر می‌رسد با افزایش دما و تغییر اقلیم اختلاف بین کارآیی مصرف آب در مزارع و شهرستان‌های استان خراسان بیشتر خواهد شد.

دامغانی و همکاران (Damghani et al., 2005) نیز در مطالعه‌ای در مورد پایداری بوم‌شناختی نظام زراعی گندم و پنبه در استان خراسان بیان نمودند تلفات آب در سیستم آبیاری به شکلی است که بخش عمده‌ای از آب آبیاری یا از دسترس گیاه خارج است و یا صرف تولید محصول نمی‌شود، به شکلی که کارآیی مصرف آب در گندم ۰/۵ کیلوگرم در مترمکعب بوده است. استفاده از سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای هرچند به‌دلیل ورود نهاده‌های خارجی و مصرف بالای انرژی در تولید و فعالیت آن‌ها، از یک طرف وابستگی نظام کشاورزی را افزایش می‌دهد، ولی افزایش کارآیی آبیاری در آن‌ها می‌تواند این نقیصه را جبران کند.

نتیجه‌گیری

برخی از گیاهان از جمله خیار و گوجه‌فرنگی بیشترین مقدار کارآیی مصرف آب را بین محصولات جالیزی و سبزیجات در استان خراسان رضوی داشتند. دامنه تغییرات بلندمدت کارآیی مصرف آب گندم و جو در تمامی شهرهای نسبت به میانگین استان پایین بود. کاشمر، گناباد و مشهد در اکثر محصولات و چناران و نیشابور نیز در اکثر محصولات به‌جز گندم و جو به‌ترتیب دارای پایین‌ترین و بالاترین کارآیی مصرف آب نسبت به میانگین استان بود. میزان آب مصرفی محصولات زراعی در کاشمر، گناباد و مشهد به‌دلیل دمای هوای بالاتر و بارندگی کمتر از میانگین استان بالاتر بود، به عبارت دیگر، در اقلیم‌های گرم و خشک، نیاز اتمسفری بیشتر بوده وگیاهان زراعی برای تولید یک واحد ماده خشک، به‌میزان آب مصرفی بیشتری نیازمند هستند. بخش زیادی از افزایش کارآیی مصرف گیاهان زراعی در طی سال در استان خراسان رضوی به‌دلیل افزایش قابل توجهی عملکرد این گیاهان در طی دهه‌های اخیر می‌باشد. این افزایش عملکرد بدون آن‌که تبخیر و تعرق فصلی افزایش یابد، به‌دست آمده است. بنابراین کارآیی مصرف آب همراه با افزایش عملکرد بالا رفته است. با توجه به این موضوع، در صورتی که بتوان محدودیت‌های رشد گیاهان از نظر مدیریت به‌زراعی و به‌نژادی را بدون توجه به تغییر در تبخیر و تعرق گیاه، به حداقل ممکن رساند، کارآیی مصرف آب گیاهان افزایش خواهد یافت. از جمله موارد قابل ذکر در مدیریت های به‌زراعی و به‌نژادی در افزایش کارآیی مصرف آب شامل زمان‌بندی مناسب در آبیاری، افزایش مقاومت گیاهان به تنش خشکی و اصلاح ارقام زراعی و کاشت گیاه در مناطق منطبق با نیاز دمایی و آبی می‌باشد.

تفاوت در مدیریت‌های مزرعه (مدیریت‌های در سطح بالا، متوسط و ضعیف) منجر به تولید عملکردهای متفاوت در یک مقدار نیاز آبی در بازه طولانی‌مدت در این استان شد. با افزایش یک درجه دما در طول دوره رشد گیاهان، اختلاف ناچیزی در عملکرد گیاهان استان در هر سه مدل مدیریت مشاهده شد. با افزایش بیش از یک درجه سانتی‌گراد در دما اختلاف بین مدل‌ها بارز شد. مزارعی با مدیریت بهتر، در مقابل افزایش دما مقاومت بیشتری نشان داده و برخلاف مزارعی با مدیریت ضعیف، درصد کاهش عملکرد آن‌ها کمتر می‌باشد. به‌طوری‌که با افزایش سه درجه سانتی‌گراد دما عملکرد گندم و یونجه و گوجه‌فرنگی ۲۰ درصد و چغندرقند حدود ۱۷ درصد کاهش یافت. با افزایش نیاز آبی کارآیی مصرف آب برای همه محصولات به صورت منحنی نزولی با شیب متفاوت کاهش یافت. همچنین، افزایش سه درجه سانتی‌گراد دما در طول دوره رشد، منجر به کاهش ۲۵ و ۴۰ درصدی کارآیی مصرف آب گندم و یونجه در مزارع با مدیریت ضعیف شد. از آن‌جایی که اختلاف بین دو گروه حد بالایی و پایینی کارآیی مصرف آب، با افزایش دما بیشتر می‌شود، به نظر می‌رسد با افزایش دما و تغییر اقلیم اختلاف بین کارآیی مصرف آب در مزارع و

شهرستان‌های استان خراسان بیشتر خواهد شد. به‌طور کلی، کارآیی مصـرف آب تا حد زیادی تحت تأثیر مدیریت زراعی می‌باشـد، زیرا از یک طرف عملکرد تابع مدیریت زراعی است و از طرف دیگر، مصرف آب و به‌کارگیری صحیح آن به مدیریت بستگی دارد و با اجرای تدابیر مدیریتی می‌توان به کارآیی مصرف آب بالا در تولید محصولات زراعی رسید. افزایش کارآیی مصرف آب در کشاورزی موضوعی استراتژیک اسـت که باید در کشـور با توجه به مقادیر آب موجود در جهت بهره‌گیری از آن مورد توجه واقع شد.

سپاسگزاری

هزینه‌های مورد نیاز جهت انجام این طرح توسط معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی و در قالب طرح تحقیقاتی مصـوب با کد ۲/۲۸۳۷۳ مورخ ۱۳۹۳/۱۰/۲۴ تأمین شـده است که بدین وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه تشکر و سپاسگزاری می‌گردد.

References

Abdollahi, F., Jafari, L., and Asadi, S., 2021. Comparison of water Requirement of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Fields of Hormozgan Province with other Southern Regions of Iran Using Time Series Analysis. Journal of Agroecology 12(4): 685-702. (In Persian with English Summary)

Absalan, N., Karim, M., Haidari, N., Dehghan, A., Abbasi F., and Rahimian, D.A., 2010. Determine and assess the efficiency of water use in the saline lands of Karkhe catchment area. Research Report No. 1267/89. Research Institute of Agricultural Engineering. (In Persian with English Summary)

Akbar Nodehi, D., Azizi Zohan A.A., and Rezaie Sokht Abndani, R., 2013. Investigate the relationship between water consumption and yield of tomato in Mazandaran. Water Research in Agriculture. 27(4): 503-512.

Alizadeh, A., Kamali, Gh.A., Khanjani, M.J., and Rahnavard, M.R. 2004. Evaluation of the accuracy of empirical method of estimating reference evapotranspirationq. Uarterly Geographical Research 19(2): 97-105.

Amirkhani, S., and Chizari, M. 2010. Factors influencing drought management in Varamin Township. Third Congress of Agricultural Extension and Natural Resources, Mashhad, Iran March 2010, p. 107–118. (In Persian with English Summary)

Araus, J.L., Slafer, G.A., Reynolds, M.P., and Royo, C., 2002. Plant breeding and drought in C_3 cereals: What should we breed for? Annals of Botany. 89: 925-940.

Asadi, S., Bannayan, M., and Monti, A., 2019. The association of crop production and precipitation; a comparison of two methodologies. Arid Land Research and Management 33(2), 155-176.

Bannayan, M., Asadi, S., Nouri, M., and Yaghoubi, F., 2020. Time trend analysis of some agroclimatic variables during the last half century over Iran. Theoretical and Applied Climatology 140(3), 839-857.

Bhojaraja, B.E., Hegde, G., Pruthviraj, U., Shetty, A., and Nagaraj M.K., 2015. Mapping agewise discrimination of arecanut crop water requirement using Hyperspectral Remote Sensing. Aquatic Procedia 4: 1437-1444.

Boyer, J.S. 1992. Plant productivity and environment. Science 218: 443-448.

Brouder, S.M., and Volenec, J.J., 2008. Impact of climate change on crop nutrient and water use efficiencies. Physiol. Plant. 133(4): 705–724.

Casanova, D., Goudriaan, J., Bouma, J., and Epema, G.F., 1999. Yield gap analysis in relation to soil properties in direct-seeded flooded rice. Geoderma 91: 191–216.

Dehghani, M., Aghdaie, M., and Maman Posh, A., 2005. Effect of irrigation on yield and water use efficiency and irrigation of Alfafa. Iranian Soil Science Congress 9th. SSCI09_442. (In Persian with English Summary)

Ehsani, D., and Khalidi, H., 2003. Water productivity in agriculture. National Committee on Irrigation and Drainage. 82: 109-109. (In Persian with English Summary)

Entz, M.H., and Fowler, D.B., 1990. Differential agronomic responses of winter wheat cultivars to preanthesis environmental stress. Crop Science 30: 1119-1123.

FAO Irrigation and Drainage Paper. Crop Evapotranspiration. 2006. No. 56.

Faramarz pPour, A., Delshad, M., and Parsi Nejad, M., 2012. An evaluation of growth, yield and water use efficiency of greenhouse cucumber production at different soil moisture circumstances using tensiometer as moisture measuring instrument. Iranian Journal of Horticultural Science 43(3): 285-292.

Faramarzi, M., Yang, H., Schulin, R., and Abbaspour, K., 2010. Modeling wheat yield and crop water productivity in Iran: Implications of agricultural water management for wheat production. Agricultural Water Management 97(11): 1861-1875.

Ghaemi, M., and Seyadat, H., 1994. Final report project to study the effect of different moisture regimes in cotton fiber

yield. Publication No. 963 Research Institute of Soil and Water.
Ghosh, P.K., Manna, M.C., Bandyopadhyay, K.K., Ajay, Tripathi, A.K., Wanjari, R.H., Hati, K.M., Misra, A.K., Acharya, C.L., and Subba Rao. A., 2006. Interspecific interaction and nutrient use in soybean/sorghum intercropping system. Agronomy Journal 98: 1097-1108.
Gilbert, N. 2012. Water under pressure, Nature 483: 256–257.
Haghayeghi Moghadam, S.A., Alizadeh, A., Ahmadi, M., Bannayan, M., and Ansari, H., 2015. Effect of irrigation on water use efficiency of sugar beet fall in Mashhad. Journal of Agricultural Engineering Research 16(3): 15-30.
Heidari, N., and Haghayeghi Moghadam, S.A., 2001.The main products of irrigation water use efficiency in different areas. Report to the Department of Agriculture, Ministry of Agriculture. Research Institute of Agricultural Engineering. Karaj.
Heydari, N. 2011. Determination and evaluation of water use efficiency of some major crops under farmers management in Iran. Journal of Water and Irrigation Management. 1(2): 43.57.
Hydari Pour, R., Nassiri Mahallati, M., Koochaki, A., and Ahmad Feiz Abadi, A., 2014. Effects of water and nitrogen use efficiency and water productivity in corn (*Zea mays* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.), sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Journal of Agroecology 6(2): 187-198.
Izadi, A. 2001. The effect of fractions of water on yield and yield components of two cotton cultivars introduced in hand. M.Sc. Thesis Ferdowsi University of Mashhad.
Jolaini, M. 2011. Investigation the effect of different water and plastic mulch levels on yield and water use efficiency of tomato in surface and subsurface drip irrigation method. Journal of Water and Soil 25(5): 1025-1023.
Kafi, M., and Mahdavi Damghani, M. 2001. Biological Seed and -Crop Production. Jahad-e Daneshgahi Mashhad Publications.
Kendall, M.G., 1962. Rank Correlation Methods. Hafner Publishing Company: New York.
Keshavarz, A., and Sadegh Zadeh, K., 2000. Water management in agriculture, Agricultural Engineering Research Institute. Publication No. 3.
Khorramian, M., 2014. Effect of Tape Irrigation levels on yield and quality of tomato in north of Khuzestan Province. Journal Management System. 38(2): 161-170.
Khorramian, M., Shoushi Dezfouli, A.A., and Asareh, A., 2012. Investigation the effect of gun sprinkle irrigation on forage yield and water use efficiency of alfalfa in Khuzestan. Crop Physiology Journal 4 (15): 87-97.
Kizer, M. 2002. Alfalfa Irrigation. Oklahama Cooperative Extension Service, E. 826. Chapter 6.
Li, Y.L., Cui, J.Y., Zhang, T.H., and Zhao, H.L., 2003. Measurement of evapotranspiration of irrigated spring wheatand maize in a semiarid region of North China. Agricultural Water Management 61:1-12.
Mann, H.B., 1945. Non parametric tests again trend. Econometrica 13: 245–259.
Mohammadi, M., Liaghat, A., and Molavi, H., 2010. Optimization of water use and determination of tomato sensitivity coefficients under combined salinity and drought stress in Karaj. Journal of Water and Soil. 24(3): 583-592.
Momeni, R., Behbahani, S.M.R., Nazary Far, M.H., and Azadegan, B., 2008. Zoning water productivity of wheat cropping system model in various water courses (Case study Karkhe catchment area). Iranian Journal of Irrigation and Drainage 2(1): 63-76. (In Persian with English Summary)
Montazar, A., and Kosari, H., 2007. Water productivity analysis of some irrigated crops in Iran. Proceeding of the international conference of water saving in Mediterranean agriculture and future needs. Valenzano (Italy). Series B. Etudes et Recherches, 56(1): 109-120. (In Persian)
Najafi Alishah, F., Golchin, A., and Mohebbi, M., 2013. The impact of superabsorbent and irrigation on yield, water use efficiency and growth indices Greenhouse cucumbers. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture 15: 1-14.
Nazemosadat, M.J., 2010. Winter drought in Iran: association with ENSO. Drought Netw. News 13, 1.
Nyshaboury, M., and Sadeghi, S., 2003. Evaluation of different methods of irrigation schedule based on alfalfa yield and water use efficiency. Journal of Agricultural Science 13(2): 77-88.
Onoz, B., and Bayazit, M., 2003. The power of statistical tests for trend detection. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences 27: 247–251.
Oweis, S., Zhang, H., and Pala, M., 2000. Water use efficiency of rainfed and irrigated bread wheat in a Mediterranean environment. Agronomy Journal 92: 231–238.
Oweis, T., and Hachum, A., 2009. Supplemental irrigation for improved rainfed agriculture in WANA region. In: Wani, S.P., Rockstrom, J., Oweis, T. (Eds.). Rainfed Agriculture: Unlocking the Potential. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series 7, CABI, London, UK, pp. 182-196.
Raei Jadidi, M., Homayounifar, M., Sabuhi Sabuni, M., and Kheradmand, V., 2010. Determination of energy use efficiency and productivity in tomato production. Agricultural Economics and Development 24(3): 363-370.
Rahimi, M.M., Delshad, M., liyaghat, A., and Rahmatian, A., 2014. Improving water/fertilizer use efficiency of

hydroponically cultured greenhouse tomato by partial root zone drying, deficit irrigation and hydrogel amendment. Iranian Journal of Horticultural Science 45(2): 175-184. (In Persian with English Summary)

Sadeghi, B. 2012. Effect of corm weight on saffron flowering. Proceedings of the 4th International Saffron Symposium. Keshmir. Iran.

Sadras, V.O., and Angus, J.F., 2006. Benchmarking water use efficiency of rainfed wheat crops in dry mega-environments. Australian Journal of Agricultural Research 57: 847–856.

Shaozhong, K., Shi, W., and Zhang, J., 2000. An improved water-use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. Field Crop Research 67: 207-214.

Wood, M., Pibean, C.A.M. Neill, M.C., and Harries, H., 1997. Nitrogen cycling in a dry- land cereal-legume rotation system. Pages: 71-78. In: J. Ryan (Ed.). Accomplishments and future challenges in dryland soil fertility research in the Mediterranean area. ICARDA. Aleppo. Syria.

Yea, Q., Yang, X., Dai, S., Chen, G., Lie, Y. and Zhang, C., 2015. Effects of climate change on suitable rice cropping areas, croppingsystems and crop water requirements in southern China. Agricultural Water Management 159: 35-44.

Zwart, S.J., and Bastiaansen, W.G.M., 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. Agricultural Water Management 69(2): 115-133.

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

CC BY

Research Article
Vol. 14, No. 1, Spring 2022, p. 95-113

Growth and Yield of Millet (*Panicum miliaceum* L.) as Affected by Different Levels of Organic Fertilizer and Zinc Sulfate

M. Hasemi[1], M.A. Behdani[2*], M. Jamialahmadi[3] and H.R. Fallahi[4]

Received: 18-10-2020
Revised: 12-02-2021
Accepted: 16-02-2021
Available Online: 15-06-2022

How to cite this article:
Hasemi[1], M., Behdani, M.A., Jamialahmadi, M., and Fallahi, H.R., 2022. Growth and yield of millet as affected by different levels of organic fertilizer and zinc sulfate. Journal of Agroecology 14(1):95-113.
DOI: 10.22067/agry.2021.20322.0

Introduction

Millet (*Panicum miliaceum* L.) is a ,warm-season grass with a growing season of 60–100 days. It is a highly nutritious cereal grain used for human consumption, birdseed, and/or ethanol production. Millet ranks sixth among the world’s most important cereal grains, sustaining more than one-third of the world’s population. Millets are generally among the most suitable crops for sustainable agriculture and food security on marginal lands with low fertility. Millet crops are grown on marginal lands and under low-input agricultural conditions, situations in which major cereal crops often produce low yields. Foliar application of Zn brings the greatest benefit in comparison with addition to soil where they become less available. Generally, Micronutrients are essential for plant growth and play an important role in balanced crop nutrition. Micronutrients are as important to plant nutrition as primary and secondary nutrients, though plants do not require as much of them.

Materials and methods

To study the effect of cow manure (CM: 0, 10, 20, and 30 ton ha^{-1}) and zinc sulfate (ZS: 0, 60, and 90 kg ha^{-1}) application on common millet (*Panicum miliaceaum* L.) growth and yield, a factorial experiment based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications was conducted in the research field of University of Birjand, Iran, in 2018 growing season. In addition, a chemical fertilizer (NPK) treatment was considered in each block, and its effect was compared with 12 other combination treatments based on a randomized complete block design. The studied traits were plant height, number of tillers per plant, 1000-grain weight, grain yield, biological yield, harvest index, and seed zinc content. The software SAS (V9.1) and Excel were used to analyze the data and draw the figures. Means were compared using the FLSD test at a 5% probability level.

Result and discussion:

Analysis of variance results showed that the simple effects of both experimental factors were significant on all studied traits, but none of the interaction effects were significant. Application of 60 kg ha^{-1} of ZS improved all growth and yield parameters of millet, while the highest zinc content in the seed was obtained by applying 90

1- Graduated of M.Sc. in Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
2, and 3- Professor, Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran, respectively.
4- Assistant Professor, Department of Agronomy(plant and Environmental Stresses Research Group), Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
*- Corresponding Author, Email: mabehdani@birjand.ac.ir

kg ha^{-1}. The highest seed and biological yields (2227 and 7940 kg ha^{-1}, respectively) were obtained by 60 kg ha^{-1} of ZS application, which was 36 and 6.6% higher than the control treatment (no-fertilization), respectively. All studied traits showed an increasing trend with increasing the amount of CM consumption, so that their highest values were obtained when 30 tons ha^{-1} of CM was applied. Seed yield (2564 kg ha^{-1}) at the highest CM level was 138% more than the control treatment and ultimately led to a 14.4% increase in the harvest index.

Conclusion:

Millet (*Panicum miliaceum* L.) is a cereal plant cultivated for its grain, mostly in Asia and North America. It is a warm-season grass with a short growing season and low moisture requirement that is capable of producing food or feed where other grain crops would fail. Chemical fertilizer treatment (NPK) also improved all traits related to plant growth and yield compared to control as well as some other fertilization treatments. Modifying the physical properties of the soil and the availability of nutrients for millet plants can be a major reason for the increased yield and growth of the plant. Also, the results showed that consumption of zinc sulfate at 60 kg.ha^{-1} increased yield and yield components of common millet, but consumption of 90 kg.ha^{-1} of this fertilizer reduced the studied traits. In addition, the results of this experiment showed a significant difference between four levels of manure so that the highest grain yield of studied millet was obtained from 30 tons per hectare of manure. According to the test results, it can be stated that the application of zinc sulfate at a rate of 60 kg per hectare increased the yield and yield components of millet and therefore is introduced as the desired amount of fertilizer to achieve ideal yield.

Keywords: Chemical fertilizer, Fertile tiller, Seed weight, Seed yield, Yield components.

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

مقاله پژوهشی

واکنش رشد و عملکرد ارزن (*Panicum miliaceum* L.) معمولی به مصرف سطوح مختلف کود دامی و سولفات روی

منیره هاسمی[1]، محمدعلی بهدانی[2]*، مجید جامی الاحمدی[3] و حمید رضا فلاحی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۷
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۱/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۸

هاسمی[1]، م.، بهدانی، م.ع.، جامی الاحمدی، م.، و فلاحی، ح.ر.، ۱۴۰۱. واکنش رشد و عملکرد ارزن (*Panicum miliaceum* L.) معمولی به مصرف سطوح مختلف کود دامی و سولفات روی. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۱): ۱۱۳-۹۵.

چکیده

کاربرد کودهای دامی به‌همراه عناصر ریز مغذی از جمله راه‌کارهای مناسب جهت دستیابی به اهداف کشاورزی اکولوژیکی است، که می‌تواند تولیدات کشاورزی را در مکان و زمان افزایش دهد و به بهبود عملکرد کمّی و کیفی گیاهان زراعی منجر شود. ارزن (*Panicum miliaceum* L.) گیاهی یک‌ساله است که در مناطق خشک و نیمه خشک رشد می‌کند و بعد از گندم، برنج، ذرت و جو مهم‌ترین گیاه یک‌ساله جهان محسوب می‌گردد و یکی از بهترین محصولات برای تولید علوفه و دانه است. به‌همین دلیل و به‌منظور بررسی اثر کود دامی و سولفات‌روی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بیرجند اجرا شد. فاکتورهای ازمایش شامل کود دامی (گاوی) (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار) و سولفات‌روی (صفر، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار) بودند. همچنین، یک کرت شاهد مبتنی بر مصرف کود شیمیایی (NPK) در هر بلوک در نظر گرفته شد و اثر این تیمار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با سایر ۱۲ ترکیب تیماری حاصل از مصرف کود دامی و سولفات‌روی مقایسه شد. صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت و محتوی رویِ بذر بودند. نتایج نشان داد مصرف ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌روی باعث بهبود تمامی شاخص‌های رشد و عملکرد ارزن شد و بیشترین محتوی رویِ موجود در بذر با کاربرد ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار از کود مذکور حاصل شد. بیشترین عملکرد دانه و زیستی در تیمار مصرف ۶۰ کیلوگرم سولفات روی مشاهده شد که در مقایسه با شاهد (بدون کود) به‌ترتیب ۳۶ و ۶/۶ درصد افزایش داشت. بیشترین مقادیر صفات مورد مطالعه با مصرف ۳۰ تن در هکتار کود دامی به‌دست آمد و عملکرد دانه در این سطح کودی ۱۳۸ درصد بیشتر از شاهد بود و در نهایت، منجر به افزایش ۱۴/۴ درصدیِ شاخص برداشت شد. تیمار کود شیمیایی (NPK) در مقایسه با تیمار بدون کود منجر به بهبود تمامی صفات مرتبط با رشد و عملکرد گیاه شد.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، پنجه بارور، عملکرد دانه، کود شیمیایی، وزن هزار دانه

مقدمه

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲ و ۳- به‌ترتیب استاد و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۴- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات(گروه پژوهشی گیاه و تنش های محیطی)، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
(* نویسنده مسئول: Email: mabehdani@birjand.ac.ir)
DOI: 10.22067/agry.2021.20322.0

ارزن معمولی (*Panicum miliaceaum* L.) یکی از غلات سنتی در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود که از قدرت تحمل مطلوبی نسبت به تنش‌های خشکی و شوری برخوردار است و در بین غلات پس از گندم (*Triticum aestivum* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.)، ذرت (*Zea mays* L.)، جو (*Hordeum vulgare* L.) و سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) در رتبه ششم اهمیت قرار دارد (Habiyaremye Kazemi-Arbat et al., 2009; et al., 2017). این گیاه یک‌ساله متعلق به خانواده غلات با ساقه‌های برگ‌دار عمودی است که می‌تواند به ارتفاع بین ۱۰۰-۱۵۰ سانتی‌متر برسد و دارای جنس‌های مختلفی می‌باشد (Omidi et al., 2015). ارزن به مقدار زیادی در آفریقا، هندوستان، چین و بعضی از کشورهای آمریکای جنوبی کشت می‌شود و در ایران نیز زراعت این گیاه به‌خصوص در مناطق گرم و کم‌باران متداول است (Khodabandeh, 2000; Habiyaremye et al., 2017;). در بین انواع مختلف ارزن، ارزن معمولی با توجه به‌طول دوره رشد کوتاه و مقاومت به خشکی و کارایی مصرف آب مناسب می‌تواند در یک دوره ۵۰ تا ۶۰ روزه رشد خود را کامل و دانه تولید نماید (Alizadeh-Bonab et al., 2007). به‌دلیل سازگاری ارزن با شرایط نامساعد محیطی و فقر خاک (Azari Nasrabad & Mirzaee, 2012) و همچنین به‌دلیل پربرگی و خوش‌خوراکی، عدم وجود اسید پروسیک، عملکرد مطلوب علوفه، قابلیت کشت در مناطق مختلف (استفاده از اراضی بلا استفاده) آن، این گیاه قابلیت کاشت ایده‌آل برای نواحی گرم را دارا می‌باشد (Izadi Yazdanabadi et al., 2014). با توجه به ویژگی‌های ذکر شده، این گیاه از پتانسیل خوبی جهت کمک به امنیت غذایی ساکنین نواحی خشک و کم‌باران برخوردار است که با مدیریت صحیح زراعی از جمله تأمین نیازهای غذایی آن می‌توان به عملکردهای مطلوبی دست یافت. در نظام‌های کشاورزی پایدار، کاربرد کودهای آلی از اهمیت ویژه‌ای جهت افزایش تولید محصول و حفظ حاصل‌خیزی پایدار خاک برخوردار است (Mohammad-Abadi et al., 2012). هرچند استفاده از کودهای شیمیایی به عنوان سریع‌ترین راه برای جبران کمبود عناصر غذایی خاک و حصول عملکرد بالا، در نظر گرفته می‌شود، امّا مزایای حاصل از این نوع نهاده‌ها موقتی بوده و در درازمدت اثر منفی بر بازدهی زمین‌های زراعی بر جا می‌گذارد (Moradi et al., 2011). کیفیت و سلامت محصولات تولید شده با استفاده از کاربرد مواد آلی همچون بقایای گیاهی و کودهای دامی، باعث ترغیب بخش کشاورزی به کاشت محصولات با کاربرد کودهای آلی و استفاده کمتر از کودهای شیمیایی شده است که موجب پایداری نظام کشاورزی گردیده است (Zhou et al., 2005). مصرف کودهای دامی با اتصال ذرات خاک به یکدیگر و تشکیل خاکدانه‌ها باعث بهبود ساختمان خاک می‌شود. بر این اساس، کاربرد کود دامی بر ویژگی‌هایی از قبیل نفوذ آب در خاک، ضریب آب‌گذری و زهکشی خاک و توسعه ریشه تأثیر گذاشته و با بهبود محتوای ماده آلی خاک موجب تضمین سلامت خاک و جوامع ریزجانداران موجود در ریزوسفر می‌شود (Fallahi et al., 2009; Prakash et al., 2007;). یافته‌های حاصل از تحقیقی بر روی ارزن نشان داد که مصرف کود دامی (۶۰ تن در هکتار)، کود شیمیایی (اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم به‌ترتیب به‌میزان ۱۰۰، ۲۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و مصرف تلفیقی آن‌ها منجر به افزایش عملکرد دانه و علوفه گیاه شد (Tavassoli et al., 2010). در پژوهشی بر ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum*) گزارش شده که با افزایش مصرف نیتروژن تا میزان ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار، عملکرد تر و خشک کل به‌ترتیب ۷۹/۸ و ۸۱/۲ درصد نسبت به تیمار عدم مصرف نیتروژن افزایش یافت (Zabet et al., 2015). نتایج آزمایش دیگری نشان داد که برهم‌کنش کود گاوی (۲۵ تن در هکتار) با عنصر روی (۵۰ کیلوگرم در هکتار) بیشترین وزن کل ماده خشک ارزن معمولی را تولید کرد و غلظت عناصر نیتروژن، آهن، روی، بر و مس را در گیاه افزایش داد (Nezhad Hosseini et al., 2011a). ابراهیم و فاتونجی (Ibrahim & Fatondji, 2020) نیز نقش مصرف کود دامی در مناطق خشک را بر بهبود رشد و عملکرد ارزن مفید ارزیابی کردند. نتایج پژوهش دیگری بر روی ارزن نشان داد که کارایی مصرف کودهای معدنی در شرایط استفاده از کودهای آلی بهبود پیدا کرد (Tounkara et al., 2020).

عنصر روی (Zn) یکی از عناصر کم‌مصرفِ ضروری برای رشد و نمو گیاه است که در ساختمان بسیاری از آنزیم‌ها جزء کلیدی بوده و به عنوان کوفاکتور عمل می‌نماید. این عنصر نقش مهمی در فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز و پروتئیناز و تشکیل اسید ریبونوکلئیک و تنظیم‌کننده‌های رشد دارد. همچنین این عنصر در بسیاری از مسیرهای مهم بیوشیمیایی مرتبط با متابولیسم کربوهیدرات‌ها (شامل فتوسنتز و تبدیل قندها به نشاسته)، متابولیسم پروتئین، متابولیسم اکسین، تشکیل دانه گرده، حفظ یکپارچگی غشاهای سلولی و

همچنین مقاومت به عوامل بیماریزا مؤثر است (Alloway et al., 2008). برخی مطالعات نشان می‌دهد که حدود ۴۰ درصد از اراضی زراعی ایران با کمبود عنصر روی مواجه هستند (Balali et al., 2008). در اراضی دچار کمبود عنصر روی، کاربرد سولفات روی باعث افزایش رشد رویشی و عملکرد گیاه می‌گردد (Rengel & Graham, 1995). در همین راستا، نتایج پژوهشی بر روی ارزن نشان داد که محلول‌پاشی عنصر روی عملکرد بذر این گیاه را از ۱۷۰۱ به ۱۹۰۶ کیلوگرم در هکتار افزایش داد (Javadi et al., 2016). در تحقیق دیگری نیز محلول‌پاشی منفرد و تلفیقی سولفات روی و سولفات منگنز باعث بهبود عملکرد دانه، محتوای عناصر غذایی گیاه و افزایش کمّی و کیفی علوفه تولیدی در گیاه ارزن مرواریدی رقم نوتریفید (*Pennisetum glaucum* L.) شد (Paygozar et al., 2009). در مناطق خشک مشکل کمبود آب به‌عنوان عامل اصلی محدودکننده تولیدات کشاورزی به‌شمار می‌رود و از این‌رو توسعه کاشت گیاهانی مثل ارزن که فصل رشد کوتاه و مقاومت مناسبی به کم‌آبی دارد، می‌تواند مفید باشد. از طرفی، بسیاری از خاک‌های نواحی خشک از نظر محتوای ماده آلی خاک فقیر هستند، بنابراین، مصرف کودهای آلی نیز می‌تواند ضمن تأمین نیازهای غذایی گیاه، منجر به اصلاح خصوصیات خاک در جهت حفظ محتوای رطوبت و توسعه مناسب گیاه شود. سولفات روی نیز موجب تأمین همزمان نیاز گیاه به روی و بهبود ویژگی‌های خاک از جمله تنظیم واکنش خاک می‌شود. بر این اساس مصرف همزمان این دو نوع کود می‌تواند در بهبود رشد و عملکرد ارزن سودمند باشد که در پژوهش کنونی مورد توجه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد کود دامی و سولفات‌روی، بر رشد و عملکرد ارزن معمولی، آزمایشی در سال ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳دقیقه شرقی در ارتفاع ۱۴۸۰ متری از سطح دریا اجرا شد. این منطقه دارای متوسط بارندگی سالانه ۱۲۰ میلی‌متر بوده و بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه جزو مناطق گرم و خشک محسوب می‌شود. قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک محل اجرای آزمایش نمونه‌برداری شد که برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۱ ارایه شده است.

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

Table 1. Some fundamental physical and chemical properties of soil of the experimental site

واکنش pH	هدایت الکتریکی Ec (ds.m^{-1})	ماده آلی OM (%)	پتاسیم قابل جذب K (mg.kg^{-1})	قابل دسترس نیتروژن N Available nitrogen (%)	فسفر P (mg.kg^{-1})	شن Sand	رس Clay %	سیلت Silt	بافت Texrure
7.5	5.6	0.5	250	0.03	12	۳۴	۲۶	۴۰	لوم Loam

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل کود گاوی (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار) و سولفات روی (صفر، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم در هکتار) بودند. افزون بر این، در هر تکرار یک کرت به‌عنوان شاهد شیمیایی در نظر گرفته شد. در این تیمار، کود شیمیایی NPK شامل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (از منبع اوره)، ۷۵ کیلوگرم در هکتار فسفر (از منبع سوپر فسفات) و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاس (از منبع سولفات پتاسیم) قبل از کاشت مورد استفاده قرار گرفت (Hussain et al., 2010). برای مقایسه آماری این تیمار با ۱۲ ترکیب تیماری حاصل از مصرف کود دامی و سولفات پتاسیم، مجموع ۱۳ تیمار یک‌بار نیز در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد مطالعه قرار گرفتند.

ادامه جدول ۱- خصوصیات شیمیایی کود حیوانی

Table 2. Chemical properties of manure

هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	اسیدیته pH	نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	سدیم Na (%)	کلسیم Ca (%)	منیزیم Mg (%)	ماده آلی O.M. (%)
14	8.5	2.5	0.5	2	0.15	1.9	0.32	80

جهت کاشت از ارزن معمولی رقم پیشاهنگ استفاده شد که بذر آن از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی تهیه گردید. زمین مورد نظر جهت اجرای آزمایش، دو هفته قبل از کاشت با گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شد. در مرحله بعد برای خرد شدن کلوخه‌ها از دیسک و برای از بین بردن شیب زمین از لولر استفاده شد. بعد از این عملیات، کرت‌های آزمایشی با ابعاد ۲×۴ متر ایجاد گردید. فاصله کرت‌ها از هم یک متر و فاصله بلوک‌ها از یکدیگر سه متر در نظر گرفته شد. در هر کرت پنج ردیف کاشت با فاصله بین ردیف ۰/۵ متر و فاصله بذرها روی ردیف‌ها دو تا سه سانتی‌متر در نظر گرفته شد که در آن بذرها به‌صورت دستی در اواسط اردیبهشت ماه کشت شدند. برای هر بلوک یک جوی جهت آبیاری و یک جوی برای تخلیه زه‌آب لحاظ شد. کود دامی قبل از کاشت در سطح کرت‌های مربوطه به‌میزان محاسبه شده بر اساس سطوح تیمارها پخش گردید و پس از اختلاط آن با خاک (تا عمق ۲۵ سانتی‌متری)، اقدام به تهیه جوی و پشته در درون کرت گردید. هم‌زمان با کاشت بذر، کود سولفات‌روی در کرت‌های مربوطه در عمق یک تا دو سانتی‌متر زیر ردیف‌های کشت مصرف شد. جهت تسهیل در سبز شدن گیاه، دو آبیاری اول با فاصله هر سه روز یک‌بار صورت گرفت. بعد از سبز شدن بوته‌ها، آبیاری به فاصله هر هفت روز یک‌بار انجام شد. تنک کردن بوته‌های ارزن جهت رسیدن به تراکم مدنظر (۴۰ بوته در مترمربع: فاصله روی ردیف و بین ردیف به‌ترتیب پنج و ۵۰ سانتی‌متر) در مرحله سه تا چهار برگی انجام گرفت. کنترل علف‌های مزرعه نیز به‌صورت وجین دستی در طی یک مرحله (پنج هفته پس از کاشت) انجام شد.

به‌منظور اندازه‌گیری صفات مرتبط با رشد و اجزای عملکرد ارزن، در مرحله پایانی رشد گیاه (زمانی‌که ساقه‌ها و خوشه‌ها به رنگ زرد در آمده بودند و در اوایل مرداد ماه که برداشت انجام گرفت) و پس از حذف اثر حاشیه‌ای (دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای سه ردیف میانی) اقدام به نمونه‌برداری شد. برای این منظور از سه ردیف میانی تعداد پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب شد و سپس صفاتی مانند ارتفاع بوته و نیز اجزای عملکرد شامل تعداد پنجه در گیاه، تعداد پانیکول در گیاه، تعداد دانه در پانیکول و وزن هزار دانه تعیین شد.

برای اندازه‌گیری ارتفاع گیاه، تعداد پنجه در بوته و تعداد پانیکول در بوته، پس از در نظر گرفتن و حذف اثرات حاشیه‌ای تعداد پنج بوته انتخاب و ارتفاع گیاه از انتهای ساقه تا محل طوقه با متر اندازه‌گیری شد و سپس شمارش تعداد پنجه در بوته و تعداد پانیکول در بوته انجام گرفت و پس از گرفتن میانگین آن‌ها، عدد نهایی به‌عنوان عدد صفت مورد نظر ثبت گردید، پس از اندازه‌گیری این صفات بوته‌های مذکور برداشت شده و پس از جداسازی پانیکول‌ها (جهت جلوگیری از ریزش دانه‌ها پانیکول‌ها در پاکت‌های مجزا قرار گرفتند) سپس اندام‌های رویشی گیاه به همراه پانیکول‌ها درون آون به‌مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و پس از خشک شدن آن‌ها، میانگین وزن کلی اندام‌های پنج بوته برداشت شده (کلیه اجزای گیاهی برداشت شده از بالای سطح خاک) به‌عنوان عملکرد بیولوژیک ثبت گردید. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه ابتدا جداسازی دانه‌ها از پانیکول صورت گرفت و سپس وزن دانه برای هر بوته یادشت شده و میانگین وزن دانه‌های خشک شده پنج بوته به‌عنوان عملکرد نهایی دانه ثبت گردید و سپس شاخص برداشت بر اساس نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک ضربدر ۱۰۰ به‌دست آمد.

اندازه‌گیری محتوی عنصر روی دانه‌ها: جهت اندازه‌گیری محتوی عنصر روی دانه ابتدا نمونه‌های یک گرمی آسیاب شده از آن‌ها درون بوته‌های چینی قرار داده شدند و سپس در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خاکستر شدند و سپس نمونه خاکسترها در ۱۰ سی سی اسید کلریدریک دو نرمال حل شده و به‌مدت ۳۰ دقیقه روی هات پلات در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و بعد از آن نمونه‌ها را با آب مقطر به حجم ۱۰۰ سی سی رسانده و با کاغذ صافی، صاف شدند. از نمونه‌های صاف شده به‌مقدار لازم برداشته و میزان عنصر روی با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه-گیری گردید.

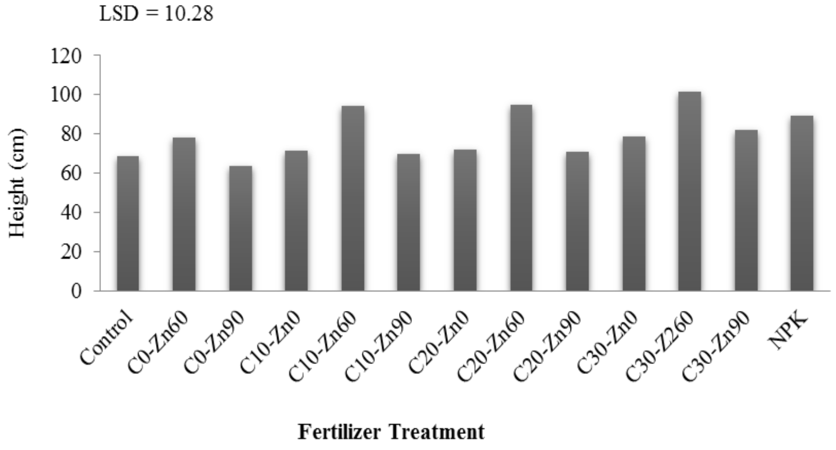
محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (9.3)، مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. جهت رسم نمودارهای نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع گیاه

نتایج نشان داد که اعمال تیمار سولفات روی به‌طور معنی‌داری ارتفاع ارزن را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بیشترین ارتفاع بوته را ایجاد کرد. این سطح

کودی در مقایسه با شاهد (عدم مصرف کود) مقدار صفت مذکور را ۲۶/۹ درصد افزایش داد (جدول ۳). محققی افزایش ارتفاع گیاه در شرایط فراهمی مناسب عنصر روی را به نقش این عنصر در انجام فعالیت‌های فیزیولوژیکی و بیولوژیکی و به‌عنوان یک هورمون محرک رشد گیاه، نسبت داده‌اند (Rion & Allowy, 2004). با این وجود، با افزایش مقدار کاربرد سولفات روی به ۹۰ کیلوگرم در هکتار، ارتفاع بوته در مقایسه با سطح ۶۰ کیلوگرم در هکتار، ۲۲/۴۶ درصد کاهش یافت (جدول ۳). این موضوع احتمالاً ناشی از اختلال در جذب برخی عناصر غذایی ضروری مانند فسفر، آهن و پتاسیم، اختلال در توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه (کاهش جذب آب و در نتیجه، کاهش رشد اندام‌های هوایی)، کاهش غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی و القای تنش اکسیداتیو، در شرایطی باشد که غلظت عنصر روی در محیط ریشه بیش از حد افزایش پیدا کرده است (Khavari-Nejad et al., 2011). در همین ارتباط، نتایج تحقیق دیگری نشان داد عنصر روی در غلظت‌های پایین باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) (Khavari-Nejad et al., 2011)، گندم (Yang et al., 2011) و برنج (Singh & Singh-Shivay, 2015) نسبت به شاهد شد، ولی غلظت‌های بالای این عنصر باعث کاهش ارتفاع گیاه گردید. اثر سطوح مختلف کود دامی نیز بر ارتفاع بوته ارزن معنی‌دار بود (جدول ۲). افزایش مقدار مصرف کود دامی منجر به افزایش تدریجی ارتفاع گیاه شد. در بین سطوح مختلف کود دامی اثر مصرف ۳۰ تن در هکتار بر ارتفاع ارزن بیشتر از سایر سطوح بود و موجب افزایش ۱۹/۸۳ درصدی ارتفاع نسبت به تیمار عدم مصرف کود دامی شد (جدول ۴). همراستا با این نتایج، گدا و همکاران (Gowda et al., 2008) بیان کردند که تیمارهای کود گاوی و شاهد (عدم مصرف کود) به‌ترتیب بیشترین و کمترین ارتفاع را در گیاه گندم ایجاد نمودند. از آنجا که فراهمی عناصر غذایی یکی از عوامل اصلی در تعیین ارتفاع نهایی گیاه است، به نظر می‌رسد که عدم مصرف کود گاوی به علت کمبود مواد غذایی موجب کاهش ارتفاع گیاه شده باشد. از طرفی، رشد رویشی گیاه وابستگی شدیدی به محتوای رطوبتی خاک دارد. کودهای آلی با افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک باعث ایجاد شرایط مناسب‌تر برای رشد گیاه می‌شوند (Singer et al., 2007). نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها جهت مقایسه تیمار کود شیمیایی (NPK) با سایر تیمارهای آزمایش نشان داد که از نظر ارتفاع بوته بین تیمارهای مذکور تفاوت معنی‌داری وجود داشت. ارتفاع ارزن در تیمار مصرف کود شیمیایی نسبت به شاهد ۳۰/۲۳ درصد افزایش یافت. در بین تمامی ۱۳ تیمار کودهای آلی و شیمیایی نیز بیشترین ارتفاع ارزن مربوط به تیمار مصرف همزمان ۳۰ تن در هکتار کود دامی و ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بود که ۱۴/۲۳ درصد نسبت به تیمار کود شیمیایی افزایش نشان داد (شکل ۱).



شکل ۱- اثر تیمارهای مختلف کود دامی و سولفات‌روی در مقایسه با شاهد شیمیایی (NPK) بر ارتفاع ارزن

Fig. 1- Effect of different treatments of cow manure and zinc sulfate compared with chemical fertilizer (NPK) on millet height

Control: عدم مصرف کود؛ C: کود دامی (تن در هکتار)، Zn: سولفات‌روی (کیلوگرم در هکتار)؛ اعداد جلوی C و Zn بیانگر سطح مصرف هر کود می‌باشد.

Control=no-fertilization; C= cow manure (T.on.ha-1); Zn= zinc sulfate (Kg.ha-1); Numbers in front of C and Zn indicate the level of application of each fertilizer.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مربوط به اثر سطوح مختلف سولفات روی و کود دامی بر رشد، عملکرد و محتوی روی در گیاه ارزن دانه‌ای (رقم پیشاهنگ)

Table 2- Analysis of variance mean of squares for effects of different levels of zinc sulfate and animal manure on growth, yield and zinc content in millet (var. pishahang).

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	ارتفاع گیاه Plant height	تعداد پنجه در بوته Number of tillers per plant	تعداد پانیکول در بوته Number of panicles per plant	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد زیستی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	محتوی روی بذر Seed Zn content
تکرار Replication	2	54.61^{ns}	1.22^{*}	0.76^{*}	0.017^{ns}	32220.6^{ns}	2763283.7^{**}	52.37^{ns}	262.69^{ns}
سولفات روی $ZnSO_4$	2	1625.91^{**}	3.52^{**}	3.57^{**}	0.18^{*}	1285871.31^{**}	2385975.09^{**}	125.33^{**}	1333.54^{**}
کود دامی Manure	3	451.45^{**}	8.8^{**}	7.96^{**}	0.47^{**}	3605210.5^{**}	5777158.68^{**}	328.20^{**}	266.79^{ns}
کود دامی×سولفات روی Manure× $ZnSO_4$	6	38.36^{ns}	0.10^{ns}	0.07^{ns}	0.18^{ns}	14135.31^{ns}	241254.35^{ns}	6.67^{ns}	8.25^{ns}
خطا Error	22	40.36	0.24	0.18	0.03	143385.09	152320.75	20.44	88.29
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	8.07	15.4	10.81	3.75	20.46	5.21	18.63	16.57

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌داری.

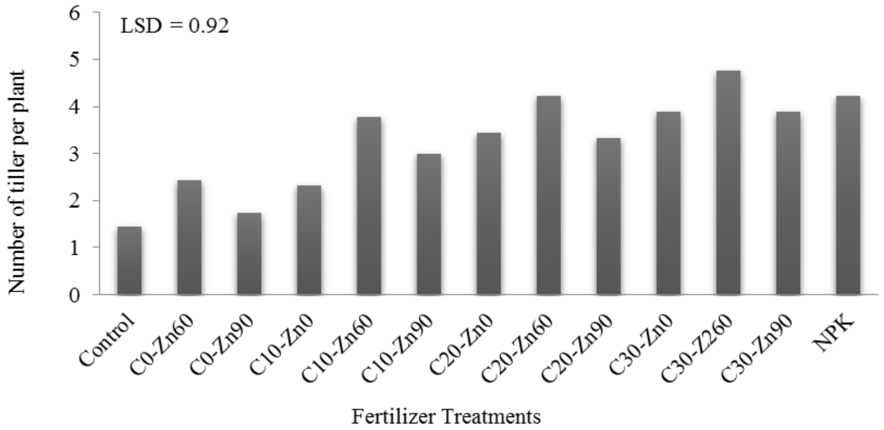
**, * and ns are significant at P≤ 0.01 and P≤ 0.05 probability levels and not significant, respectively.

تعداد پنجه در بوته

اثر مصرف سولفات روی بر صفت تعداد پنجه در بوته ارزن معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین تعداد پنجه از سطح مصرف ۶۰ کیلوگرم سولفات روی حاصل شد که ۳۷/۱۳ درصد بیشتر از تیمار عدم مصرف کود بود. افزایش مقدار مصرف سولفات روی به ۹۰ کیلوگرم در هکتار منجر به کاهش قابل توجه مقدار این صفت در مقایسه با سطح مطلوب مصرف روی شد (جدول ۳). در تحقیق مشابهی افزایش توان پنجه‌زنی در گیاه برنج (*Orysa sativa* L.) در شرایط فراهمی مناسب عنصر روی گزارش شد (Muhammad et al., 2002). کاربرد کود دامی نیز بر توان پنجه‌زنی ارزن اثر معنی‌داری داشت (جدول ۲). با افزایش سطح مصرف کود دامی، تعداد پنجه در بوته به‌طور تدریجی افزایش یافت. بیشترین مقدار این صفت در تیمار مصرف ۳۰ تن در هکتار کود دامی به‌دست آمد که ۱۲۱/۸ درصد بیشتر از تیمار عدم مصرف کود دامی بود (جدول ۴). در تحقیق مشابهی در گیاه اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk.) نیز کاربرد ۲۰ تن در هکتار کود دامی منجر به افزایش قدرت پنجه‌زنی این گیاه شد (Pouryousef et al., 2011). یکی از علل مهم بیشتر بودن تعداد پنجه در شرایط مصرف کود دامی، بهبود حاصلخیزی و خصوصیات فیزیکی خاک می‌باشد (Gholamhosseini et al., 2008). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین شاهد شیمیایی (NPK) با سایر تیمارهای تغذیه‌ای تفاوت آماری معنی‌داری وجود داشت ($p\leq$۰/۰۱). در بین تمامی کودهای آلی و شیمیایی مورد استفاده، بیشترین تعداد پنجه مربوط به مصرف توأم ۳۰ تن در هکتار کود دامی و ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بود که نسبت به شاهد شیمیایی و شاهد بدون کود به ترتیب ۱۳/۱۹ و ۲۳۱ درصد افزایش داشت (شکل ۲).

تعداد پانیکول در بوته

تأثیر مصرف سولفات روی بر تعداد پانیکول در بوته ارزن معنی‌دار شد (جدول ۲). کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار از این منبع کودی بیشترین تعداد پانیکول را سبب شد، به‌طوری‌که نسبت به شاهد صفت مذکور را ۲۸/۹۱ درصد بهبود بخشید. اگر چه در سطح مصرف ۹۰ کیلوگرم سولفات روی نیز تعداد پانیکول در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود ۵/۵ درصد بیشتر بود، ولی در مقایسه با سطح مطلوب کودی باعث کاهش ۲۲/۴ درصدی این صفت شد (جدول ۳).



شکل ۲- اثر تیمارهای مختلف کود دامی و سولفات‌روی در مقایسه با شاهد شیمیایی (NPK) بر تعداد پنجه در هر بوته ارزن

Fig 2. Effect of different treatments of cow manure and zinc sulfate compared with chemical fertilizer (NPK) on number of tiller per plant

Control= عدم مصرف کود؛ C= کود دامی (تن در هکتار)، Zn: سولفات‌روی (کیلوگرم در هکتار)؛ اعداد جلوی C و Zn بیانگر سطح مصرف هر کود می‌باشد. اختلاف ستون هایی که دارای حروف الفبایی مشابه هستند از لحاظ آماری در سطح حداقل ۵ درصد (**LSD**) معنی‌دار نیست.

Control=no-fertilization; C= cow manure; Zn= zinc sulfate; Numbers in front of C and Zn indicate the level of application of each fertilizer. Differences of the columns that have the same letters non statistically significant at 5% (LSD)level of significance.

جدول ۳- اثر سطوح مختلف کود سولفات روی بر رشد و عملکرد و محتوی روی در گیاه ارزن دانه‌ای (رقم پیشاهنگ)

Table 3- Effect of ZnSo4 on growth, yield and zinc content in millet (var. pishahang).

سولفات روی ZnSo4	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد پنجه در بوته Number of tillers per plant	تعداد پانیکول در بوته Number of panicles per plant	وزن هزار دانه 1000-grain weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)	محتوای روی بذر Seed Zn content (ppm)
0	72.55	2.77	3.55	5.11	1637.9	7445.7	21.46	45.02
60	92.13	3.80	4.58	5.31	2227.6	7940.7	27.80	50.48
90	71.44	2.99	3.74	5.08	1686.5	7050.8	23.54	65.54
LSD	5.37	0.41	0.37	0.16	320.59	330.43	3.82	0.31

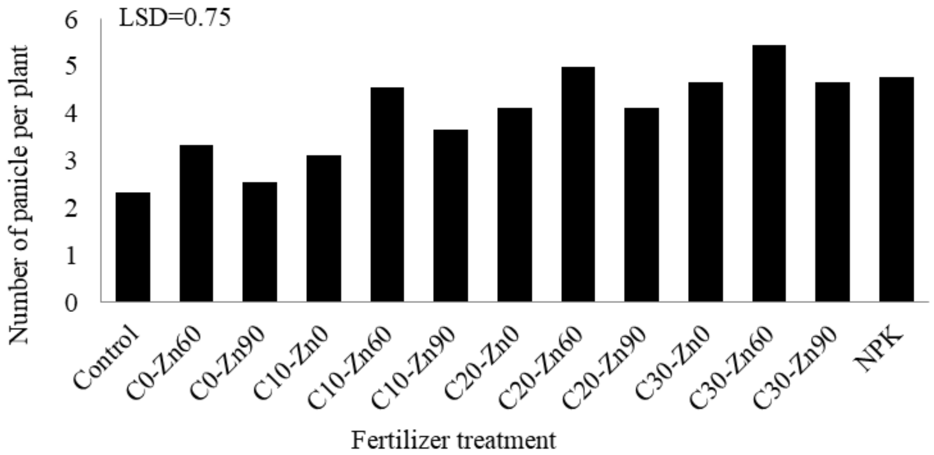
جدول ٤- اثر سطوح مختلف کود دامی بر رشد و عملکرد و محتوی روی در گیاه ارزن دانه‌ای (رقم پیشاهنگ)

Table 4- Effect of manure application on growth, yield and zinc content in millet (var. pishahang).

کود دامی Manure ($t.ha^{-1}$)	ارتفاع گیاه Plant height (cm)	تعداد پنجه در بوته Number of tillers per plant	تعداد پانیکول در بوته Number of panicles per plant	وزن هزار دانه 1000-Grain weight (g)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت Harvest index (%)	محتوای روی بذر Seed Zn content (ppm)
0	70.03	1.88	2.73	4.87	1076.4	6545.2	16.44	50.06
10	78.33	3.03	3.77	5.13	1668.1	7108.4	23.52	54.51
20	79.10	3.66	4.40	5.24	2093.6	7950.8	26.23	60.13
30	87.36	4.18	4.92	5.42	2564.7	8311.9	30.88	62.02
LSD	6.21	0.48	0.39	0.19	370.19	381.55	4.42	0.36

به نظر می‌رسد هنگامی که غلظت عنصر روی در خاک بیش از حد افزایش یابد، مسمومیت عنصر روی ایجاد گردیده و یا در جذب سایر عناصر غذایی اختلال ایجاد می‌شود. در تحقیق مشابهی، اثرات مطلوب عنصر روی در افزایش تعداد سنبله در گندم توسط ایزدی-خرامه و همکاران (Eizadi-Khorame et al., 2012) گزارش شد. مصرف کود دامی نیز به‌طور معنی‌داری تعداد پانیکول در هر بوته را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۲). مصرف ۳۰ تن در هکتار کود دامی در مقایسه با سطوح ۲۰، ۱۰ و صفر تن از این منبع کودی به‌ترتیب موجب افزایش ۱۱/۸، ۳۰ و ۸۰/۲ درصدی صفت مورد اشاره شد (جدول ۴). این یافته با نتایج شارما و همکاران (Sharma et al., 2003) و یاداو و همکاران (Yadav et al., 2002) مطابقت دارد.

فراهمی مطلوب عناصر غذایی در کود دامی از حیث نوع و مقدار عناصر و نیز زمان آزادسازی آن‌ها از عوامل مؤثر در بهبود رشد رویشی و زایشی گیاه می‌باشد. نتایج تجزیه آماری جهت مقایسه ۱۲ ترکیب تیماری ناشی از مصرف کود دامی و سولفات روی با شاهد شیمیایی (NPK) نیز حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها بود ($p\leq$۰/۰۱). بیشترین و کمترین تعداد پانیکول در بوته به‌ترتیب مربوط به تیمار ۳۰ تن در هکتار کود دامی + ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و شاهد بدون مصرف کود بود. شاهد شیمیایی نیز در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود تعداد پانیکول در هر گیاه را ۲/۰۴ برابر بهبود بخشید (شکل ۳).



شکل ۳- اثر تیمارهای مختلف کود دامی و سولفات‌روی در مقایسه با شاهد شیمیایی (NPK) بر تعداد پانیکول در بوته ارزن

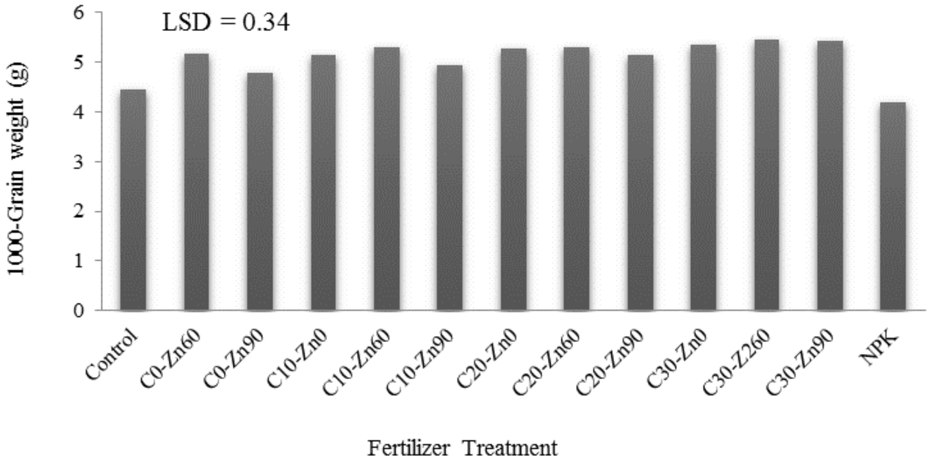
Fig. 3- Effect of different treatments of cow manure and zinc sulfate compared with chemical fertilizer (NPK) on number of panicle per plant

Control= عدم مصرف کود؛ C= کود دامی (تن درهکتار)، Zn= سولفات‌روی (کیلوگرم در هکتار)؛ اعداد جلوی C و Zn بیانگر سطح مصرف هر کود می‌باشد. . Control=no-fertilization; C= cow manure; Zn= zinc sulfate; Numbers in front of C and Zn indicate the level of application of each fertilizer.

وزن هزار دانه

اثر مصرف سولفات روی بر وزن هزار دانه ارزن معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در بین سطوح سولفات روی بالاترین وزن هزار دانه در تیمار مصرف ۶۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد و افزایش میزان مصرف این کود به ۹۰ کیلوگرم در هکتار مقدار این شاخص را کاهش داد (جدول ۳). در تأیید نتایج این پژوهش، مهبوبر رحمان و همکاران (Mahbubur Rahman et al., 2011) نیز گزارش کردند که با افزایش مصرف کود سولفات روی وزن هزار دانه در گیاه برنج افزایش یافت. عنصر روی با افزایش تخصیص منابع فتوسنتزی به خوشه‌ها باعث افزایش وزن هزار دانه در آن‌ها می‌شود (Malakooti & Davoodi, 2002). اثر کاربرد کود دامی نیز بر وزن هزار دانه ارزن معنی‌دار بود (جدول ۲). با افزایش مقدار مصرف کود دامی، وزن هزار دانه افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین مقدار این صفت در تیمار مصرف ۳۰ تن کود دامی در هکتار حاصل شد که ۱۱/۲ درصد بیشتر از تیمار عدم مصرف کود بود (جدول ۴). نتایج حاصل با یافته‌های نژادحسینی و همکاران (-Nejad

(Hosseini et al., 2011b) در خصوص بهبود وزن هزار دانه ارزن در شرایط مصرف کود دامی، مطابقت دارد. افزودن کودهای آلی به خاک باعـــث افـــزایش فراهمی عناصر غذایی، بهبود شرایط فیزیکی و بیولـــوژیکی خاک، ایجاد بستر مناسب برای توســـعه ریشه، افزایش دسترسی به عناصر کانی از طریق تنظیم pH خاک و افزایش معنی‌دار ظرفیت نگهداری رطوبت در محیط کشت گیاه می‌شوند (Ahmadian et al., 2010). مجموعه این مزایا، با افزایش قدرت فتوسـنتزی گیـاه موجب بهبود صفات زایشی از جمله اندازه بذرها می‌شود. آنالیز جداگانه تیمارهای کودی همراه با تیمار کود شاهد شیمیایی (NPK) حـاکی از وجود تفاوت معنی‌دار در بین تیمارهای آزمایشی از نظر وزن هزار دانه بود. بیشترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار مصرف تلفیقی ۳۰ تن در هکتار کود دامی با ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بود کـه ۱۷/۶ درصد نسبت به شاهد بدون کود و تنها ۳/۶ درصد در مقایسه با شاهد شیمیایی برتری داشت (شـکل ۴). کـودهای آلی از نظر بعضی عناصر غذایی از جمله عنصـر روی مقـداری فقیر هسـتند و اختلاط آن‌هـا با ترکیبات معدنی حاوی این عناصر باعث غنی شدن کــود و رشد و نمو و بهتر گیاه می‌شود (Chand et al., 2007).



شکل ٤- اثر تیمارهای مختلف کود دامی و سولفات‌روی در مقایسه با شاهد شیمیایی (NPK) بر وزن هزار دانه ارزن

Fig. 4- Effect of different treatments of cow manure and zinc sulfate compared with chemical fertilizer (NPK) on 1000-grain weigh of millet

Control= عدم مصرف کود؛ C= کود دامی (تن در هکتار)، Zn= سولفات‌روی (کیلو گرم در هکتار)؛ اعداد جلوی C و Zn بیانگر سطح مصرف هر کود می‌باشد.

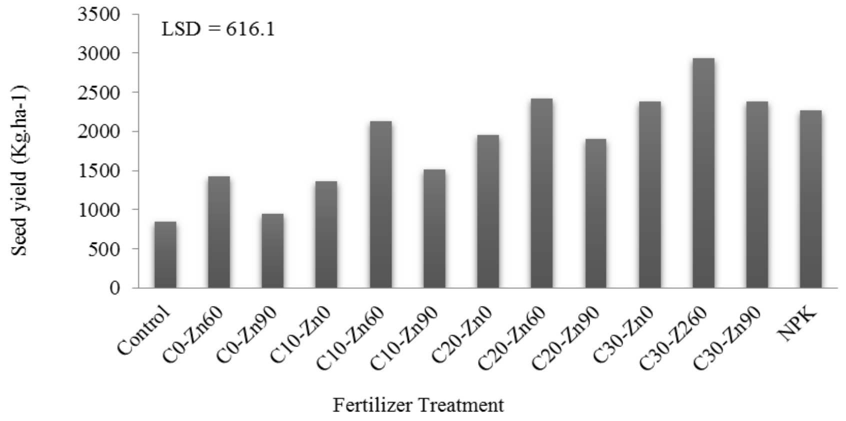
Control=no-fertilization; C= cow manure; Zn= zinc sulfate; Numbers in front of C and Zn indicate the level of application of each fertilizer.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده اثر معنـی‌دار سـولفات روی و کود دامی در سطح احتمال یک درصد بـر عملکـرد دانـه بـود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین عملکرد دانه از تیمار ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به‌دست آمد که از افزایش به‌ترتیب ۳۶ و ۳۲ درصدی نسبت به شـاهد و سـطح ۹۰ کیلـوگرم در هکتار سولفات روی برخوردار بود (جدول ۳). همچنین نتـایج تجزیـه واریانس داده‌های حاصل از این آزمایش نشان داد که کاربرد سـولفات روی در سطح ۶۰ کیلوگرم در هکتار باعـث افـزایش اجـزای عملکـرد دانه (تعداد پنجه در بوته، تعداد پـانیکول در بوتـه و وزن هـزار دانـه) گردید که همه این صفات در نهایت، بر عملکرد دانه تأثیرگذار بودند و باعث افزایش عملکرد دانه نیز در این سطح کودی شدند و همان‌طـور که در نتایج اجزای عملکرد دانه نیز مشهود بود با افزایش بیشتر میزان سولفات روی به ۹۰ کیلوگرم در هکتار میـزان ایـن صـفات نـه تنهـا افزایشی نبود، بلکه روند ثابت و تا حدودی کاهشی را دارا بودند که در نتایج عملکرد دانه نیز مشهود می‌باشد. افـزایش عملکـرد دانـه در اثـر مصرف سولفات روی در گیاهـان گلرنـگ (Ghofran-Maghsud et al., 2014) و کلـزا (Bybordi & Malakuti, 2007) گـزارش شـده است. به‌طور کلی، می‌توان گفت که عنصر روی به‌دلیل نقـش مهمـی که در متابولیسـم پـروتئین‌هـا و آنـزیم‌هـا و همچنـین رنگدانـه‌هـای فتوسنتزی دارد، مـی‌توانـد باعـث افـزایش تـوان فتوسـنتزی و تولیـد محصول شود، امّا این عنصر نیز همانند سایر عناصر اگر بـیش از حـد مورد نیاز در دسترس گیاه باشد، ممکن است باعـث ایجـاد سـمیت در رشد و فرایندهای گیاه شود و مصرف بیش از حد این عنصر می‌توانـد

سبب کاهش رشد ریشه و اندام هوایی، کـاهش جـذب سـایر عناصـر غذایی بـه‌ویـژه فسـفر و افـزایش بـیش از انـدازه جـذب آهـن شـود (Malakooti & Davoodi, 2002). همچنین نتایج پژوهشی جوادی و همکـاران (Javadi et al., 2016) بـر روی ارزن نشـان داد کـه محلول‌پاشی عنصر روی، عملکرد دانه این گیاه را ۱۲ درصـد افـزایش داد.

اثر سطوح مختلف کود دامی نیز بـر عملکـرد دانـه در گیـاه ارزن معنی‌دار بود (جدول ۲). بـا افزایش مصـرف کود دامی، عملکـرد دانـه افزایش یافت. به‌طوری‌که بیشترین مقدار این صفت در تیمار مصـرف ۳۰ تن کود دامی در هکتار حاصل شد که ۱۳۸/۲ درصد بیشتر از تیمار عدم مصرف کود و به‌ترتیب ۲۲/۳ و ۵۳/۷ درصد بیشتر از سـطوح ۲۰ و ۱۰ تن در هکتار کـود دامـی بـود (جـدول ۴). غـدیری و مجیـدیان (Ghadiri & Majidian., 2003) گزارش نمودند کـه مـواد مغـذی موجود در کود دامی به‌ویژه نیتروژن در مراحل رشد رویشـی و زایشـی بالاخص در مرحله پر شدن دانه از طریق تولید شـیره پـرورده بیشـتر، افزایش فتوسنتز و افـزایش سـطح بـرگ نقـش بسـزایی در افـزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت دارد. نتایج این آزمـایش بـا نتـایج به‌دست آمده بر گیاه جو (Ofsu & Leitch, 2009) و باقلا (Martin et al., 2006) همخوانی دارد. به‌طور کلی، کودهای آلـی بـا افـزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک خصوصاً در نـواحی خشـک کـه مقـدار ماده آلی خاک کم است و نیز بهبود خصوصیات فیزیکـی و شـیمیایی خاک و بهبود فراهمی عناصر غذایی، رشد گیاهان را ارتقاء مـی‌دهنـد (Khandan & Astaraee, 2005). نتـایج تجزیـه واریـانس کـود شیمیایی NPK و تیمارهـای مصـرف منفـرد و تلفیقـی کـود دامـی و سولفات روی حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای آزمایشی از نظر عملکرد دانه ارزن بود.



شکل ۵- اثر تیمارهای مختلف کود دامی و سولفات‌روی در مقایسه با شاهد شیمیایی (NPK) بر عملکرد دانه ارزن

Fig. 5- Effect of different treatments of cow manure and zinc sulfate compared with chemical fertilizer (NPK) on millet grain yield

Control= عدم مصرف کود؛ C= کود دامی (تن در هکتار)، Zn: سولفات‌روی (کیلوگرم در هکتار)؛ اعداد جلوی C و Zn بیانگر سطح مصرف هر کود می‌باشد.

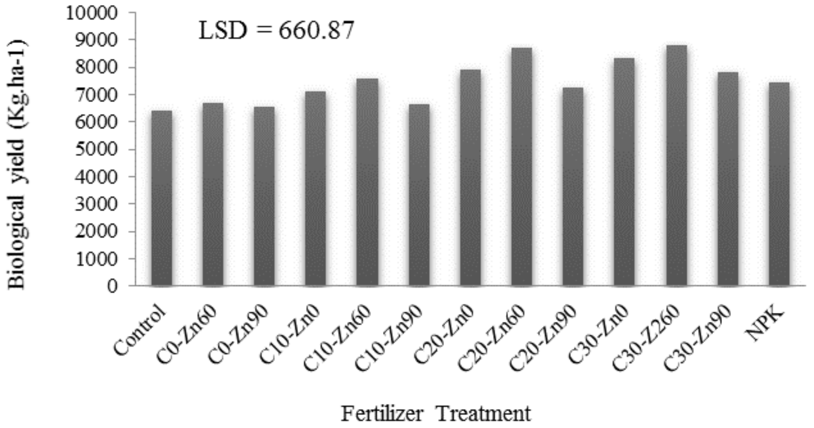
Control=no-fertilization; C= cow manure; Zn= zinc sulfate; Numbers in front of C and Zn indicate the level of application of each fertilizer.

در مورد این صفت نیز مشابه با اجزای عملکـرد، بیشـترین مقـدار مربوط به مصرف همزمان ۳۰ تن در هکتار کود دامی و ۶۰ کیلـوگرم در هکتار سولفات روی بود. شاهد شیمیایی (NPK) نیز در مقایسه بـا شاهد (بدون مصرف هیچ کودی)، از افـزایش ۱۶۶ درصـدی عملکـرد برخوردار بود (شکل ۵). استفاده از سیستم تلفیقی تغذیـه بـا کودهـای دامی و شیمیایی باعث می‌شود کـود شـیمیایی در ابتـدای دوره رشـد، عناصر غذایی مورد نیاز برای رشد گیاه را فراهم کنـد و پـس از آن در طول دوره رشد با معدنی‌شدن تدریجی عناصر غذایی موجـود در کـود دامی، نیاز گیاه به‌خوبی تـأمین گـردد. نقـش مثبـت مصـرف تلفیقـی کودهای دامی و شیمیایی در افـزایش عملکـرد دانـه ارزن در تحقیـق دیگری نیز تأیید شده است (Tavassoli et al., 2010).

عملکرد زیستی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بیانگر اثر معنی‌دار مصرف سولفات روی بر عملکرد زیستی ارزن بود (جدول ۲). بر اساس نتـایج مقایسـه میانگین‌ها بیشترین عملکرد زیستی در تیمار مصـرف ۶۰ کیلـوگرم در هکتار سولفات روی به‌دست آمد که حدود هفت درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. افزایش مصرف سولفات روی به سطح ۹۰ کیلوگرم در

هکتار عملکرد زیستی ارزن را کاهش داد (جدول ۳). با توجه به نتایج حاصل شده از این آزمایش می‌توان بیان کرد که عملکرد زیستی بیشتر ناشی از بهبود صفات رویشی و زایشی گیاه از جمله ارتفاع بوته، پنجه‌زنی و تعداد پانیکول در بوته می‌باشد (جدول ۳) که پیش از این اثر مثبت مصرف سولفات‌روی بر این صفات بررسی گردید. در تحقیق دیگری نیز محلول‌پاشی منفرد و تلفیقی سولفات روی و سولفات منگنز باعث بهبود عملکرد زیستی در ارزن مرواریدی شد (Paygozar et al., 2009). کاربرد کود دامی نیز بر عملکرد بیولوژیک ارزن اثر معنی‌داری داشت (جدول ۲). بیشترین عملکرد زیستی از تیمارهای مصرف ۳۰ و ۲۰ تن در هکتار کود دامی به‌دست آمد که به‌ترتیب صفت مذکور را ۲۱/۴ و ۲۷/۰ درصد در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود افزایش داد (جدول ۴). نتایج این تحقیق با یافته‌های نژادحسینی و همکاران (Nejad-Hosseini et al., 2011b) در مورد تاثیر مثبت کود دامی بر افزایش عملکرد ارزن مطابقت داشت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین شاهد شیمیایی (NPK) با سطوح مختلف کود دامی و سولفات روی تفاوت آماری معنی‌داری از نظر عملکرد زیستی ارزن وجود داشت ($p\leq$۰/۰۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که عملکرد بیولوژیک در شاهد شیمیایی نسبت به شاهد بدون کود ۱۵/۶۳ درصد افزایش داشت (شکل ۶). در تحقیقات دیگری نیز مصرف کودهای شیمیایی حاوی عناصر پرمصرف موجب افزایش عملکرد زیستی ارزن شد (Savari et al., 2012; Zabet et al., 2015).



شکل ٦- اثر تیمارهای مختلف کود دامی و سولفات‌روی در مقایسه با شاهد شیمیایی (NPK) بر عملکرد زیستی ارزن

Fig. 6- Effect of different treatments of cow manure and zinc sulfate compared with chemical fertilizer (NPK) on millet biological yield

Control= عدم مصرف کود؛ C= کود دامی(تن در هکتار)، Zn: سولفات‌روی (کیلوگرم در هکتار)؛ اعداد جلوی C و Zn بیانگر سطح مصرف هر کود می‌باشد.

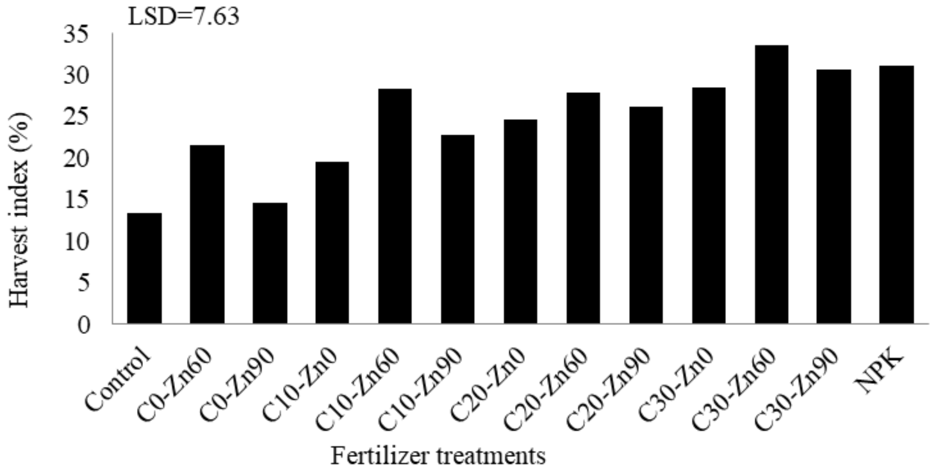
Control=no-fertilization; C= cow manure; Zn= zinc sulfate; Numbers in front of C and Zn indicate the level of application of each fertilizer.

در بین تمامی تیمارهای ۱۳ گانه، بیشترین عملکرد زیستی در شرایط مصرف تلفیقی ۳۰ تن در هکتار کود دامی و ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به‌دست آمد که ۱۸/۴۷ درصد نسبت به شاهد NPK افزایش نشان داد (شکل ۶). در تأیید این یافته‌ها، در تحقیق دیگری مصرف تلفیقی ۲۵ تن در هکتار کود دامی با عنصر روی به‌میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد زیستی ارزن را بهبود بخشید (Nezhad Hoseini et al., 2011a).

شاخص برداشت

اثر کاربرد سولفات روی بر شاخص برداشت ارزن معنی‌دار بود (جدول ۲). مصرف ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بیشترین شاخص برداشت را داشت و سطوح صفر و ۹۰ کیلوگرمِ این منبع کودی در یک سطح آماری قرار گرفتند (جدول ۳). میرطالبی و همکاران (Mirtalebi et al., 2012) نیز در پژوهشی اعلام نمودند که سولفات روی باعث افزایش شاخص برداشت در گندم شد که علت را افزایش تعداد سنبله بارور، تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه داستند که در نهایت، منجر به افزایش عملکرد دانه و سپس افزایش شاخص برداشت شده است. اثر کود دامی بر شاخص برداشت ارزن نیز معنی‌داری بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تمامی

سطوح کود دامی مقدار این صفت را نسبت به شاهد افزایش داد و بیشترین شاخص برداشت در سطح مصرف ۳۰ تن در هکتار به‌دست آمد (جدول ۴). در همین ارتباط اثر مثبت کود دامی بر شاخص برداشت در گیاه کلزا (*Brassuca napus* L.) توسط فلاح (Fallah, 2011) گزارش شده است. نتایج تجزیه واریانس مربوط به کود شیمیایی NPK و سطوح مختلف کودهای دامی و سولفات‌روی نشان داد که تیمارهای مذکور اثر معنی‌داری بر شاخص برداشت ارزن داشتند ($P\leq$۰/۰۱). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد، بیشترین شاخص برداشت مربوط به تیمار مصرف تلفیقی ۳۰ تن در هکتار کود دامی و ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات‌روی بود و پس از آن شاهد شیمیایی (NPK) قرار گرفت. کمترین مقدار شاخص برداشت نیز در شاهد بدون کود حاصل شد (شکل ۷).



شکل ۷- اثر تیمارهای مختلف کود دامی و سولفات‌روی در مقایسه با شاهد شیمیایی (NPK) بر شاخص برداشت ارزن

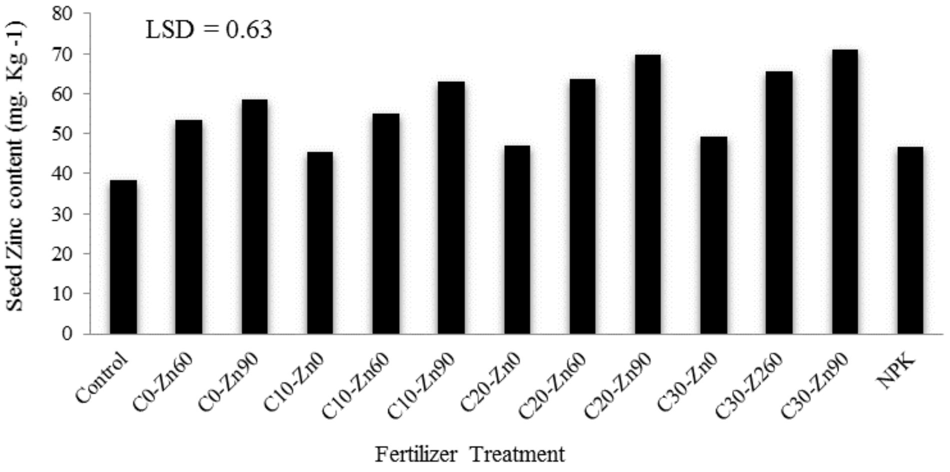
Fig. 7- Effect of different treatments of cow manure and zinc sulfate compared with chemical fertilizer (NPK) on millet harvest index

Control= عدم مصرف کود؛ C= کود دامی (تن در هکتار)، Zn: سولفات‌روی (کیلوگرم در هکتار)؛ اعداد جلوی C و Zn بیانگر سطح مصرف هر کود می‌باشد.

Control=no-fertilization; C= cow manure; Zn= zinc sulfate; Numbers in front of C and Zn indicate the level of application of each fertilizer

محتوی عنصر روی بذر

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کاربرد سولفات‌روی بر محتوی عنصر روی در دانه ارزن معمولی معنی‌دار بود (جدول ۲). مصرف خاکی مقادیر ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم سولفات‌روی به لحاظ تأثیر بر محتوی عنصر روی دانه ارزن در یک سطح آماری قرار گرفتند و هر دو در مقایسه با شاهد منجر به افزایش مقدار این صفت شدند (جدول ۳). این نتایج نشان می‌دهد که تحت شرایط آزمایش کنونی مقدار ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی برای حصول عملکرد مطلوب کافی بوده و مقادیر بیشتر این کود ضمن افزایش هزینه‌های تولید و آلودگی محیط زیست، احتمالاً با اختلال در جذب سایر عناصر غذایی موجب کاهش رشد و عملکرد گیاه شده و در بهترین شرایط تنها موجب تجمع تجلی عنصر روی در بذور حاصله خواهد شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر ساده کود دامی و نیز اثر متقابل مصرف کود دامی و سولفات‌روی بر مقدار روی در دانه ارزن معمولی معنی‌دار نبود. نتایج تجزیه واریانس مربوط به کود شیمیایی NPK و سطوح مختلف کودهای دامی و سولفات روی نشان داد که تیمارهای مذکور اثر معنی‌داری بر صفت محتوی روی در دانه ارزن داشتند ($P\leq$۰/۰۱). بیشترین محتوی عنصر رویِ بذر مربوط به تیمار مصرف هم‌زمان ۳۰ تن در هکتار کود دامی با ۹۰ کیلوگرم در هکتار سولفات عنصر روی بود که نسبت به تیمار کود شیمیایی NPK و شاهد (بدون مصرف هیچ کودی) از افزایش به‌ترتیب ۵۲/۷ و ۸۶ درصدی برخوردار بودند (شکل ۸).



شکل ۸- اثر تیمارهای مختلف کود دامی و سولفات‌روی در مقایسه با شاهد شیمیایی (NPK) بر محتوای روی در بذور ارزن

Fig. 8- Effect of different treatments of cow manure and zinc sulfate compared with chemical fertilizer (NPK) on zinc content in millet seeds

Control= عدم مصرف کود؛ C= کود دامی (تن در هکتار)، Zn: سولفات‌روی (کیلوگرم در هکتار)؛ اعداد جلوی C و Zn بیانگر سطح مصرف هر کود می‌باشد.

Control=no-fertilization; C= cow manure; Zn= zinc sulfate; Numbers in front of C and Zn indicate the level of application of each fertilizer.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد تمامی سطوح کود دامی به‌خصوص مقدار ۳۰ تن در هکتار، موجب بهبود تمامی شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه ارزن دانه‌ای رقم پیشاهنگ شد. می‌توان نتیجه گرفت که مصرف کود دامی با فراهمی عناصر غذایی موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد شده است. همچنین نتایج نشان داد مصرف سولفات روی به‌میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ارزن دانه‌ای گردید، ولی مصرف مقدار ۹۰ کیلوگرم در هکتار از این کود نه تنها باعث افزایش میزان صفات مورد مطالعه نشد، بلکه در بیشتر موارد میزان صفات را کاهش داد. همچنین نتایج نشان داد که مصرف خاکی مقادیر ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم سولفات-روی به لحاظ تأثیر بر محتوی عنصر روی دانه ارزن در یک سطح آماری قرار گرفتند و هر دو در مقایسه با شاهد منجر به افزایش مقدار این صفت شدند که این نتایج نشان می‌دهد کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی برای حصول عملکرد مطلوب کافی بوده و مقادیر بیشتر این کود ضمن افزایش هزینه‌های تولید و آلودگی محیط زیست، احتمالاً با اختلال در جذب سایر عناصر غذایی موجب کاهش رشد و عملکرد گیاه شده و در بهترین شرایط تنها موجب تجمع تجملی عنصر روی در بذور حاصله خواهد شد. نتایج مقایسه میانگین نیز نشان داد که بیشترین عملکرد دانه از تیمار ۶۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به‌دست آمد که از افزایش به‌ترتیب ۳۶ و ۳۲ درصدی نسبت به شاهد و سطح ۹۰ کیلوگرم در هکتارِ سولفات روی برخوردار بود و از آن‌جایی که کاربرد سولفات روی در سطح ۶۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش اجزای عملکرد دانه (تعداد پنجه در بوته، تعداد پانیکول در بوته و وزن هزار دانه) گردید و از آن‌جایی که این صفات در نهایت، بر عملکرد دانه تأثیرگذار بودند، لذا عملکرد دانه نیز در این سطح کودی افزایش داشت و این افزایش عملکرد گیاه منجر به افزایش شاخص برداشت هم گردید. با توجه به نتایج آزمایش، می‌توان بیان کرد که مصرف سولفات روی به‌میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ارزن دانه‌ای شده و بنابراین، به‌عنوان میزان کودی مطلوب جهت رسیدن به عملکرد ایده-ال معرفی می‌گردد.

سپاسگزاری

این تحقیق با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه بیرجند انجام شده است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Ahmadian, A., Ghanbari, A., Siahsar, B., Heidari, M., Ramroodi, M., and Mousavi Nik, M., 2010. Residual effect of chemical and animal fertilizers and compost on yield, yield components, physiological characteristics and essential oil content of *Matricaria chamomilla* L. under drought stress conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 8(4): 668-676. (In Persian with English Summary)

Alizadeh-Bonab, G., Golazani, K., and Taghizadeh, S., 2007. Investigation of salinity and temperature effects on germination, seedling growth and ion relation of *Panicum miliaceaum*. Journal of Pajouhesh and Sazandegi. 74: 115-122. (In Persian with English Summary)

Alloway, B.J., 2008. Zinc in Soils and Crop Nutrition (Second Ed.). IZA and IFA Publication. Brussels, Belgium and Paris, France.

Azari Nasrabad, A., and Mirzaee, A.R., 2012. Effect of sowing date on grain yield and yield components of foxtail millet (*Setaria italica*) promising lines. Seed and Plant Production 28(1): 95-105 (In Persian with English Summary)

Balali, M.R., Malakouti, M.J., Mashayekhi, H.H., and Khademi, Z., 2008. Effect of micronutrient on increasing yield and determining their critical limit in irrigated wheat fields in Iran. Journal of Water and Soil 12(6): 111-119. (In Persian)

Baybordi A., and Malakouti, M.J., 2007. Effects of zinc fertilizer on the yield and quality of two winter varieties of canola. Zinc crops, International Congress of Improving Crop Production and Human Health, 24–26 May, Istanbul, Turkey.

Chand, S., Pande, Prasad, P.A., Anwar, M., and Patra, D.D., 2007. Influence of intergrated supply of vermicompost and Zinc-eniched compost with two graded levels of Iron and zinc on the productivity of Geranium. Communications in Soil Science and Plant Analysis 38: 2581-2599.

Eizadi-Khorame, H., Balouchi, H. andShabani, S., 2012. Effect of soil application of Fe and $ZnSO_4$ on grain yield and yield components of wheat at different sowing dates. Journal of Plant Ecophyisology 4(1): 37-46. (In Persian with English Summary)

Fallah, S., 2011. Recovery of residual fertilizer nitrogen by canola in a winter canola-forage maize rotation. Journal of Agroecology 1(2): 75-83. (In Persian with English Summary)

Fallahi, H.R., Koocheki, A., and Rezvani Moghaddam, P., 2009. Investigating the effect of organic fertilizers on quanity index and the amount of essential oil and chamazulen in chamomile (*Matricaria recutita*). Agricultural Research 8(1): 157-168. (In Persian with English Summary)

Ghadiri, H., and Majidian, M., 2003. Effect of different level of N and moisture level in the milking stage on yield, yield component and use water efficiency of *Zea mays*. Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources 2: 113-103.

Gholamhosseini, M., Ghalavand, A., and Jamshidi, A., 2008. The Effect of irrigation regimes and fertilizer treatments on grain yield and elements concentration in leaf and grain of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Pajouhesh and Sazandegi 79: 91-100. (In Persian with English Summary)

Ghofrani-Maghsud, S., Mobasser, H.R., and Fanaei, H.R., 2014. Effect of foliar application and time foliara pplication microelements (Zn, Fe, Mn) on safflower. Journal Applied Science 3(4): 396-399.

Gowda, C., Biradar Patil, N.K., Patil, B.N., Awaknavar, J.S., Ninganur, B.T., and Hunje, R., 2008. Effect of organic manures on growth, seed yield and quality of wheat. Karnataka Journal Agriculture Science 21: 366-368.

Habiyaremye, H., Matanguihan, J., D'Alpoim Guedes, J., Ganjyal, G.M., Whiteman, M.R., Kidwell, K.K., and Murphy, K.M., 2017. Proso millet (*Panicum miliaceum* L.) and its potential for cultivation in the Pacific Northwest, U.S.: A review. Frontiers in Plant Science 7: 1961.

Hussain S., Aamer M., and Rahmatullah A., 2010. Increasing grain zinc and yield of wheat for the developingworld: A review. Emirates Journal of Food Agriculture 22(5): 326-339.

Izadi Yazdanabadi, F., Esmailakhlamd, U., Omidi, A., and Bedhani, M.A., 2014. Evaluation the quality of *Setaria italica* L. P. Beauv in different stages of growth. Agroecology Journal 5(3): 282-288.

Javadi, H., Seghatoleslami, M.J., and Mousavi, G., 2016. Effect of foliar applization of iron, zinc and manganese on quantitative and qualitative characteristics of two cultivars of grain millet. Journal of Crop Production and Processing. 21(6): 121-132 (In Persian with English Summary)

Kazemi-Arbat, H., 2009. Specific Agronomy (Cereals). University Publishing Center Press. 422 p. (In Persian)

Khandan, A., and Astaraee, A., 2005. Effects of organic (municipal waste compost, manure) and fertilizers on some

physical properties of soil. Desert 10(1): 361-368. (In Persian with English Summary)

Khavari-Nejad, R., Najafi, F., and Firoozeh, R., 2011. The effects of zinc sulphate on certain physiological parameters in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plant. Journal on Plant Science Researches 21(1): 1-14. (In Persian with English Summary)

Khodabandeh. N., 2000. Cereal Production. University of Tehran Press, Tehran, Iran. 572 p. (In Persian)

Mahbubur Rahman, K.M., Abul Khair Chowdhury, M.D., Sharmeen, F., Sarkar, A., Hye, M.A., Biswas, G.Ch., 2011. Effect of zinc and phosphorus on yield of *Oryza sativa* (cv. BR-11). Bangeladesh Research Publication Journal 5(4) 351-358.

Malakooti, M.J., and Davoodi, M.H., 2002. Zinc in Agriculture (A Forgotten Element in the Life Cycle of Plants, Animals and Humans). Sana Press. Tehran. 209 p. (In Persian)

Martin, E.C., Slack, D.C., Tannksley, K.A., and Basso, B., 2006. Effect of fresh and composted dairy manure applications on alfalfa yield and the environment in Arizona. Agronomy Journal 98: 80-84.

Mirtalebi, S.H., Hosseini, S.M., Khajehpour, M.R., and Soleymani, A., 2012. Effects of zinc sulfate on yield, yield components, zinc and protein content of three winter wheat cultivars in the Eghlid of Fars province. Journal of Water and Soil Conservation 19(3): 185-199. (In Persian with English Summary)

Mohammad-Abadi, A.A., Rezvani Moghaddam, P., Fallahi, H.R, and Bromand Rezazadeh, Z., 2012. Effect of chemical and organic fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) forage. Journal of Agroecology 3(4): 491-499. (In Persian with English Summary)

Moradi, R., Nassiri Mahallati, M., Rezvani Moghaddam, R., Lakzian, A. and Nezhadali, A., 2011. The effect of application of organic and biological fertilizers on quantity and quality essential oil of *Foeniculum vulgare* Mill. (Fennel). Journal of Horticultural Science 25(1): 25-33. (In Persian with English Summary)

Muhammad, A., Niaz, A., Maqsood, J. and Iftikhar, A., 2002. Effect of zinc, iron and manganese on growth and yield of rice (*Oryza Sativa* L.). Pakistan Journal of Agricultural Science 39(3): 177-180.

Nezhad Hoseini, T., Astaraei, A.R., Khorasani, R., and Emami, H., 2011a. Comparison of two organic fertilizers along with Zn and B elements on concentration, uptake of nutrients and some growth parameters in millet (*Panicum miliaceum* L.). Journal of Agroeocology 3(1): 17-24. (In Persian with English Summary)

Nejad-Hosseini, T., Astaraei, A.R., Khorasani, R., and Emami, H., 2011b. Effect of two organic manures, zinc and boron on yield, yield components and grain chemical composition in millet. Iraninan Journal of Field Crop Research. 9(1): 70-77. (In Persian with English Summary)

Ofosu-Anim, J., and Leitch, M., 2009. Relative efficacy of organic manures in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) production. Australian Journal of Crop Science 3(1): 13- 19.

Omidi, A., Izadi Yazdanabadi, F., Esmaeilpour, U., Behdani, M.A., and Aslani, M.R., 2015. Hepatotoxicity in sheep and goats caused by experimental feeding with foxtail millet (*Setaria italica*). Iranian Journal of Veterinary Medicine. 9(2): 79-86. (In Persian).

Paygozarm, Y., Ghanbari, A., Heydari, M., and Tavassoli, A., 2009. Effect of foliar application of microbutrents on aualitative and auantitative charactristics of pearl millet (*Pennisetum glacum*) under drought stress. Journal of Crop Ecophysiology 10(3): 67-79 (In Persian with English Summary)

Pouryousef, M., Mazaheri, D., Chaee-Chi, M.R., Rahimi, A., and Tavakkoli, A., 2011. Effect of different soil fertilizing treatments on some of agro morphological traits and mucilage of Isabgol (*Plantago ovata* Forsk). Journal of Crop Production 3(2): 193-213. (In Persian with English Summary)

Prakash, V., Bhattacharyya, R., and Selvakumar, G., 2007. Long-term effects fertilization on some properties under rainfed soybean-wheat cropping in the Indian Himalayas. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 170: 224-233.

Rengel, Z., and Graham, R.D., 1995. Importance of seed Zn content for wheat growth on Zn-deficient soil. Grow Vegetables 173: 259-266.

Rion, B., and Allowy, J., 2004. Fundamental aspects of Zinc in soils and plant. International Zinc Association 23: 1-128.

Savari, S., Madani, H., Gomarian, M., and Najarchi, M., 2012. Study of irrigation time and nitrogen fertilizer on leaf appearance ratio and yield in Pishkam millet cultivar. Journal of Crop Production Research 3(4): 421-429 (In Persian with English Summary)

Sharma, A.K., 2003. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Updesh Purohit for Agrobios, Jodhpur, 41-46. India.

Singh, A., and Y. Singh-Shivay., 2015. Zinc application and green manuring enhancesgrowth and yield in basmati rice

(*Oryza sativa* L.).Indian Journal of Plant Physiology 20(3): 289-296.

Singer, W.J., Sally, S.D., and Meek, D.W., 2007. Tillage and compost effects on corn growth, nutrient accumulation, and grain yield. Agronomy Journal 99(1): 80–87.

Tavassoli, A., Ghanbari, A., Ahmadi, M.M., and Heydari, M., 2010. The effect of fertilizer and manure on forage and grain yield of millet (*Panicum miliaceum*) and bean (*Phaseolus vulgaris*) in intercropping. Iranian Journal of Field Crops Research 8(2): 203-212. (In Persian with English Summary)

Tounkara, A., Clermont-Dauphin, C., Affholder, F., Ndiaye, S., Masse, D., and Cournac, L., 2020. Inorganic fertilizer use efficiency of millet crop increased with organic fertilizer application in rainfed agriculture on smallholdings in central Senegal. Agriculture, Ecosystems and Environment 294(1): 106878.

Yadav, R.D., Keswa, G.L., and Yadva, S.S., 2002. Effect of integrated use of FYM and urea and sulphur on growth and yield of Isabgol (*Plantago ovata*). Journal of Medicinal and Aromatic Plant Science 25: 668-671.

Yang, X.W., Tian, X.H., Gale, W.J., Cao, X.Y., Lu, X.C., and Zhao, A.Q., 2011. Effectof soil and foliar zinc application on zinc concentration and bioavailability inwheat grain on potentially zinc deficient soil.Cereal Research Communication 39: 535-543.

Zabet, M., Bahamin, S., Ghoreisi, S., Sadeghi, H., and Moosavi, S.G., 2015. Efect of deficit irrigation and nitrogen fertilizer on quantitative yield of aboveground part of forage pear millet (*Pennisetum glaucum*) in Birjand. Environmental Stresses in Crop Science 7(2): 187-194 (In Persian with English Summary)

Zhou, D.M., Hao, X.Z., Wang, Y.J., Dong, Y.H., and Cang, L., 2005. Copper and Zn uptake by radish and pakchoi as affected by application of livestock and poultry manures. Chemosphere 59: 167-175.

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

CC BY

Research Article
Vol. 14, No. 1, Spring 2022, p. 115-132

Effect of Different Levels of Vermicompost and Copper Sulfate on Morphological Characteristics, Yield, and Yield Components of Basil (*Ocimum basilicum* L.)

M.H. Aminifard[1*], M. Asgarian[2], M. Khayyat[1] and M. Jahani[3]

Received: 17-08-2020 Revised: 15-02-2021 Accepted: 21-02-2021 Available Online: 15-06-2022	**How to cite this article:** Aminifard, M.H., Asgarian, M., Khayyat, M., and Jahani, M., 2022. Effect of different levels of vermicompost and copper sulfate on morphological characteristics, yield, and yield components of basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Agroecology 14(1):115-132. DOI:10.22067/agry.2021.20304.0

Introduction

Basil (*Ocimum basilicum*) is an herbaceous medicinal plant from the Lamiaceae family with a wide range of applications in the culinary, cosmetic, food, perfumery, and medical industries. The presence of more than 200 chemicals, including flavonoids, monoterpenes, sesquiterpenes, triterpenes, and aromatic compounds in basil oil, have been identified. The main components of its oil are eugenol, methyl eugenol, linalool, estragole, and anethole, varying by chemotype. Basil is one of the most important medicinal plants in Iran, which is widely used in various industries, including pharmaceuticals, cosmetics, sanitary, and food industries, and it is considered an anti-fluff and appetizer in traditional medicine. Therefore, to maximize yield and increase the length of the basil production period, the appropriate management of this product is necessary. Among these, the use of suitable nutritional elements is one of the useful ways to improve the performance of this plant. The centers of origin of basil are the tropical and subtropical regions of Africa, Asia, and South America. Therefore, the purpose of this study was to evaluate the effects of different levels of vermicompost and copper sulfate and their interaction on vegetative, reproductive growth, and yield of basil's medicinal plant.

Materials and Methods

To investigate the effect of vermicompost and copper sulfate on some vegetative and reproductive characteristics of the basil plant, an experiment was carried out as factorial based on a randomized completely block design with three replications in the research farm of Birjand University, Iran, during the growing season 2017-2018. Treatments were three levels of vermicompost (0, 5, and 10 $t.ha^{-1}$) and three levels of copper sulfate (0, 3, and 6 per thousand) with three replications. The measured indices include vegetative characteristics (plant height, lateral number, plant fresh and dry weight, leaf fresh and dry weight, number of leaves and node per plant, lateral branch length internally spaced, and diameter stem) and reproductive characteristics (inflorescence number and length, number of plant seeds, the weight of one thousand seeds, harvest index, grain performance, and biological function).

Results and Discussion

The results showed that the studied treatments had a significant effect on the number of lateral branches,

1- Associate Professor, Department of Horticultural Science and Special Plants Regional Research Center, College of Agriculture, University of Birjand, Iran.
2- Master student, Department of Horticultural Sciences, Physiology of Medicinal Plants, Spices and Aromatics, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran.
3- Associate Professor, Department of Plant Protection, Birjand University, Birjand, Iran.
*- Corresponding Author, Email: mh.aminifard@birjand.ac.ir

plant dry weight, number of leaves per plant, lateral branch length, number of seeds, 1000-seed weight, harvest index, grain yield, and biological yield so that the highest number of lateral branches (17.33), Plant dry weight (14.83 $g.m^{-2}$), Number of leaves per plant (167), Lateral branch length (26.83 cm), Number of seeds (3854.3), 1000-seed weight (1.80 g), Seed yield (3350 $kg.m^{-2}$) and biological yield (20968.3 $kg.m^{-2}$) basil was obtained in the treatment of 5 $t.h^{-1}$ of vermicompost and 6 per thousand of copper sulfate and its advantage over the control was 67, 51, 16, 43, 79, 26, 87 and 26%, respectively. Harvest index in the treatment of 5 $t.h^{-1}$ of vermicompost and 3 per thousand of copper sulfate with 13.01 in its maximum amount.

Conclusion

In general, the results indicated a positive and incremental effect of the combined application of the chemical and organic fertilizers on the yield of the basil plant, and according to the results, treatment with 6 per thousand copper sulfate and five $t.ha^{-1}$ vermicompost was recommended as the best treatment for increasing yield. But always in agricultural products, especially in the production of basil as a medicinal and vegetable plant, the best results in terms of crop production and health, as well as essential oils and medicinal compounds, were related to the combined treatments of organic and chemical fertilizers, because these treatments are relative compared to organic treatments alone, they increased the yield and on the other hand, compared to chemical fertilizers, they had a healthier product and more medicinal compounds.

Acknowledgments: Authors are grateful to Ebrahim Ebrahimabadi for their help with the field experiments.

Keywords: Foliar spraying, harvest index, one thousand seeds, organic fertilizer.

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

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و سولفات مس بر خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.)

محمدحسین امینی فرد[1]*، محبوبه عسگریان[2]، مهدی خیاط[1] و مهدی جهانی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۲۷
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۱/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۳

امینی فرد، م.ح.، عسگریان، م.، خیاط، م.، و جهانی، م.، ۱۴۰۱. بررسی تأثیر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و سولفات مس بر خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۱): ۱۳۲-۱۱۵.

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر ورمی‌کمپوست و سولفات مس بر برخی صفات رویشی و زایشی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) پژوهشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بیرجند در سال زراعی۹۶ - ۱۳۹۵ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل ورمی‌کمپوست در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) و سولفات مس در سه سطح (صفر، ۳ و ۶ در هزار) با سه تکرار بودند. نتایج نشان داد، تیمارهای مورد بررسی تأثیر معنی‌داری بر تعدادشاخه جانبی، وزن خشک بوته، تعداد برگ در بوته، طول شاخه جانبی، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، شاخص برداشت، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک داشت، به‌طوری‌که بیشترین تعدادشاخه جانبی (۱۷/۳۳)، وزن خشک بوته (۱۴/۸۳ گرم در مترمربع)، تعداد برگ در بوته (۱۶۷)، طول شاخه جانبی (۲۶/۸۳ سانتی‌متر)، تعداد دانه در بوته (۳۸۵۴/۳)، وزن هزار دانه (۱/۸۰ گرم)، عملکرد دانه (۳۳۵۰ کیلوگرم در مترمربع) و عملکرد بیولوژیک (۲۰۹۶۸/۳ کیلوگرم در مترمربع) ریحان در تیمار پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست و شش در هزار سولفات مس حاصل شد و برتری آن نسبت به شاهد به‌ترتیب ۶۷، ۵۱، ۱۶، ۴۳، ۷۹، ۲۶، ۸۷ و ۲۶ درصد بود. شاخص برداشت در تیمار پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست و سه در هزار سولفات مس با ۱۳/۰۱ در بیشترین مقدار خود بود. به‌طور کلی، نتایج بیانگر تأثیر مثبت کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی ذکر شده بر خصوصیات کمّی و عملکرد گیاه ریحان بود و با توجه به نتایج، می‌توان تیمار شش در هزار سولفات مس و پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست را به‌عنوان بهترین تیمار برای افزایش عملکرد این گیاه توصیه کرد.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت، وزن هزار دانه، کود آلی، محلول‌پاشی

مقدمه

گیاه ریحان با نام علمی *Ocimum basilicum* L. نوعی گیاه معطر از خانواده نعناعیان بوده که از ارزش تجاری قابل برخوردار توجه است (Lima-Corrêa et al., 2017). ریحان در صنایع مختلف ازجمله صنایع دارویی، آرایشی، بهداشتی و صنایع غذایی کاربرد فراوان دارد و در طب سنتی از آن به‌عنوان ضد نفخ، اشتهاآور، تسکین‌دهنده درد معده و مؤثر در درمان بیماری‌های ریوی یاد می‌شود (Lima et al., 2004). ریحان در اوایل سال‌های ۱۵۰۰ از هند به انگلیس آورده شده و در دهه ۱۶۰۰ وارد ایالات متحده شد (Lupton et al.,

۱- دانشیار گروه آموزشی علوم باغبانی و مرکز پژوهشی گیاهان ویژه منطقه دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، گرایش فیزیولوژی گیاهان دارویی، ادویه‌ای و عطری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۳- دانشیار، گروه آموزشی گیاهپزشکی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: mh.aminifard@birjand.ac.ir)
DOI: 10.22067/agry.2021.20304.0

2016).

یکی از نیازهای مهم در برنامه‌ریزی زراعی به‌منظور حصول عملکرد بالا با کیفیت مطلوب مخصوصاً در مورد گیاهان دارویی، ارزیابی سیستم‌های مختلف تغذیه گیاه است. با روش صحیح حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه می‌توان ضمن حفظ محیط زیست، افزایش کیفیت آب، کاهش فرسایش و افزایش تنوع زیستی، کارایی نهاده‌ها را افزایش داد (Ebadi et al., 2008). امروزه استفاده از کودهای شیمیایی به‌عنوان سریع‌ترین راه برای جبران کمبود عناصر غذایی خاک و عملکرد بالا، گسترش چشمگیری یافته است (Salehi et al., 2014). عناصر غذایی موجود در خاک نقش مهمی در تعیین میزان رشد و عملکرد گیاه و همچنین بهبود کیفیت محصول تولیدی دارند. عناصر کم مصرف با وجود اینکه به‌مقدار کم مورد نیاز گیاهان می‌باشد، ولی نقش برجسته‌ای در رشد و نمو گیاهان دارند (Pirzad et al., 2013). یکی از عناصر غذایی کم مصرف مورد نیاز برای رشد گیاهان مس می‌باشد که نقش‌های ساختاری و عملکردی فراوانی در فرایندهای متابولیکی گیاهان بر عهده دارد (Zare Dehabadi, 2009). نتایج حاکی از تأثیر عناصر کم‌مصرف بر عملکرد کمّی و کیفی گیاهان دارویی می‌باشد (Preeti pande, 2007). براساس گزارش رضاخانی و همکاران (Rezakhani et al., 2012) با افزایش میزان مس (تا سطح ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) میزان زیست‌توده بخش هوایی اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) افزایش یافت. همچنین نتایج آزمایش حیدری و همکاران (Heidari et al., 2008) نشان داد کاربرد عناصر ریز مغذی (اسید بوریک، سولفات روی و سکوسترین آهن) در گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) باعث افزایش وزن خشک این گیاه دارویی شد. کاربرد کودهای شیمیایی در ترکیب با کودهای آلی باعث حفظ تعادل موادغذایی خاک، افزایش مواد آلی خاک، توانایی در دسترسی موادغذایی خاک برای گیاه، بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و حاصلخیزی خاک و کاهش تلفات کودی می‌شود و می‌تواند باعث افزایش عملکرد محصولات، تجمع ماده خشک و جذب مواد غذایی در محصولات شود (Yang et al., 2004).

کودهای آلی نیز به‌علت داشتن خصوصیاتی مانند قدرت جذب و نگهداری بالای مواد آلی و عناصر معدنی و آزادسازی تدریجی آن‌ها (خصوصاً نیتروژن) و نیز ظرفیت بالای نگهداری آب، استفاده از آن در کشاورزی پایدار برای بهبود رشد و کیفیت محصولات زراعی و باغی متداول می‌باشد (Jami et al., 2018). ورمی‌کمپوست به‌عنوان یک کود آلی می‌تواند جایگزینی برای کود شیمیایی بوده و رشد گیاه را افزایش دهد و سبب بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش رشد گیاهان شود (Sridevi, 2016). ازجمله فواید کودهای آلی مثل ورمی‌کمپوست می‌توان به آزادسازی تدریجی مواد مغذی، کاهش آب‌شویی و از دست رفتن نیتروژن، کاهش تثبیت فسفر و همچنین تأمین عناصر غذایی کم‌مصرف اشاره کرد (Chen et al., 2006). افزودن ورمی‌کمپوست به خاک نه تنها فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را افزایش داده است، بلکه با بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای حیاتی خاک، ضمن ایجاد یک بستر مناسب برای رشد ریشه، موجبات افزایش رشد اندام هوایی و تولید ماده خشک و در نهایت، بهبود عملکرد را نیز فراهم آورده است (Arancon et al., 2004). کاربرد ورمی‌کمپوست بر روی گیاه ریحان باعث افزایش ارتفاع بوته، عملکرد برگ، عملکرد تر و خشک اندام‌های هوایی نسبت به شاهد گردید (Tahami et al.,2010). در پژوهشی دیگر نیز مشخص شد که مصرف ورمی‌کمپوست سبب افزایش عملکرد در دو گونه گیاه بارهنگ (*Plantago major* L. and *Plantago lanceolata* L.) شد (Sanchez et al., 2008). عسگری لجایر (Asgari Lajayer et al., 2015) گزارش کردند کاربرد مس در غلظت‌های پایین موجب تحریک رشد، افزایش زیست‌توده و عملکرد اسانس در گیاه دارویی ریحان می‌شود. با توجه به اهمیت گیاه ریحان و مصارف آن در صنایع غذایی و دارویی و همچنین با توجه به اینکه تاکنون مطالعات چندانی در خصوص اثر متقابل سولفات مس و ورمی‌کمپوست بر عملکرد و خصوصیات رشدی ریحان انجام نشده است، هدف از اجرای این طرح بررسی کاربرد همزمان کودهای شیمیایی و آلی ذکرشده بر صفات رویشی و زایشی و عملکرد گیاه ریحان در جهت تولید پایدار و افزایش کیفیت این گیاه مهم بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۵ – ۱۳۹۶ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند (عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۶ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۹ و ۱۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا)، اجرا شد. قبل از کشت جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

نمونه‌برداری انجام شد (جدول ۱). تیمارهای آزمایشی شامل سولفات مس و ورمی‌کمپوست بودند که به‌صورت ترکیبی از سه سطح سولفات مس (صفر، ۳ و ۶ در هزار) (Shakoorifar et al., 2015) و سه سطح ورمی‌کمپوست (صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) (Aminifard & Bayat, 2017) تعیین شدند. به‌منظور انجام آزمایش، پس از شخم، دیسک و مسطح کردن خاک کرت‌بندی زمین انجام وکرت‌هایی به ابعاد ۲×۲ متر ایجاد گردید، فاصله بین بلوک‌ها از یکدیگر دو متر (با احتساب جوی‌های آبیاری) و برای جلوگیری از اختلاط اثر تیمارها فاصله بین کرت‌ها یک متر بود و برای هر کرت آب از جوی اصلی گرفته شد. هر کرت دارای هشت ردیف با تراکم کاشت ۵۰ بوته در مترمربع بود که فاصله کاشت بین ردیف ها ۲۰ سانتی متر و فاصله روی ردیف‌ها ۱۰ سانتی‌متر و در عمق کاشت ۱/۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. آبیاری کرت‌ها به‌صورت سیفونی و با مدار آبیاری هر پنج روزی یک بار انجام شد. آبیاری اول همزمان با کاشت (پنج اردیبهشت ۱۳۹۵ به‌صورت غرقاب) انجام شد. به جهت اینکه گیاهچه‌ها با سهولت بیشتری از خاک خارج شوند و رشد مطلوبی داشته باشند عملیات سله شکنی انجام شد. برای حصول تراکم مناسب (مطابق فواصل فوق‌الذکر)، گیاهان در سه مرحله و پس از استقرار کامل در مرحله شش برگی تنک شدند. تیمار ورمی‌کمپوست به‌مقدار صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار قبل از کشت با خاک مخلوط شد، و محلول‌پاشی برگی سولفات مس نیز به‌مقدار صفر، ۳ و ۶ در هزار از مرحله ۸-۶ برگی طی سه نوبت به‌فاصله ۱۴ روز انجام گرفت. در طول مراحل اجرای آزمایش هیچ‌گونه آفت‌کش و علف‌کش شیمیایی مورد استفاده قرار نگرفت و کنترل علف‌های هرز از طریق وجین دستی پس از استقرار کامل گیاهچه‌ها در خاک به‌منظور جلوگیری از آسیب گیاهچه‌ها انجام شد. پس از ورود گیاهان به مرحله گل‌دهی، نمونه‌گیری (پنج بوته از هرکرت به‌صورت تصادفی) جهت اندازه گیری صفات رویشی (ارتفاع بوته، وزن خشک تک بوته، تعداد برگ در بوته، تعداد شاخه جانبی، طول بزرگ‌ترین شاخه جانبی، تعداد گره در بوته، فاصله میان‌گره، قطر ساقه، وزن خشک برگ) و صفات زایشی (تعداد گل‌آذین، طول گل‌آذین) در سطح یک مترمربع با رعایت اثر حاشیه‌ای انجام گردید. صفات ارتفاع بوته، فاصله میان‌گره و طول شاخه فرعی و گل‌آذین از ساقه اصلی با استفاده از خط‌کش و همچنین قطر ساقه اصلی از پایین‌ترین قسمت ساقه با استفاده از کولیس از سطح یک بوته اندازه‌گیری شدند. وزن خشک بوته و برگ توسط ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. جهت تعیین وزن خشک، نمونه‌ها در دستگاه خشک‌کن (آون) با دمای ۷۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۷۲ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شدند. در آخر فصل رشد، پس از ورود گیاه به مرحله میوه‌دهی و هنگام زرد شدن گل‌آذین‌ها، زمانی که ۵۰ درصد مزرعه زرد شده بود و زمانی که بذور گیاه کاملاً رسیده بودند، برداشت نهایی طی یک مرحله، جهت تعیین عملکرد بیولوژیکی (عملکرد کل اندام‌های هوایی)، عملکرد بذر و شاخص برداشت انجام شد. به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش از نرم‌افزار SAS 9.1 استفاده شد. میانگین‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر مقایسه شدند.

جدول ۱-خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از شروع آزمایش
Table 1- Physical and chemical properties of soil used in experiment

فسفرقابل دسترس P available (mg.kg⁻¹)	پتاسیم قابل دسترس K available (mg.kg⁻¹)	نیتروژن کل Total N (%)	ماده آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m⁻¹)	شاخص واکنش pH	بافت Texture
45	208	0.042	0.38	6	8	لومی Loam

جدول ۲- برخی خصوصیات شیمیایی ورمی‌کمپوست استفاده شده
Table 2- Some chemical properties of Vermicompost

شاخص واکنش pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی Organic carbon (%)	ماده آلی Organicmatter (%)	
7.7	3.08	9.14	16.8	ورمی‌کمپوست Vermicompost

نتایج و بحث

صفات رویشی: ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های جدول ۲ حاکی از آن است که اثر ساده ورمی‌کمپوست و سولفات مس بر ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی ریحان معنی‌دار شد، اثرات متقابل نیز نشان داد تعداد شاخه جانبی تحت تأثیر اثر متقابل این دو عامل قرار گرفت. بیشترین ارتفاع بوته (۴۶/۴۴ سانتی‌متر)، از تیمار پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست به‌دست آمد، هرچند از لحاظ آماری بین تیمار پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست و ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۳). همچنین در ارتباط با تأثیر مس، میانگین ارتفاع بوته، افزایش ۴/۲ درصدی با کاربرد سطح شش در هزار مس را نسبت به شاهد نشان داد (جدول ۴). نتایج حاصل از اثرات متقابل نشان داد تیمار پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست و شش در هزار مس بیشترین تعداد شاخه جانبی (۱۷/۳۳) و شاهد کمترین میزان این صفت (۱۰/۳۳) را داشت (جدول ۵).

در این خصوص سعید نژاد و رضوانی مقدم (Saeid Nejad & Rezvani Moghaddam, 2010) عنوان نمودند، علت افزایش ارتفاع و تعداد شاخه‌های جانبی تحت تأثیر تیمار ورمی‌کمپوست را می‌توان به بالاتر بودن میزان عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن در ورمی‌کمپوست نسبت به سایر ترکیبات مورد استفاده نسبت داد که با تأمین تدریجی عناصر غذایی باعث تحریک رشد رویشی گیاه شده که در نتیجه، ارتفاع بوته‌ها و تعداد شاخه جانبی افزایش می‌یابد. وهب (Wahab, 2013) نیز در این مورد چنین استنباط کرد که افزایش در ویژگی‌های رشدی گیاه از قبیل ارتفاع و تعداد شاخه جانبی در اثر محلول‌پاشی با ریزمغذی‌ها می‌تواند به‌دلیل بهبود رشد سیستم ریشه‌ای گیاه و به تبع آن جذب بیشتر و بهتر آب و مواد غذایی باشد. به‌علاوه اینکه عناصر ریزمغذی، آنزیم‌های دخیل در سنتز کلروفیل مانند کاتالاز، پراکسیداز، الکل دهیدروژناز، کربنیک دهیدروژناز، تریپتوفان سنتتاز و غیره را فعال کرده و از این طریق سبب تحریک رشد رویشی گیاه می‌شوند. نتایج به‌دست آمده از این آزمایش با نتایج غلامی شرفخانه و همکاران (Gholami Sharafkhaneh et al., 2015) که نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار ورمی‌کمپوست (هفت تن در هکتار) از نظر ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی مرزه (*Satureja hortensis* L.) بود و همچنین آزمایش تهامی زرندی و همکاران (Tahami Zarandis et al., 2010) روی گیاه ریحان مطابقت دارد. همچنین مشابه نتایج این تحقیق، در پژوهشی که توسط رامرودی و همکاران (Ramrudi et al., 2011) صورت گرفت افزایش ارتفاع و تعداد شاخه جانبی اسفرزه (*Plantago ovata* L.) در اثر استفاده از عناصر ریز مغذی (آهن، روی و منگنز) به اثبات رسیده است. طبق نتایج فقیه عبداللهی و همکاران نیز (Faqih Abdullahi et al., 2015) استفاده از عنصر ریز مغذی مس باعث افزایش ارتفاع و تعداد شاخه جانبی در گیاه دارویی ریحان شد.

وزن خشک بوته

نتایج به‌دست آمده، حاکی از تأثیر معنی‌دار اثر متقابل تیمارها بر وزن خشک بوته ریحان بود (جدول ۲). در اثرات متقابل تیمار پنج تن در هکتار ورمی کمپوست و شش در هزار عنصر ریز مغذی مس بیشترین وزن خشک بوته با ۱۴/۸۳ گرم و شاهد با ۹/۷۸ گرم کمترین میزان آن را داشت (جدول ۵).

درزی و همکاران (Darzi et al., 2007) عنوان کردند که افزودن ورمی‌کمپوست به خاک نه تنها فراهم شدن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را افزایش داده است، بلکه با بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای حیاتی خاک ضمن ایجاد بستر مناسب برای رشد ریشه موجب افزایش رشد اندام هوایی و در نهایت، افزایش وزن خشک گیاه می‌گردد که این خود گواه دلیل افزایش وزن خشک در بررسی حاضر می‌باشد. در تحقیقی عسگری لجایر و همکاران (Asgari Lajayer et al., 2015) گزارش کردند تأثیر مثبت عناصر کم مصرف مانند مس بر عملکرد وزن خشک اندام هوایی ممکن است به‌دلیل افزایش بیوسنتز اکسین، افزایش غلظت کلروفیل، افزایش فعالیت فسفو اینول پیروات کربوکسیلاز و ریبولوزبی فسفات کربوکسیلاز، کاهش تجمع سدیم در بافت‌های گیاهی و افزایش کارآیی جذب عناصر کم‌مصرف و پرمصرف در حضور این عناصر باشد. مشابه نتایج این آزمایش، کیانی و همکاران (Kiani et al., 2014) در پژوهشی نشان دادند کاربرد ورمی‌کمپوست تأثیر مثبت و افزایشی بر وزن خشک گیاه دارویی نعناع (*Mentha spicata* L.) داشت. در پژوهشی که بر روی گیاه دارویی رزماری (*Salvia rosmarinus* L.) انجام شد، مشخص شد که حداکثر عملکرد خشک گیاه در تیمار کاربرد کود آلی ورمی‌کمپوست به‌دست آمد (Abdelaziz et al., 2007). همچنین، نتایج عسگری

لجایر و همکاران (Asgari Lajayer et al., 2015) مؤید تأثیر معنی‌دار مس بر وزن خشک بوته مرزه می‌باشد. آزمایش فقیه عبداللهی و همکاران (Faqih Abdullahi et al., 2015) نیز نشان‌دهنده تأثیر مثبت عنصر مس بر وزن خشک گیاه دارویی ریحان است.

تعداد برگ در بوته

اثرات متقابل ورمی‌کمپوست و مس بر تعداد برگ در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به اثرات متقابل، تیمار پنج تن در هکتار ورمی کمپوست و شش در هزار مس باعث افزایش ۱۶ درصدی تعداد برگ در بوته نسبت به شاهد گردید (جدول ۵).

بهدانی و همکاران (Behdani et al., 2005) علت افزایش تعداد برگ در اثر کاربرد عناصر ریز مغذی (نیتروژن و فسفر) را اینگونه بیان کردند که، فراهمی عناصر غذایی از طریق تأثیر بر فرایندهای رشد گیاه، می تواند موجب افزایش عملکرد و بهبود رشد گیاه شود و در نهایت، توانایی آن را برای جذب تشعشع خورشیدی با توسعه سطح برگ افزایش دهد و از آنجایی که بین تعداد برگ و شاخص سطح برگ رابطه‌ای قوی وجود دارد، با مصرف عناصر ریزمغذی فعالیت فتوسنتزی گیاه افزایش یافته و باعث توسعه پوشش گیاهی و افزایش شاخ و برگ می‌شود (Koocheki & Banayan, 1994). ، آرانکون و همکاران (Arancon et al., 2004) نیز بیان کردند که ورمی‌کمپوست به‌دلیل داشتن مواد غذایی کافی و قابلیت در جذب مواد غذایی می تواند سبب افزایش تعداد برگ شود، که علت این افزایش را فعالیت ریزجانداران ناشی از کرم خاکی می‌دانند، آن‌ها معتقدند که ریزجانداران با توانایی تولید مواد تنظیم‌کننده رشد می‌توانند سبب افزایش در تعداد برگ شوند. همسو با نتایج این تحقیق، منصوری (Mansouri, 2011) نشان داد که محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی (آهن (پنج درصد)، منگنز (۰/۰۶ درصد) و روی (دو درصد) بر تعداد برگ گیاه نعناع فلفلی (*Mentha × piperita*) معنادار بود. پیوست و همکاران (Peyvast et al., 2007) نیز بیان کردند کاربرد ورمی‌کمپوست باعث افزایش تعداد برگ در گیاه اسفناج شد.

طول شاخه جانبی

تجزیه واریانس اثر متقابل ورمی‌کمپوست و سولفات مس بر طول شاخه جانبی ریحان در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شدند ($P<0/05$) (جدول ۱). تیمار پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست و شش در هزار سولفات مس باعث ۴۳ درصد افزایش نسبت شاهد شدند (جدول ۵).

به نظر می‌رسد علت طول شاخه جانبی در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست، تولید مواد تحریک‌کننده رشد، افزایش هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد و همچنین افزایش فعالیت ریزجانداران در خاک باشد که سبب افزایش طول شاخه جانبی شده است (Anwar et al., 2005).

تعداد گره در بوته

نتایج آزمایش نشان داد اثر ورمی‌کمپوست و سولفات مس بر تعداد گره در بوته ریحان معنی‌دار نشد (جدول ۲).

فاصله میان‌گره

کاربرد ورمی‌کمپوست و عنصر ریزمغذی مس اثر معنی‌داری بر فاصله میان‌گره داشت، اگرچه اثر متقابل این دو عامل نتوانست افزایش معنی‌داری در فاصله میان‌گره نشان دهد (جدول ۲). کاربرد سطح پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست و شش در هزار مس بیشترین تأثیر را بر فاصله میان‌گره داشتند، به‌طوری‌که، بیشترین فاصله میان‌گره (۶/۰۷ سانتی‌متر) از تیمار پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست وکمترین آن (۵/۱۷ سانتی‌متر) از شاهد به‌دست آمد. تیمار شش در هزار مس نیز باعث افزایش ۱۴ درصدی فاصله میان‌گره نسبت به شاهد گردید (جداول ۳ و ۴).

طبق نظر ایلان (Ilan, 1971) سیتوکنین‌ها باعث تسریع جذب پتاسیم می‌شوند و از طرفی، موسکلو و همکاران (Muscolo et al., 1999) گزارش کردند که ورمی‌کمپوست‌ها دارای مواد تنظیم‌کننده رشد مانند سیتوکنین‌ها هستند که می‌تواند دلیلی برای جذب بیشتر پتاسیم باشد، از آنجایی که عنصر پتاسیم از عوامل اساسی در رشد میان‌گره‌ها می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً میزان بالای پتاسیم در عصاره آلی حاصل از ورمی‌کمپوست علت افزایش فاصله میان‌گره‌ها با افزایش میزان ورمی‌کمپوست باشد. گرگینی شبانکاره و خراسانی‌نژاد (Gorgini Shabankareh & Khorasani Nejad, 2017) با مطالعه بر روی گیاه نعناع فلفلی بیان کردند استفاده از ورمی‌کمپوست باعث افزایش فاصله میان‌گره در این گیاه دارویی شده

است. همچنین مارشنر (Marschner, 1995) گزارش کرد محلول‌پاشی عناصر مس و روی در گیاه نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) باعث افزایش طول میان‌گره در این گیاه شده است.

وزن خشک برگ

اثر ورمی‌کمپوست تنها بر وزن خشک برگ معنی‌دار شد، درحالی که وزن خشک برگ تحت تأثیر کاربرد مس و اثر متقابل این دو عامل قرار نگرفتند (جدول ۲). تیمار ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست بیشترین میزان وزن خشک برگ را (۰/۰۷ گرم) نسبت به شاهد نشان داد که البته از این نظر تفاوت معنی‌داری بین سطوح ۵ و ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست وجود نداشت (جدول ۳).

تهامی زرندی و همکاران (Tahami Zarandi et al., 2010) افزایش وزن خشک برگ گیاه دارویی ریحان را در نتیجه مصرف کودهای آلی مانند ورمی‌کمپوست بیان کرده اند. رحمانیان و همکاران (Rahmanian et al., 2017) نیز، بیان کردند کاربرد ورمی‌کمپوست باعث افزایش وزن خشک برگ گیاه ریحان شده است.

قطر ساقه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر ورمی‌کمپوست و سولفات مس بر قطر ساقه ریحان معنی‌دار نبود (جدول ۲).

صفات زایشی

تعداد و طول گل‌آذین

با توجه به نتایج به‌دست آمده، کاربرد ورمی‌کمپوست تنها باعث افزایش معنی‌دار طول گل‌آذین در بوته ریحان شده است، امّا کاربرد عنصر مس و برهم‌کنش تیمارها تأثیری بر تعداد و طول گل‌آذین نداشته است (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین داده‌های این آزمایش نشان داد، بیشترین طول گل‌آذین با کاربرد پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست به‌میزان (۲۴/۷ سانتی‌متر) و کمترین آن (۲۳/۷ سانتی متر) از شاهد به‌دست آمد (جدول ۷).

به نظر می‌رسد علت افزایش طول گل‌آذین در اثرکاربرد ورمی کمپوست، تولید مواد تحریک‌کننده رشد، افزایش هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد و همچنین افزایش فعالیت ریزجانداران در خاک باشد که سبب افزایش طول گل‌آذین شده است (Anwar et al., 2005). مشابه نتایج این آزمایش گلدانی و همکاران (Goldani et al., 2016) با مطالعه بر روی گیاه ریحان نشان دادند کاربرد ورمی‌کمپوست باعث افزایش طول گل‌آذین در این گیاه شده است.

تعداد دانه در بوته

براساس نتایج حاصل از جدول ۶ تجزیه واریانس اثر متقابل ورمی‌کمپوست و عنصر ریزمغذی مس بر تعداد دانه در بوته ریحان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. به‌طوری‌که با توجه به نتایج اثر متقابل بیشترین و کمترین تعداد دانه در بوته به‌ترتیب با کاربرد پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست و شش در هزار مس (۳۸۵۴/۳) و شاهد (۲۱۵۰) به‌دست آمد (جدول ۹).

در مطالعه‌ای که توسط مارشنر (Marschner, 1995) صورت گرفته دلیل افزایش تعداد دانه در بوته اینگونه بیان شده است که عناصر ریزمغذی با تأثیر بر فعالیت فتوسنتزی و همچنین با سنتز اسیدهای نوکلئیک باعث تأثیر در رشد اندام‌های زایشی و سلول‌های مریستمی می‌شوند و در نتیجه، باعث افزایش تعداد دانه در بوته می‌گردند. در بررسی‌های دیگری، دلیل افزایش تعداد دانه در بوته اینگونه بیان شده است که با توجه به اثری که ورمی‌کمپوست به‌علت حلالیت بیشتر عناصر ریزمغذی در خاک و در نتیجه، اصلاح خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارد، بنابراین گیاه در شرایط خوبی از نظر عناصر غذایی رشد می‌کند که منجر به افزایش طول دوره رشد رویشی و دوره گل‌دهی می‌شود و در نتیجه، تعداد دانه در بوته افزایش می یابد (Sajadi Nik & Yadavi, 2014). مشابه نتایج این آزمایش، پژوهش صورت گرفته توسط شعبان‌زاده و همکاران (Shabanzadeh et al., 2012) به نقش مثبت عناصر ریزمغذی (روی، بر و آهن) بر تعداد دانه در بوته سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) اشاره دارد. همچنین میرعرب و همکاران (Mir Arab et al., 2016) در مطالعه بر روی گیاه ریحان نشان دادند کاربرد ورمی‌کمپوست باعث افزایش تعداد دانه در بوته ریحان شده است.

وزن هزار دانه

طبق جدول ۶ تجزیه واریانس، اثر متقابل تیمار کاربرد ورمی‌کمپوست و مس تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه ریحان داشته است. نتایج اثر متقابل در این آزمایش نشان داد، بیشترین وزن هزار دانه (۱/۸۰ گرم) از بالاترین سطوح ورمی‌کمپوست و مس (پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست و شش در هزار مس) و کمترین وزن هزار دانه (۱/۴۲ گرم) مربوط به شاهد بود (جدول ۹).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات رویشی ریحان تحت تیمارهای ورمی‌کمپوست و سولفات مس

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) for basil vegetative traits under vermicompost and copper sulfate treatments

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعدادشاخه جانبی Lateral numbers	وزن خشک بوته Plant dry weight	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	طول شاخه جانبی Lateral branch length	تعداد گره در بوته Number of per plant node	فاصله میان‌گره Internally spaced	وزن خشک برگ Leaf dry weight	قطر ساقه Diameter stem
بلوک Block	2	0.92^{ns}	1.14^{ns}	0.007^{ns}	14.92^{ns}	1.43^{ns}	1.03^{ns}	0.31^{ns}	0.00004^{ns}	0.09^{ns}
ورمی‌کمپوست Vermicompost	2	41.81*	25.03*	24.84*	535.14*	27.78*	1.92^{ns}	1.87*	0.0009**	0.11^{ns}
مس Cu	2	8.48**	20.25*	3.39*	149.59*	23.50*	1.14^{ns}	1.30*	0.0001^{ns}	0.17^{ns}
اثر متقابل تیمارها Treatment interaction	4	1.92^{ns}	1.37**	1.34*	75.37*	7.80*	0.81^{ns}	0.16^{ns}	0.00008^{ns}	0.24^{ns}
خطا Error	16	1.67	0.39	0.26	7.05	0.79	0.74	0.06	0.0001	0.12
ضریب تغییرات. C.V		2.87	4.68	4.25	1.72	4.06	8.76	4.57	19.98	6.60

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

ns, ** and *are nonsignificant and significant at the 0.01 and 0.05, -, respectively.

جدول ٤- اثرات سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر صفات رویشی ریحان سبز

Table 4- Effects of vermicompost levevels on vegetative characteristics of basil

ورمی‌کمپوست Vermicompost (t.ha^{-1})	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعدادشاخه جانبی Lateral number	وزن خشک بوته Plant dry weight (g.m^{-2})	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	طول شاخه جانبی Lateral branch length (cm)	تعداد گره در بوته Number of nodes per plant	فاصله میان‌گره Internally spaced (cm)	وزن خشک برگ Leaf dry weight (g. plant^{-1})	قطر ساقه Diameter stem (mm)
0	42.55^{b*}	11.77^{c}	10.51^{c}	145.44^{b}	20.00^{b}	9.33^{a}	5.17^{c}	0.05^{b}	5.19^{a}
5	46.44^{a}	15.11^{a}	13.83^{a}	159.55^{a}	23.38^{a}	10.22^{a}	6.07^{a}	0.06^{ab}	5.42^{a}
10	46.11^{a}	13.55^{b}	12.12^{b}	157.89^{a}	22.50^{a}	10.00^{a}	5.75^{b}	0.07^{a}	5.33^{a}

* حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

* Similar letters in each column vas not significant at 5% level based on DMRT.

جدول ۵- اثرات سطوح مختلف سولفات مس بر صفات رویشی ریحان سبز

Table 5- Effects of copper sulfate levevels on qualitative characteristics of basil

سولفات مس Copper sulfate (per thousand)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعدادشاخه جانبی Lateral numbers	بوته وزن خشک Plant dry weight ($g.m^{-2}$)	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	طول شاخه جانبی Lateral branch length (cm)	تعداد گره در بوته Number of node per plant	فاصله میان‌گره Internally spaced (cm)	وزن خشک برگ Leaf dry weight ($g.plant^{-1}$)	قطر ساقه Diameter stem (mm)
0	44.22^{b*}	12.00^{c}	11.45^{b}	150.00^{c}	20.27^{c}	9.44^{a}	5.32^{c}	0.061^{a}	5.16^{a}
3	44.77^{b}	13.44^{b}	12.45^{a}	154.77^{b}	22.11^{b}	10.00^{a}	5.61^{b}	0.061^{a}	5.33^{a}
6	46.11^{a}	15.00^{a}	12.56^{a}	158.11^{a}	23.50^{a}	10.11^{a}	6.07^{a}	0.062^{a}	5.44^{a}

* حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

* Similar letters in each column vas not significant at 5% level based on DMRT.

جدول ٦- بر همکنش سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و سولفات مس بر صفات رویشی ریحان سبز

Table 6- Interaction effects of vermicompost and copper sulfate on qualitative characteristics of basil

ورمی‌کمپوست Vermicompost ($t.ha^{-1}$)	سولفات مس Copper sulfate (per thousand)	تعدادشاخه جانبی Lateral number	وزن خشک بوته Plant dry weight ($g.m^{-2}$)	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	طول شاخه جانبی Lateral branch length (cm)
0	0	10.33^{f*}	9.78^{e}	143.00^{f}	18.66^{e}
0	3	12.33^{e}	10.64^{de}	147.00^{ef}	20.00^{ef}
0	6	12.66^{de}	11.11^{cd}	146.33^{ef}	21.33^{cde}
5	0	13.66^{cd}	13.07^{b}	157.33^{cd}	20.33^{de}
5	3	14.33^{bc}	13.60^{b}	154.33^{d}	23.00^{bc}
5	6	17.33^{a}	14.83^{a}	167.00^{a}	26.83^{a}
10	0	12.00^{e}	11.50^{cd}	149.66^{e}	21.83^{bcd}
10	3	13.66^{cd}	13.12^{b}	163.00^{ab}	23.33^{b}
10	6	15.00^{b}	11.75^{c}	161.00^{bc}	22.33^{bc}

* حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

* Similar letters in each column vas not significant at 5% level based on DMRT.

جدول ۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات زایشی ریحان تحت تیمارهای ورمی‌کمپوست و سولفات مس

Table 7- Analysis of variance (mean of squares) for reproductive traits of basil under vermicompost and copper sulfate treatments

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	تعداد گل‌آذین Inflorescence number	طول گل‌آذین Inflorescence length	تعداد دانه در بوته Number of plant seeds	وزن هزار دانه Weight of one thousand seeds	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield
بلوک Block	2	0.48^{ns}	0.36^{ns}	8020.48^{ns}	0.003^{ns}	0.13^{ns}	4869.4^{ns}	18012.04^{ns}
ورمی‌کمپوست Vermicompost	2	2.70^{ns}	2.58**	964260.00*	0.079*	4.47*	998869.4*	13605337.04*
مس Cu	2	0.48^{ns}	1.58^{ns}	1482116.29*	0.081*	19.53*	1629036.1*	6203978.70*
اثر متقابل تیمارها Treatment interaction	4	0.98^{ns}	0.29^{ns}	532319.75*	0.027*	12.13*	700105*	927888.43*
خطا Error	16	0.89	0.62	6347.84	0.001	0.31	10379.8	1572530.7
ضریب تغییرات C.V		6.19	3.26	2.60	2.67	5.24	3.82	2.08

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

ns, ** and *are nonsignificant and significant at the 0.01 and 0.05, -, respectively.

جدول ۸- اثرات سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر صفات زایشی ریحان سبز

Table 8- Effects of vermicompost levevels on reproductive characteristics of basil

ورمی‌کمپوست Vermicompost ($t.h^{-1}$)	تعداد گل‌آذین Inflorescence number	طول گل‌آذین Inflorescence length (cm)	تعداد دانه در بوته Number of plant seeds	وزن هزار دانه Weight of one thousand seeds (g)	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Seed yield ($kg.m^{-2}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.m^{-2}$)
0	14.6^{a*}	23.7^{b}	2691.5^{b}	1.4^{c}	9.83^{b}	2283.3^{c}	17640.6^{b}
5	15.6^{a}	24.7^{a}	3224.8^{a}	1.6^{a}	11.06^{a}	2911.1^{a}	19690.6^{a}
10	15.5^{a}	23.8^{b}	3301^{a}	1.5^{b}	11.04^{a}	2790.5^{b}	19841.7^{a}

* حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

* Similar letters in each column vas not significant at 5% level based on DMRT.

ورمی‌کمپوست می‌تواند موجب افزایش تخلخل خاک و ظرفیت نگهداری آب خاک شود و از تغییر اسیدیته خاک جلوگیری کرده و

موجب رهاسازی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه شود که این امر سبب افزایش جذب عناصر غذایی به‌وسیله گیاه و افزایش توان تولیدی آن و در نهایت، اجزای عملکرد به‌خصوص وزن هزار دانه می‌شود (Mohammad Khani & Roozbahani, 2015). در همین راستا، غلامی و همکاران (Gholami et al., 2015) اظهار داشتند کاربرد ورمی‌کمپوست، باعث افزایش وزن هزار دانه رازیانه (*Foeniculum vulgar* L.) گردید که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. هندووی و همکاران (Hendawy et al., 2012) نیز گزارش کردند که محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها (اسیدهای آلی + اسیدهای آمینه (< ۲۰٪) ، آهن (۲٪) ، روی (۱،۵٪) ، منگنز (۰/۷٪) منیزیم (۵۰۰ ppm)) سبب افزایش وزن هزار دانه گیاه زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) گردید. در محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی (کود آهن و روی) به این علت که مواد به‌صورت مستقیم توسط برگ گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) جذب و مورد استفاده قرار می‌گیرد در نتیجه، عناصر آبشویی و یا توسط خاک جذب و تثبیت نمی‌گردند. به نظر می‌رسد محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی با تأثیر مثبت در افزایش جذب عناصر باعث افزایش وزن هزار دانه می‌شود، رحیمی و مظاهری افزایش وزن هزار دانه را با کاربرد عناصر ریز مغذی گزارش کردند (Rahimi & Mazaheri, 2005).

شاخص برداشت

نتایج ارائه شده، حاکی از تأثیر معنی‌دار اثر متقابل ورمی‌کمپوست و مس در سطح احتمال یک درصد بر شاخص برداشت بود (جدول ۶). اثرات متقابل نیز نشان داد تیمار پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست و سه در هزار مس باعث افزایش ۶۲ درصدی شاخص برداشت نسبت به شاهد شد (جدول ۹). خدائی جوقان و همکاران (Khodaei Joghan et al., 2016) افزایش شاخص برداشت را اینگونه بیان کردند که فراهمی یکنواخت نیتروژن و سایر عناصرغذایی از منابع ورمی‌کمپوست سبب بهبود فتوسنتز و در نتیجه، سبب افزایش فعالیت سوختوساز و ماده‌سازی در مرحله زایشی شده است. نیتروژن و سایر عناصر غذایی از کودهای آلی تلفیقی به آهستگی آزاد شده و در طول فصل رشد در اختیار گیاه قرار می‌گیرند و در نتیجه، هدرروی کمتر بوده و تا انتهای فصل رشد عناصر غذایی مورد نیاز گیاه تأمین می‌شود. بر اساس مطالعات صورت گرفته توسط تصدیقی و همکاران (Tasdighi et al., 2015) کاربرد ورمی‌کمپوست موجب افزایش شاخص برداشت در گیاه دارویی بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) نسبت به شاهدگردید.

در صفت شاخص برداشت، با افزایش میزان ورمی‌کمپوست، افزایشی در میزان شاخص برداشت مشاهده نگردید و روند کاهشی در میزان آن مشاهده گردید. طبق نظر اسچی- وی و فوزین (Shi-Wei, & Fu-Zhen, 1991) ورمی‌کمپوست‌ها دارای سطوح مشخصی هستند که محل‌های کوچکی برای فعالیت‌های میکروبی و ظرفیت نگهداری بالای مواد غذایی را فراهم می‌کنند. در نتیجه، در صورتی که میزان ورمی‌کمپوست در محیط کشت از حد مشخصی تجاوز کند، مواد غذایی در داخل توده ورمی‌کمپوست گرفتار خواهند شد و سبب کاهش دسترسی به عناصر غذایی برای گیاه می‌شود، که این عامل باعث کاهش رشد گیاهان می‌شود. سولبر و همکاران (Subler et al., 1998) نیز گزارش دادند که بهترین پاسخ‌های رشد گیاه و بالاترین مقادیر جذب عناصر غذایی با مصرف کمپوست و ورمی‌کمپوست، در حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد مصرف حجمی آن‌ها رخ می‌دهد و درصدهای بالاتر، اغلب تاثیر منفی بر رشد و محصول گیاه دارد که احتمالاً به‌دلیل افزایش غلظت نمک‌ها و ایجاد سمیت عناصر سنگین و مواد سمی برای گیاهان می‌باشد. آن‌ها بیان کردند که افزایش رشد و محصول گیاه در غلظت‌های پایین، ناشی از ایجاد شرایط مناسب تغذیه‌ای و تعادل عناصر غذایی و عوامل بیولوژیکی می‌باشد. ساوان و همکاران (Sawan et al., 2001) در آزمایشی با بررسی اثرات محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی (نیتروژن)، هورمون‌های Pix، Cycocel و Alar و روی) در پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) افزایش شاخص برداشت را گزارش کرده‌اند.

عملکرد دانه

اثر متقابل ورمی‌کمپوست و مس بر میزان عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). نتایج اثر متقابل نشان داد، بیشترین افزایش در عملکرد دانه با ۳۳۵۰ کیلوگرم در هکتار با کاربرد پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست و سه در هزار مس و کمترین میزان عملکرد دانه با ۱۷۸۳/۳ کیلوگرم در هکتار مربوط به شاهد بود (جدول ۹).

در این رابطه، آرانکون و همکاران (Arancon et al., 2004) بیان کردند استفاده از ورمی‌کمپوست علاوه‌بر افزایش جمعیت و فعالیت ریزجانداران مفید خاک (قارچ‌های میکوریزا و ریزجانداران

حل‌کننده فسفات) با فراهم کردن دسترسی گیاه به عناصر غذایی مورد نیاز آن مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم محلول باعث بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌شود. آتیه و همکاران (Atiyeh et al., 2002) نیز بیان داشتند که ورمی‌کمپوست‌ها دارای تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه مانند هورمون‌های گیاهی هستند که این مواد باعث تأثیرات مفیدی مانند افزایش جوانه‌زنی و عملکرد دانه می‌شوند. مشابه نتایج این پژوهش، در آزمایش سعید نژاد و رضوانی مقدم (Saeid Nejad & Rezvani Moghaddam, 2010) نیز مشاهده شد که تیمار ورمی‌کمپوست دارای بیشترین عملکرد دانه در گیاه زیره سبز بود. همچنین در نتایج حاصل از پژوهش اسدی و همکاران (Asadi et al., 2014) بر روی گیاه دارویی اسفرزه بیشترین عملکرد دانه از تیمار ورمی‌کمپوست به‌دست آمد. آزمایش کارامانوس و همکاران (Karamanos et al., 1986) نیز نشان داد که افزودن مس سبب افزایش عملکرد دانه گندم (*Triticum aestivum* L.) می‌شود. تیلز و آلووی (Tills & Alloway, 1983) گزارش کردند که مصرف مس سبب افزایش عملکرد دانه جو (*Hordeum vulgare* L.) شد که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. عناصر ریز مغذی در گیاه باعث افزایش فتوسنتز و از این طریق باعث افزایش کربوهیدرات‌ها و مواد پروتئینی می‌شوند و از آنجایی که در نهایت ذخیره این مواد در دانه صورت می‌گیرد، می‌توان اظهار داشت که محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی مانند مس باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود (Leilah et al., 1990).

عملکرد بیولوژیک

اثر متقابل ورمی‌کمپوست و عنصر ریز مغذی مس بر میزان عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). با توجه به نتایج اثرات متقابل ملاحظه شد، بیشترین افزایش در عملکرد بیولوژیک (۲۰۹۶۸/۳ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست و شش در هزار مس و کمترین آن (۱۶۵۹۶/۷ کیلوگرم در هکتار) مربوط به شاهد بود (جدول ۹).

پیرزاد و همکاران (Pirzad et al., 2013) چنین استنباط کردند که افزایش عملکرد زیستی با مصرف عناصر ریزمغذی (آهن و روی) علل مختلفی می‌تواند داشته باشد که از آن جمله می‌توان به افزایش فعالیت فتوسنتزی، افزایش تعداد شاخه فرعی، افزایش تعداد دانه در بوته و در کل افزایش عملکرد بیولوژیک را اشاره کرد. شعبان‌زاده و همکاران (Shabanzadeh et al., 2012) با تأثیر محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی (روی، بر و آهن) بر گیاه سیاهدانه دریافتند که محلول‌پاشی عناصر ریز مغذی نسبت به شاهد سبب افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک شد، در مطالعه درزی و همکاران (Darzi et al., 2011) بر روی اثر کودهای آلی بر گیاه انیسون (*Pimpinella anisum* L.) مشاهده شد که بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک با مصرف ورمی‌کمپوست حاصل گردید. نتایج مطالعه سعید نژاد و رضوانی مقدم (Saeid Nejad & Rezvani Moghaddam, 2010) نیز نشان داد که تیمار ورمی‌کمپوست بیشترین عملکرد بیولوژیک زیره سبز را داشت. آتیه و همکاران (Atiyeh et al, 2000) بیان کردند که ورمی‌کمپوست به‌دلیل تغییر در شرایط فیزیکی، شیمیایی، میکروبی و بیولوژیکی محیط کشت، باعث تأثیر مثبت در فاکتورهای رشدی گیاه می‌شود. آن‌ها همچنین کاهش رشد و عملکرد گیاه را که در اثر ترکیب محیط کشت با نسبت‌های بالای ورمی‌کمپوست حاصل شد، ناشی از افزایش غلظت نمک محلول، سمیت ناشی از افزایش غلظت عناصر سنگین و یا حضور ترکیبات سمی برای گیاه ذکر کردند که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که کاربرد کود ورمی‌کمپوست و عنصر ریزمغذی مس به‌صورت جداگانه و نیز همراه با یکدیگر، عمده صفات رشدی و عملکرد ریحان را تحت تأثیر قرار داد. به نظر می‌رسد با توجه به نتایج این آزمایش، می‌توان تیمار شش در هزار کود سولفات مس و پنج تن ورمی‌کمپوست در هکتار را به‌عنوان تیمارهای برای افزایش عملکرد گیاه ریحان توصیه نمود، ولی برای تأیید نتایج این آزمایش یک‌ساله، نیاز به تحقیقات تکمیلی و دوساله می‌باشد. از آنجایی که در این آزمایش فقط چند سطح از کودهای ذکرشده مورد بررسی قرار گرفته، لذا به‌منظور تکمیل نتایج این آزمایش، پیشنهاد می‌شود، سایر سطوح کود سولفات مس و ورمی‌کمپوست در طی پژوهش‌های دیگر بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد ریحان بررسی شود.

جدول ۹- اثرات سطوح مختلف سولفات مس بر صفات زایشی ریحان سبز

Table 9– Effects of copper sulfate levevels on reproductive characteristics of basil

سولفات مس Copper sulfate (In thousand)	تعدادگل‌آذین Inflorescence number	طول گل‌آذین Inflorescence length	تعداد دانه در بوته Number of plant seeds	وزن هزار دانه Weight of one thousand seeds (g)	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Seed yield ($kg.m^{-2}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.m^{-2}$)
0	15.1a*	23.6a	2637.3c	1.46b	9.19c	2283.3c	18152.2c
3	15.2a	24.1a	3496.1a	1.60a	12.14a	3122.2a	19783.3a
6	15.5a	24.5a	3105.6b	1.64a	10.60b	2579.4b	19237.2b

* حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

* Similar letters in each column vas not significant at 5% level based on DMRT.

جدول ۱۰- بر همکنش سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و سولفات مس بر صفات زایشی ریحان سبز

Table 10– Interactive effects of vermicompost and copper sulfate on reproductive characteristics of basil

ورمی‌کمپوست Vermicompost ($t.ha^{-1}$)	سولفات مس Copper sulfate (per thousand)	تعداد دانه در بوته Number of plant seeds	وزن هزار دانه Weight of one thousand seeds (g)	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Seed yield ($kg.m^{-2}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.m^{-2}$)
0	0	2150g*	1.42d	7.99d	1783.3e	16596.7e
0	3	2656e	1.51c	8.38d	2016.6d	18220d
0	6	3268.6cd	1.50c	12.89a	1983.3d	18105d
5	0	2359f	1.45cd	8.22d	3050.6b	18355d
5	3	3461.3b	1.75a	13.01a	3038.3b	19748.3bc
5	6	3854.3a	1.80a	12.18ab	3350a	20968.3a
10	0	3403bc	1.51c	11.37bc	3083.3b	19505c
10	3	3199.6d	1.67b	10.40c	2683.3c	19743.3bc
10	6	3282.6cd	1.51c	11.34bc	2966.6b	20276.7b

* حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

* Similar letters in each column vas not significant at 5% level based on DMRT.

References

Abdelaziz, M., Pokluda, R., and Abdelwahab, M., 2007. Influence of compost, microorganisms and NPK fertilization upon growth, chemical composition and essential oil production of (*Rosmarinus officinalis* L.). Notulae Botanica Horti Agrobotanici Cluj-Napoca Journal 35(1): 86-90.

Anwar, M., Patra, D.D., Chand, S., Alpesh, K., Naqvi, A.A., and Khanuja, S.P.S., 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation and oil quality of French Basil. Communications in Soil Scince and Plant Analysis 36(13-14): 1737-1746.

Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Atiyeh, R., and Metzger, J.D., 2004. Effects of vermicomposts produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. Bioresource Technology 93(2): 139-144.

Asadi, G.H., Momen, A., Khorramdel, S., and Nurzadeh Nameghi, A., 2014. Effect of different levels of organic and chemical fertilizers on yield and nitrogen efficiency indices in (*Plantago ovata* Forsk.). Journal of Agroecology 5(4): 373-382. (In Persian with English Summary)

Asgari Lajayer, H., Hadiyan, J., Savaghebi, G., and Motasharezadeh, B., 2015. Effect of different levels of copper and zinc on essential oil yieldand percentage, Cu and Zn Concentration andsome growth traits of Basil (*Ocimum basilicum* L.). Plant Production Technology 6(2): 33-47. (In Persian with English Summary)

Atiyeh, R.M., Lee, S.S., Edwards, C.A., Arancon, N.Q., and Metzger. J., 2002. The influence of humic acid derived from earthworm-processed Organic waste on plant growth. Biore source Technology 84(1): 7-14.

Atiyeh, R.M., Edwards, C.A., Sulber, S., and Metzger, J.D., 2001. Pigmanure vermin compost as component of a horticultural bedding plant medium: effect on physiochemical properties and plant growth. Bioresurces Technology 78(1):11-20.

Aminifard, M.H., and Bayat, H., 2017. Effect of vermicompost on fruit yield and quality of bell pepper. International Journal of Horticultural Science and Technology 3(2): 221-229.

Behdani, M.A., Koocheki, A.R., Nasiri Mahalati, M., and Rezvani Moghaddam, P., 2005. Evaluation of quantitative relationships between saffron yield and nutrition (on farm trial). Iranian Journal of Field Crops Research 3(1): 1-14. (In Persian with English Summary)

Chen, Y.P., Rekha, P.D., Arun, A.B., Shen, F.T., Lai, W.A., and Young, C.C., 2006. Phosphat solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. Applied Soil Ecology 34(1): 33-41.

Darzi, MT., Ghalavand, A., Rejali, F., and Sefidkon, F., 2007. Effects of biofertilizers application on yield and yield components in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 22(4 (34)): 276-292. (In Persian with English Summary)

Darzi, M.T., Hadjseyed Hadi, M.R., and Rejali, F., 2011. Effects of vermicompost and phosphate biofertilizer application on yield and yield components in anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 26(4): 452-456. (In Persian with English Summary)

Ebadi, M.T., Fallahi, J., Azizi, M., and Razavi Ni Moghadam, P., 2008. Investigating the effect of the use of organic fertilizers on growth factors and the efficiency of two modified cultivars of chamomilla almani the first national conference on management and sustainable agriculture development in Iran, Institute for Scientific Research and Technology Knowledge, Shoshtar pp: 112-117. (In Persian with English Summary)

Faqih Abdullahi, L., Pirdashti, H., Yaqubian, Y., and Alawi, S.M., 2015. Effect of *Piriformospora indica* and *Trichoderma tomentosum* fungi on basil (*Ocimum basilicum* L.) growth under copper nitrate levels. Journal of Soil Management and Sustainable Production 5(1): 113-127.

Gholami, A., Akbari, I., and Abbas Dokht, H., 2015. Study the effects of bio and organic fertilizers on growth characteristics and yield of Fennel (*Foeniculum vulgar*). Journal of Agroecology 7(2): 215-224. (In Persian with English Summary)

Gholami Sharafkhane, E., Jahan, M., Banayan Avval, M., Koocheki, A., and Rezvani Moghaddam, P., 2015. The effect of organic, biological and chemical fertilizers on yield, essential oil percentage and some agroecological characteristics of summer savory (*Satureja hortensis* L.) under Mashhad conditions. Journal of Agroecology 7(2): 179-189. (In Persian)

Goldani, M., Kamali, M., Mohtashami, S., and Ghani, A., 2016. Effect of different vermicompost levels on morphophysiological traist and growth charachtristics of Basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences) 30(3): 269-254. (In Persian with English Summary)

Gorgini shabankareh, H., and Khorasani nejad, S., 2017. Effects of sodium nitroprusside on physiological and biochemical characteristics of savory (*Satureja khuzestanica*) under deficit water regimes. Journal of Plant Production (Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources) 24(3): 55-70. (In Persian with English Summary)

Heidari, F., Zehtab Salmasi, S., Javanshir, A., Aliari, H., and Dadpoor, M.R., 2008. The effects of application of microelements and plant density on yield and essential oil of peppermint (*Mentha piperita* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 24(1(39): 1-9. (In Persian with English Summary)

Hendawy, S.F., El-Sherbeny, S., Hossein, M., Khalid, Kh., and Ghazal, G., 2012. Response of two species of black cumin to foliar spray treatment. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 6(10): 636- 642.

Jami, M.G., Ghalavand, A., Modarres-Sanavy, S., Mokhtassi Bidgoli, A., Baghbani- Arani, A., and Namdari, A., 2018. Effect of manure, zeolite and irrigation on soil properties and seed yield of sunflower (*Helianthus annuus* L). Iranian Society of Crops and Plant Breeding Sciences 20(2): 151-167. (In Persian with English Summary)

Ilan, I., 1971. Evidence for hormonal regulation of the selectivity of ion uptake by plant cells. Physiologia Plantarum 25(2): 230-233.

Karamanos, R.E., Kruger, G.A., and Stewart, J.W.B., 1986. Copper deficiency in cereal and oilseed crops in northern Canadian prairie soils. Agronomy Journal 78(2): 317-323.

Khodaei Joghan, A., Ghalavand, A., Aghaalikhani, M., and Sorooshzadeh, A., 2016. Effects of organic and conventional nutrition systems on grain yield and quality of sunflower under different irrigation regimes. Journal of Agroecology 7(1): 166 -181. (In Persian with English Summary)

Kiani, Z., Esmaeilipour, B., Hadian, J., Soltani toolarood, A. A., and Fathololumi, S., 2015. Effect of organic fertilizers on growth properties nuterient absorption and essential oil yield of medicinal plant of spearmint (*Mentha spicata* L.). Journal of Plant Production 21(4): 63-80. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., and Banayan, M., 1994. Crop Yield Physiology. Jahad Mashhad Press, Mashhad, Iran. pp. 380. (In Persian)

Leilah, A.A., Badawi, M.A., Moursy, E.L., and Attia, A.N., 1990. Response of Soybean plants to foliar application of zinc different levels of nitrogen. Journal of Agricultural Sciences Mansoura University 13(4A): 556-563.

Lima, R., Moreno, A., Diniz, E., Olea, R., Sasaki, J., Mendes Filho, J., Freire, P., Pontes, F., Leite, E., and Longo, E., 2004. Characterization of a crystal grown from *Ocimum basilicum* leaves and branches. Crystal Research and Technology 39(10): 864-867.

Lima-Corrêa, R.d.A.B., Dos Santos Andrade, M., Freire, J.T., and Do Carmo Ferreira, M., 2017. Thin-layer and vibrofluidized drying of basil leaves (*Ocimum basilicum* L.): Analysis of drying homogeneity and influence of drying conditions on the composition of essential oil and leaf colour. Journal of Applied Research on Medicinal Aromatic Plants 7: 54-63. (In Persian with English Summary)

Lupton, D., Khan, M.M., Al-Yahyai, R.A., and Hanif, M.M., 2016. Basil, Leafy Medicinal Herbs: Botany, Chemistry. Postharvest Technology and Uses, pp. 27−41.

Mansouri, I. D., 2011. The effect of different planting patterns and micronutrients on growth and yield and the amount of peppermint essential oil (*Mentha piperita*). National Conference on Medicinal Plants.

Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic press. pp. 330-355.

Mir Arab, T., Piri, E., Tavassoli, A., and Babaeiyan, M., 2016. The effect organic fertilizer on quantitative and qualitative characters of Basil (*Ocimum basilicum*) in sistan region. Journal of Crop Ecophysiology 10(2): 1375-1388. (In Persian with English Summary)

Mohammad Khani, E., and Roozbahani, A., 2015. Application of vermicompost and nano iron fertilizer on yield improvement of grain corn (*Zea mays* L.). Journal of Plant Ecophysiology 7(23): 123-131. (In Persian with English Summary)

Muscolo, A., Bovalo, F., Gionfriddo, F., and Nardi, F., 1999. Earthworm humic matter produces Auxin-like effects *Daucus carota* cell growth and nitrate metabolism. Soil Bioligy and Biochemistry 31: 1303-1311.

Peyvast, Gh., Olfati, J.A., Madeni, S., and Forghani, A., 2007. Effects of vermicomposts on the growth and yields of spinach (*Spinacia oleracea* L.). Journal of Food, Agriculture and Environment 6(1): 110-113.

Pirzad, A.R., Tousi, P., and Darvishzadeh, R., 2013. Effect of Fe and Zn foliar application on plant characteristics and essential oil content of anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Crop Sciences 15(1): 12-23. (In Persian with

English Summary)

Preeti Pande, M., Anwar, S.C., Yadov, V., and Patra, D., 2007. Optimal level of Iron and Zinc in relation to its influence on herb yield and protection of essential oil in menthol mint. Communication in Soil Science and Plant Analysis 38(5-6): 561-578.

Rahimi, M.M., and Mazaheri, D., 2005. Effect of Fe and Zn micro-nutrient on yield and yield component in after crop of two sunflower cultivars in Arsanjan. Journal of Pajouhesh Va Sazandegi in Agronomy and Horticulture 64: 16-24. (In Persian)

Rahmanian, M., Esmaielpour, B., Hadian, J., Shahriari, H., and Fatemi, H., 2017. The Effect of organic fertilizers on morphological traits, essential oil content and components of Basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production 27(3): 103-118.

Ramrudi, M., Kikhajhaleh, M., Galavi, M., Saghatoleslami, M., and Baradaran, R., 2011. Effect of foliar application of micronutrients and irrigation regimes on yield and quality of *Plantago ovata* L. Journal of Agroecology 219: 45-52.

Saeid Nejad, A.H., and Rezvani Moghaddam, P., 2010. Evaluate the effect of compost, vermicompost and manure on yield, yield components and the percentage of cumin. Journal of Horticultural Science 24(2): 142-148. (In Persian with English Summary)

Rezakhani, L., Golchin, A., and Shafiee, S., 2012. Effect of different rates of Cd and Cu on growth and chemical composition of spinach. Iranian Journal of Agronomy Plant Breeding 8(1): 87-100. (In Persian with English Summary)

Sajadi Nik, R., and Yadavy, AR., 2014. Effect of nitrogen fertilizer, vermicompost and nitroxin on growth, phonological stages and grain yield. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Electronic Journal of Crop Production 6(2): 73-99.

Salehi, A., Seifollah, F., Iranpour, R., and Souraki, A., 2014. The effect of fertilizer use in combination with cow manure on growth, yield and yield components of Black-caraway (*Nigella sativa* L.). Journal of Agroecology 6(3): 495-507. (In Persian with English Summary)

Sanchez, G.E., Crballo, G.C., and Ramos, G.S.R., 2008. Influence of organic manures and biofertilizers on the quality of two Plantaginaceae: *Plantago major* L. and *Plantago lanceolata* L. Revista Cubana de Plantas Medicinales 13(1): 12-15.

Sawan, Z.M., Hafez, S.A., and Basyony, A.E., 2001. Effect of nitrogen fertilization and foliar application of plant growth retardant and zinc on cotton seed, protein and oil yields and oil properties of cotton. Journal of Agronomy and Crop Science 186(3): 183-191.

Shabanzadeh, S.H., Ramroudi, M., and Galavi, M., 2012. Influence of micronutrients foliar application on seed yield and quality traits of black cumin in different irrigation regimes. Journal of Crop Production and Processing 1(2): 79-89.

Shakoorifar, F., Ilkaee, M., and Jamnejad, M., 2016. Investigation of the cupper effect on quantitative andqualitative characteristicsof the Basil (*Ocimum basilicum*). Journal of Agronomy and Plant Breeding 12(2): 19-33.

Shi-wei, Z., and Fu-Zhen, H., 1991. The nitrogen uptake efficiency from 15N labeled chemical fertilizer in the presence of earthworm manure (cast). In: Veeresh, G.K., Rajagopal, D., Viraktamath, C.A. (Eds), Advance in management and conservation os Soil Fauna. Oxford and Ibh publishing Company, New Delhi, Bombay. pp. 327-354.

Sridevi, S., Prabu, M., and Tamilselvi, N.G., 2016. Bioconversion of water hyacinth into enriched vermicompost and its effect on growth and yield of peanuts. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 5(9): 675-681.

Subler, S., Edwards, A.A., and Metzerger, J.D., 1998. Comparing composts and vermi composts. Biocycle 39: 63-66.

Tahami Zarandis, Mk., Rezvanimoghadam, P., and Jahani, M., 2010. Comparison of organic and chemical yield and herbal essential oils of Basil (*Ocimum basilicum* L.). Agroecology 2(1): 63-74(In Persian with English Summary)

Tasdighi, H.R., Salehi, A., Movahhedi Dehnavi, M., and Behzadi, Y., 2015. Survey of yield, yield components and essential oil of *Matricaria chamomilla* L. with application of vermicompost and different irrigation levels. Agricultural Science and Sustainable Production 25(3): 61-78. (In Persian with English summary)

Tills, A.R., and Alloway, B.J., 1983. Subclinical copper deficiency in crops. Journal of the Science of Food and Agriculture 34: 54-65.

Wahab, M.A., 2013. Effect of some trace elements on growth, yield and chemical constituents of *Calendula officinalis* L. plants under Sinai conditions. Research Journal of Agriculture and Biological Science 4(6): 717-724.

Yang, C.M., Yang, L.Z., Yang, Y.X., and Zhu, O.Y., 2004. Rice root growth and nutrient uptake as influenced by organic manure in continuously and alternately flooded paddy soils. Agricultural Water Management 70(1): 67–81.

Zare Dehabadi, S., and Asrar, Z., 2009. Effect of excess zinc on the concentration of some mineral element and antioxidant responses of spearmint (*Mentha spicata* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 24(4 (42)): 530-540. (In Persian with English Summary)

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

CC BY

Research Article
Vol. 14, No. 1, Spring 2022, p. 133-157

An Evaluation of Sustainability Analysis of Rainfed Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Barley (*Hordeum vulgare* L.)Production Systems in Iran

S.M.J. Esfahani[1*] and H. Javadi[2]

Received: 21-01-2020 Revised: 19-12-2020 Accepted: 27-02-2021 Available Online: 15-06-2022	**How to cite this article:** Esfahani, S.M.J., and Javadi, H., 2022. An evaluation of sustainability analysis of rainfed wheat and barley production systems in Iran. Journal of Agroecology 14(1):133-157. DOI:10.22067/agry.2021.20247.0

Introduction

Wheat and barley are important strategic crops that constitute the staple food of the world population including Iranian people. Given the role of these crops in the household food basket, food safety and self-sufficiency in the production of these crops can be an important and valuable step towards economic independence. Increasing agricultural production due to the use of chemical inputs causes serious damage to the environment. Therefore, any plan and policy to increase production, in addition to technical and economic aspects, must also be analyzed from an environmental perspective. Considering the importance of this issue, the present study aims to investigate the sustainability of rainfed wheat and barley production using the multifunctional ecological footprint (EF). The results can provide useful information to agricultural planners and policymakers.

Materials and Methods

To analyze sustainability, data from Agricultural Statistics of 2017 and the statistics published in domestic databases were used. In the agricultural sector, the footprint indicator should reflect the type of agricultural operations and land use. Accordingly, the EF is divided into two parts: direct and indirect parts of the footprint. The direct footprint indicates the amount of land, buildings, forests, and rangelands for crop production that is defined as the amount of bio-productive area. The indirect footprint represents the amount of bio-productive land used to absorb the amount of CO_2 emitted during crop production and agricultural operations.

Other aspects and benefits of EF are the use of different functional units that can provide researchers with broader analytical backgrounds. For this purpose, evaluating EF based on a ton of crops, 10,000 Rials income and benefits in the field were also calculated using divided EF by each of the different functional units.

Results and Discussion

Concerning rainfed wheat production, Alborz, Mazandaran, and Golestan provinces had the highest emissions by 1632, 1140 and 860 kgCO_2eq, respectively and Sistan and Baluchestan, South Khorasan and Qom provinces had the lowest emissions. Concerning rainfed barley production, Markazi, Hamedan, and Mazandaran provinces emitted 989, 869, and 775 kg CO_2eq, respectively, so that they were ranked first whereas Sistan and Baluchestan, South Khorasan and Isfahan provinces with 236, 263 and 298 kg CO_2eq had the lowest emissions. EF for rainfed wheat production ranges from 2.57 in South Khorasan to 2.87 in Alborz. EF for rainfed barley ranges from 2.57 in South Khorasan to 2.73 in Markazi. With respect to rainfed wheat and barley production, on-farm emissions had a higher share in indirect EF than off-farm emissions. EF for one ton of rainfed wheat varied

1- Assistant Professoro, Agricultural Planning, Economics and Rural Development Research Institute, Tehran, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran.
*- Corresponding Author, Email: Jesfahani@gmail.com

from 0.75 Gha in Mazandaran province to 10.85 Gha in South Khorasan province. EF yield of rainfed barley production indicates that Fars, Isfahan, and South Khorasan provinces are in the most unsustainable conditions for producing one ton of rainfed barley.

The results of correlation between EF and yield EF and benefit revealed a significant relationship between EF of rainfed wheat and barley in provinces at the 1% probability level. Also, there was a significant relationship between EF and yield EF in rainfed wheat at the 5% probability level, but this relation was not significant for rainfed barley. Also, the lack of a significant relationship between EF yield and EF profit shows that an increase in crop yield would not necessarily lead to an increase in the benefit of rainfed wheat and barley.

Conclusion

The comparison of EF indices and correlation between them showed that increasing inputs in rainfed wheat could increase yield, but it had no effect on barley yield enhancement. On the other hand, no statistically significant relationship between EF yield and benefit showed that yield increase does not necessarily lead to higher profitability. Therefore, cost management is one of the key elements in increasing the profitability of rainfed cereal production at the national level. Therefore, to increase the sustainability of rainfed cereal production at the national level, apart from planning to increase yield, policy-making for efficient use of resources and reducing production costs should be considered a key basis in production planning and policy-making.

Keyword: Ecological footprint, Greenhouse gas emissions, global hectare

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

مقاله پژوهشی

تحلیل پایداری نظام تولید گندم (*Triticum aestivum* L.)و جو (*Hordeum vulgare* L.) دیم در ایران

سید محمد جعفر اصفهانی[1]* و حامد جوادی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۰۹/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۹

اصفهانی، س.م.ج.، و جوادی، ح.، ۱۴۰۱. تحلیل پایداری نظام تولید گندم (*Triticum aestivum* L.)و جو (*Hordeum vulgare* L.) دیم در ایران. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۱): ۱۵۷-۱۳۳.

چکیده

در کنار افزایش تولید، توجه به اثرات زیست‌محیطی و به حداقل رساندن آن نیز از مسائل مهم و ضروری در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری بخش کشاورزی است. در این مطالعه، پایداری تولید گندم و جو دیم که بخش اعظم سطح زیر کشت غلات دیم کشور را به خود اختصاص می‌دهد با استفاده از شاخص ردپای اکولوژیک چند کارکردی برای سال زراعی ۹۶- ۱۳۹۵ بررسی شد. برای انجام تحلیل پایداری از داده‌های موجود در منابع اطلاعاتی شامل سامانه وزارت جهاد کشاورزی، آمارنامه کشاورزی و نیز آمار و اسناد انتشار یافته در بانک‌های اطلاعاتی داخلی و خارجی استفاده شد. در این تحقیق، زمین بهره‌ور زیستی به‌عنوان شاخص ردپای اکولوژیک مستقیم و میزان زمین لازم برای جذب مواد زائد حاصل از فرآیند تولید به‌عنوان ردپای غیرمستقیم در نظر گرفته شد. پس از محاسبه شاخص ردپای اکولوژیک برای یک هکتار مزارع گندم (*Triticum aestivum* L.) و جو دیم (*Hordeum vulgare* L.)، شاخص ردپا بر مبنای واحدهای مختلف کارکردی، عملکرد، محصول و سود محاسبه شد. نتایج این مطالعه نشان داد که دامنه شاخص ردپای اکولوژیک تولید یک هکتار گندم دیم بین ۲/۵۷ در استان خراسان جنوبی تا ۲/۸۷ هکتار جهانی در استان البرز بود و برای تولید یک هکتار جو دیم در کشور از ۲/۵۷ در استان‌ها خراسان جنوبی تا ۲/۷۳ هکتار جهانی در استان مرکزی متغیر بود. شاخص ردپای اکولوژیک بر مبنای عملکرد نشان داد که تولید یک تن گندم‌دیم در استان‌های مازندران، اردبیل و گلستان در وضعیت پایدارتری نسبت به سایر استان‌ها قرار دارد. همچنین پایداری زیست‌محیطی تولید یک تن جو دیم استان‌های مازندران، البرز و گیلان در وضعیت مطلوب‌تری در سطح کشور قرار دارد. نتایج همبستگی نشان داد که بین شاخص ردپای اکولوژیک و ردپای اکولوژیک عملکرد در تولید گندم دیم رابطه معنی‌داری وجود دارد، ولی این رابطه در مورد جو دیم مشاهده نشد. همچنین رابطه معنی‌داری بین ردپای اکولوژیک بر مبنای عملکرد و سود مشاهده نشد که عدم مدیریت هزینه در تولید دو محصول گندم و جو دیم را نشان می‌دهد. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد نهاده‌های شیمیایی در این استان‌ها تنها سبب افزایش آلایندگی شده و افزایش سودآوری را به دنبال نداشته است، بنابراین توصیه می‌شود با توجه به شرایط اقلیمی این مناطق، میزان بهینه کاربرد نهاده‌های کشاورزی در بین کشاورزان پیشنهاد و ترویج شود.

واژه‌های کلیدی: انتشار گازهای گلخانه‌ای، ردپای اکولوژیک، هکتار جهانی

۲- استادیار گروه اقتصاد منابع طبیعی و محیط زیست، موسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی، تهران، ایران.
۲- استادیار گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور تهران، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: Jesfahani@gmail.com)

DOI:10.22067/agry.2021.20247.0

مقدمه

پس از انقلاب صنعتی در اواسط قرن هجدهم، اقتصاد جهانی رشد سریعی را تجربه کرد که از پیامدهای آن می‌توان به افزایش جمعیت، رشد شهرنشینی و استفاده بیش از حد از منابع طبیعی اشاره کرد. در دهه ۱۹۷۰ نگرانی در مورد مسائل زیست‌محیطی سبب شده تا فرآیند رشد اقتصادی تحت تأثیر قرار گیرد. در این زمینه انتشار گزارش یافته‌های رومن کلاب در سال ۱۹۷۲ با عنوان محدودیت رشد بذر اولیه توجه به توسعه پایدار و تخریب‌های زیست‌محیطی حاصل از استفاده بی‌رویه منابع طبیعی را در دل اندیشمندان و نهادهای ملی و بین‌المللی کاشت (Colombo, 2001). پس از آن گزارش برتلند درسال ۱۹۸۷ تأکید کرد که توسعه آینده بر مبنای حفاظت و توسعه محیط‌زیست استوار است و این نگرانی در اجلاس ریو در سال ۱۹۹۲، پروتکل کیوتو در سال ۱۹۹۷، اجلاس جهانی توسعه پایدار در سال ۲۰۰۲ و توافق پاریس در سال ۲۰۱۵ ادامه یافت که محور اساسی تمامی این نشست‌ها و اجلاس‌ها توسعه پایدار بود (Toth & Szigeti, 2016). ساده‌ترین تعریف از پایداری را می‌توان به این صورت ارائه کرد که پایداری راهی است که حیات بدون وقفه ادامه یابد (Bilgili et al., 2019). انتشار آلاینده‌هایی مثل گازهای گلخانه‌ای و تخریب منابع طبیعی امروزه به بزرگ‌ترین چالش توسعه پایدار جهانی تبدیل شده است (Zafar et al., 2019). توجه به تغییرات آب و هوایی و آلودگی‌های زیست‌محیطی، توجه اقتصاددانان و سیاست‌گذاران را به اثرات رشد اقتصادی بر محیط‌زیست جلب کرد و سبب شد نگاه آنان از رشد اقتصادی به رشد اقتصادی پایدار و دوستدار محیط‌زیست تغییر کند (Alam et al., 2016). امروزه پایداری و مدیریت منابع کره خاکی به‌عنوان یک مسئله اساسی مورد توجه تصمیم گیران و تصمیم سازان قرار داشته و یک نیاز فوری برای توسعه مکانیسم‌ها، سیاست‌ها و راهبردها برای تحقق این امر احساس می‌شود (Danish Patterson et al., 2017; et al., 2019).

پایداری برای تعادل اکولوژیکی به دنبال یافتن پاسخ به سؤالات زیر است؟ ۱- نظام طبیعی باید چگونه عمل کند؟ ۲- چگونه باید تنوع زیستی محافظت شود و ۳- تولید باید چگونه باشد؟ که پاسخ به این سؤالات ممکن است شامل معیارهای چندگانه اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی باشد. واضح‌ترین پاسخ به این سؤالات می‌تواند حفظ بهره‌وری منابع انرژی تجدیدپذیر و سیستم‌های بیولوژیکی جهان باشد. ردپای اکولوژیک مفهومی است که این جنبه‌های پایداری را نمایش می‌دهد (WWF, 2012). ردپای اکولوژیک، زمین بهره‌ور زیستی که بشر برای تأمین و تهیه منابع تجدید پذیر مورد استفاده و همچنین ظرفیت جذب ضایعات تولید شده توسط فعالیت‌های انسانی نیازمند است را محاسبه می‌کند (Destek & Shina, 2020). بر این اساس یک جنبه جدید از بررسی ارتباط میان مصرف و منابع بشر ظهور می‌کند که تأثیر انسان و نوع رفتار آن‌ها بر محیط‌زیست را به‌صورت واضح‌تری نمایان می‌سازد.

ردپای اکولوژیک به‌عنوان یک شاخص پویا، امکان بررسی تأثیر برنامه‌ها و سیاست‌های توسعه بر پایداری منابع را برای سیاست‌گذاران فراهم می‌کند (Danish & Wang, 2019). از آنجا که ردپای اکولوژیک نشان‌دهنده میزان وابستگی بشر به نظام اکولوژیکی است، می‌تواند به‌عنوان یک شاخص بادوام برای تعیین میزان کیفیت محیط‌زیست مطرح شود (Galli et al., ; Moore et al., 2013 ; 2015). از منظر اهداف توسعه پایدار، شاخص ردپای اکولوژیک تنها شاخصی است که ظرفیت زیستی زمین را برای پایداری فعالیت‌های اقتصادی در نظر می‌گیرد (Rashid et al., 2018). شاخص ردپای اکولوژیک میزان ظرفیت زیستی لازم برای الگوی مصرف پایدار بشر را نشان داده و به‌صورت گسترده در مجامع علمی پذیرفته شده است (Aşıcı & Acar, 2018; Ulucak & Apergis, 2018; Bilgili & Ulucak, 2018). این شاخص نشان می‌دهد که چه مقدار منطقه زیستی برای تولید کلیه منابع مورد نیاز مردم و جذب انتشار CO_2 ناشی از مصرف مورد نیاز است (NFA, 2017). پس می‌توان از شاخص ردپای اکولوژیک به‌عنوان یک شاخص جامع یاد کرد که اثر فعالیت‌های انسان بر تخریب منابع زیست‌محیطی را نشان می‌دهد (Danish & Wang, 2019). شاخص ردپای اکولوژیک، مساحت واقعی لازم برای تولید محصول را بر حسب هکتار جهانی بیان می‌کند. بر این اساس انواع مختلف اراضی بر اساس میزان بهره‌وری آن‌ها با استفاده از عامل هم ارزی (EQF[1]) به هکتار جهانی تبدیل می‌شود. به‌عنوان مثال زمین‌های زراعی که در مقایسه با مراتع

1- Equivalence factors

بهره‌وری بیشتری دارند از ضریب تعادل بالاتری برخوردارند. عامل هم‌ارزی برای اراضی زراعی معادل ۲/۲ است که نشان می‌دهد که یک هکتار از اراضی زراعی به‌صورت میانگین جهانی ۲/۲ برابر بیشتر از یک هکتار جهانی تولید می‌کند (Koocheki et al., 2016).

محاسبه ردپای اکولوژیکی همراه با ظرفیت زیستی اطلاعات مفیدی را در مورد شدت بهره‌برداری از منابع و وضعیت پایداری محیطی فراهم می‌سازد، از این‌رو، در طی دو دهه اخیر موضوع بسیاری از مطالعات بوده است. نتایج تحقیقی به‌منظور بررسی روند تغییرات ردپای اکولوژیکی غذا در بازه زمانی ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۲ در ایران نشان داد که ردپای کل و ردپای غذای کشور در طی دوره مورد مطالعه به‌ترتیب به‌میزان ۳/۳ و ۲/۹ درصد در سال افزایش یافته و پیش‌بینی می‌شود با تداوم این روند تا سال ۱۴۰۴ شمسی به‌ترتیب به ۳/۳۴ و ۱/۰۵ هکتار جهانی به ازای هر نفر برسد. ظرفیت زیستی کشور در سال ۱۳۹۲ معادل ۰/۸۲ هکتار جهانی به ازای هر نفر به‌دست آمد که کمتر از ظرفیت زیستی جهان (۱/۸ هکتار جهانی بر نفر) و میانگین خاورمیانه و آسیای مرکزی (۰/۹۲ هکتار جهانی بر نفر) بود. نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش کارایی مصرف منابع (شامل آب و نیتروژن) به‌میزان ۲۰ درصد نسبت به‌مقدار فعلی باعث بهبود شاخص خودکفایی و ردپای اکولوژیکی غذا در ایران خواهد شد (Nassiri Mahallati et al., 2019).

گندم (*Triticum aestivum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) از غلات مهم کشت شده در ایران محسوب شده و کاشت آن‌ها از سالیان پیش در بین کشاورزان مرسوم است. بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی در سال زراعی ۱۳۹۵، سطح زیر کشت گندم در ایران ۵۴۳۷۸۰۴ هکتار بوده که حدود ۵۰ درصد سطح زیر کشت اراضی زراعی کشور را به خود اختصاص داده‌اند. از کل سطح زیر کشت گندم در ایران ۳۷/۶۱ درصد آبی و ۶۲/۳۹ درصد به‌صورت دیم کشت شده است. همچنین در این سال، سطح زیر کشت جو در ایران ۱۴۷۳۴۲۰ هکتار بود که ۴۲/۹۲ درصد آن به‌صورت آبی و ۵۷/۰۸ درصد به‌صورت دیم کشت شده است (Ahmadi et al., 2018). با توجه به مطالب فوق و سطح وسیع زیر کشت گندم و جو به‌ویژه کشت دیم این محصولات در اغلب استان‌ها و از طرفی، مطالعات اندک و پراکنده در خصوص وضعیت پایداری این محصولات در کشور، این تحقیق با هدف تحلیل پایداری نظام‌های تولید گندم و جو دیم در ایران با استفاده از شاخص ردپای اکولوژیک چند کارکردی مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری اطلاعات: برای تحلیل پایداری بوم‌نظام‌های گندم و جو دیم کشور از داده‌های موجود در منابع اطلاعاتی شامل سامانه وزارت جهاد کشاورزی و آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و نیز آمار و اسناد انتشار یافته در بانک‌های اطلاعاتی داخلی و خارجی استفاده شد. با توجه به این که برای بررسی و محاسبه ردپای غیرمستقیم علاوه‌بر میزان کاربرد نهاده‌ها در بخش کشاورزی، باید میزان انتشار آلاینده‌های متناظر با هر نهاده نیز بررسی شود، نیاز است تا میزان انتشار آلاینده‌های متناظر با هر نهاده در دو بخش داخل و خارج مزرعه اندازه‌گیری شود. تعیین میزان آلاینده‌ها متناظر با هر نهاده به دو صورت مستقیم با انجام کار آزمایشگاهی در هر منطقه یا به‌صورت غیرمستقیم با استفاده از ضرایب استفاده شده در سایر متون علمی معتبر انجام می‌شود. از آنجا که اندازه‌گیری میزان انتشار آلاینده‌های متناظر با هر نهاده نیازمند کار آزمایشگاهی طولانی و مستقل است، در این مطالعه نیز طبق سایر متون علمی معتبر که در زمینه انتشار گازهای گلخانه‌ای در نقاط مختلف ایران و جهان انجام شده است، از ضرایب متناظر با هر نهاده جهت تخمین میزان آلاینده‌های متناظر با هر نهاده استفاده شده است (Mohammadi et al., 2014; Esfahani et al., 2017; Karimi et al., 2018; Vafabakhsh et al., 2019).

شاخص ردپای اکولوژیک به دو بخش شاخص ردپای مستقیم و ردپای غیرمستقیم تقسیم می‌شود. ردپای مستقیم نشان‌دهنده میزان زمین زراعی، ساختمان، اراضی جنگلی و مراتع جهت تولید محصول تعریف می‌شود که به‌صورت مقدار زمین بهره‌ور زیستی نشان داده می‌شود. ردپای مستقیم توسط معادله ۱ محاسبه شد (Huijbregts et al., 2008).

$$EF_{direct} = \sum_{\alpha} A_{\alpha} . EQF_{\alpha} \quad \text{(۱) معادله}$$

در این معادله، A_a: نشان‌دهنده میزان زمین تصرف شده نوع a (زراعی، جنگلی، مرتع و ساختمان) و EQF_a: ضریب تعادل متناظر با هر نوع زمین نوع a را نشان می‌دهد. ضریب تعادل بهره‌وری نسبی میان انواع پهنه زمین و آب را نشان می‌دهد و با توجه به تفاوت پتانسیل بهره‌وری پهنه‌های مختلف زمین دارای مقدار متفاوت است

به‌عنوان مثال، زمین‌های زراعی در مقایسه با مراتع دارای فاکتور تعادل بزرگ‌تر هستند، زیرا بهره‌وری آن‌ها نسبت به مرتع بالاتر است (Monfreda et al., 2004). مقدار EQF برای انواع مختلف اراضی در جدول ۱ نشان داده شده است (González-Vallejo et al., 2015).

جدول ۱- ضرایب معادل مربوط به انواع مختلف کاربری اراضی

Table 1- Equivalence factor for different land uses

نوع کاربری زمین Type of land use	ضریب معادل Equivalence factor ($Gha.ha^{-1}$)
زمین‌های زراعی Croplands	2.51
مراتع Rangelands	0.46
جنگل Forests	1.26
زمین‌های ساخته شده Built up lands	2.51

ردپای غیرمستقیم نشان‌دهنده زمین بهره‌ور[1] برای جذب میزان CO_2 تولید شده در طی دوره تولید محصول می‌باشد که به‌صورت معادله ۲ محاسبه می‌شود.

معادله (۲)
$$EF_{CO2} = M_{CO2}.\frac{1-F_{CO2}}{S_{CO2}}.EQF_f$$

در این رابطه، M_{CO2}: نشان‌دهنده میزان گازهای گلخانه‌ای تولید شده برحسب CO_2 در جریان تولید محصول، F_{CO2} بخشی از CO_2 که سالیانه توسط اقیانوس جذب می‌شود، S_{CO2} نرخ جذب CO_2 توسط زیست‌توده و EQF_f نیز نشان‌دهنده ضریب تعادل متناظر با اراضی جنگلی می‌باشد. میزان گازهای گلخانه‌ای منتشر شده در جریان عملیات تولید محصول نیز بر اساس جدول ۲ محاسبه می‌شود. در این جدول انتشار گازهای گلخانه‌ای متناظر با هر نهاده در دو بخش انتشار خارج مزرعه و انتشار داخل مزرعه نشان داده شده است. انتشار داخل مزرعه آلاینده‌های زیست‌محیطی که در اثر کاربرد نهاده‌ها در داخل مزرعه تولید می‌شود را نشان می‌دهد، به‌عنوان مثال سوخت دیزل یا کاربرد کود نیتروژنه در مزرعه سبب انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی می‌شود که در بخش انتشار داخل مزرعه نشان داده می‌شود. انتشار خارج از مزرعه، به انتشار آلاینده‌ها در فرایند تولید و بسته‌بندی سایر مراحل آماده‌سازی نهاده که خارج از مزرعه انجام می‌شود اشاره دارد (Esfahani et al., 2017; Nguyen & Hermansen, 2012).

از دیگر جنبه‌ها و مزیت‌های شاخص ردپای اکولوژیک استفاده از واحدهای کارکردی متفاوت است که می‌تواند زمینه‌های تحلیلی وسیع‌تری را برای محققان فراهم کند. بدین منظور، ارزیابی ردپای اکولوژیک بر پایه یک تن محصول، ۱۰۰۰۰ ریال درآمد و سود در مزرعه، به‌ترتیب به‌صورت معادله‌های ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده است (Cerutti et al., 2013).

معادله (۳)
$$EF_{product}\left(\frac{gha}{t}\right)=\frac{\left(EF_{direct}+EF_{CO_2}\right)}{Yield}$$

معادله (۴)
$$EF_{revenue}\left(\frac{gha}{10000R}\right)=\frac{\left(EF_{direct}+EF_{CO_2}\right)\times 10000}{Revenues}$$

معادله (۵)
$$EF_{Benefit}\left(\frac{gha}{10000R}\right)=\frac{\left(EF_{direct}+EF_{CO_2}\right)\times 10000}{Benefit}$$

در این معادله‌ها، $EF_{product}$: ردپای عملکرد، EF_{direct}: ردپای مستقیم، EF_{CO2}: ردپای غیرمستقیم، Yield: میزان تولید دانه برحسب تن، $EF_{revenue}$: ردپای درآمد، Revenue: درآمد محصول، $EF_{benefit}$: ردپای سود و Benefit: سود محصول (درآمد منهای هزینه) می‌باشد.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل با استفاده از نرم‌افزار Excel و SPSS انجام شد. به‌منظور بررسی ارتباط آماری میان شاخص ردپای اکولوژیک از جنبه‌های مختلف کارکردی، با توجه به مقیاس فاصله‌ای داده‌ها از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد (Naderi Mahdei et al., 2015).

1- Bioproductive land areas

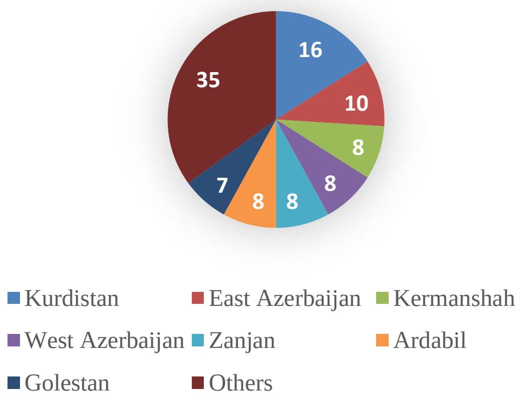
جدول ۲- ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای نهاده‌های کشاورزی
Table 2 - Greenhouse gas emission coefficients of agricultural inputs

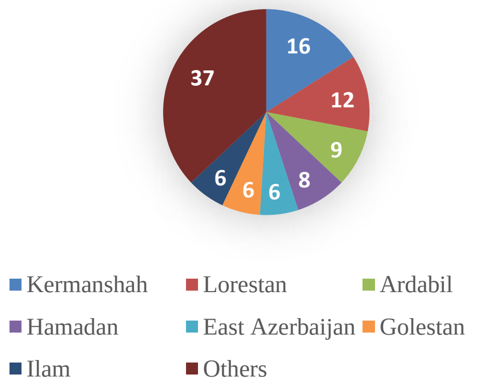
نهاده Inputs	ضریب انتشار (kg CO_2 eq.unit^{-1})	منبع Reference
	الف- انتشار خارج از مزرعه (نهفته در نهاده‌ها) **a- Off-farm emissions (embedded in inputs)**	
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	3	Nguyen & Hermansen (2012)
کود فسفات Phosphorus fertilizer	1	Nguyen & Hermansen (2012)
حشره‌کش Pesticide	6.3	Hoshyar et al., 2015
علف‌کش Herbicide	3.9	Hoshyar et al., 2015
سوخت دیزل Diesel fuel	0.016 kg CO_2 eq. MJ^{-1} diesel ×36.4 MJ.L^{-1} Diesel	Mohammadi et al., 2014
الکتریسیته Electricity	0.8	Mohammadi et al., 2014
	ب- انتشار داخل مزرعه **b- In-Farm emissions**	
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	(0.01 kg N_2O-N/kg N) 4.7	Nguyen & Hermansen (2012)
کود حیوانی Manure fertilizer	0.3 kg CO_2eq. MJ^{-1} FMY MJ.kg^{-1} FMY 0.097	Nguyen & Hermansen (2012)
سوخت دیزل Diesel fuel	36.4 kg CO_2eq. MJ^{-1} diesel× 0.074 MJ.L^{-1} diesel	Nguyen & Hermansen (2012)

نتایج و بحث

بر اساس نتایج درصد توزیع سطح زیر کشت گندم دیم در استان‌های مختلف کشور در سال زراعی ۹۶- ۱۳۹۵، بیشترین سطح زیر کشت گندم دیم مربوط به استان‌های کردستان و آذربایجان شرقی بود که به‌ترتیب ۱۶ و ۱۰ درصد از کل سطح زیر کشت گندم دیم ایران را شامل شده بودند. همچنین استان‌های کرمانشاه، آذربایجان غربی، زنجان و اردبیل با هشت درصد و استان گلستان با هفت درصد از کل سطح زیر کشت گندم دیم در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۱). همچنین بیشترین عملکرد گندم دیم از استان‌های مازندران، اردبیل و گلستان حاصل شد و استان خراسان جنوبی کمترین عملکرد تولید گندم دیم را داشت (جدول ۳).

میانگین نهاده‌های مورد استفاده برای تولید یک هکتار گندم دیم در استان‌های مختلف کشور نشان داد که بیشترین میزان بذر مصرفی از استان‌های سمنان و مازندران و کمترین آن از خراسان جنوبی گزارش شده است (جدول ۳). مصرف کود ازته در استان‌های مازندران و البرز بیش از سه برابر میانگین کشوری گزارش شده است (جدول ۳). میانگین مصرف کود فسفر در کشور ۲۶ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است، مصرف استان‌های البرز، مازندران و کرمان بالاتر از ۷۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است. کود پتاسیم نیز در استان‌های البرز، مازندران، سمنان، خوزستان و گیلان بالاتر از میانگین کشوری مصرف شده است. بیشترین میزان مصرف سموم شیمیایی نیز در استان‌های مازندران، گلستان، کرمانشاه و لرستان مشاهده شده است و مصرف این نهاده در سیستان و بلوچستان، البرز، خراسان جنوبی و رضوی در حد بسیار ناچیز یا صفر گزارش شده است. بیشترین میزان مصرف کود حیوانی از استان البرز و کمترین آن از استان مرکزی حاصل شد و استان‌های سیستان و بلوچستان، تهران، قزوین، خراسان رضوی و جنوبی جهت تولید گندم دیم از کود حیوانی استفاده نکردند (جدول ۳).





شکل ۱- توزیع سطح زیر کشت گندم دیم (سمت راست) و جو دیم (سمت چپ) در استان‌های مختلف

Fig. 1- Distribution of dryland wheat (right) and dryland barley (left) in different provinces

بر اساس نتایج درصد توزیع سطح زیر کشت جو دیم در استان‌های مختلف کشور در سال زراعی ۹۶- ۱۳۹۵، بیشترین سطح زیر کشت جو دیم مربوط به استان‌های کرمانشاه، لرستان، اردبیل و همدان بود که به‌ترتیب ۱۶، ۱۲، ۹ و ۸ درصد از کل سطح زیر کشت جو دیم ایران را شامل شده بودند. همچنین استان‌های آذربایجان شرقی، گلستان و ایلام با شش درصد از کل سطح زیر کشت جو دیم در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۱). بیشترین عملکرد جو دیم از استان مازندران با ۲۵۳۷ کیلوگرم در هکتار حاصل شد و پس از آن استان‌های البرز و گیلان قرار داشتند.

میانگین نهاده‌های مورد استفاده برای تولید یک هکتار جو دیم در استان‌های مختلف کشور نشان داد که بیشترین میزان بذر مصرفی از استان‌های مازندران و سمنان و کمترین آن از استان‌های سیستان و بلوچستان، اصفهان و خراسان جنوبی گزارش شده است (جدول ۴). بیشترین میزان مصرف کودهای شیمیایی در استان‌های مازندران، مرکزی، کهکیلویه و بویر احمد و گیلان مشاهده شد (جدول ۴). استان‌های مازندران، کرمانشاه، لرستان، همدان و چهارمحال و بختیاری نسبت به میانگین کشوری، سموم شیمیایی بیشتری برای تولید یک هکتار جو دیم استفاده کردند (جدول ۴).

جدول ۳- میانگین عملکرد و مصرف نهاده‌های گندم دیم در استان‌های کشور

Table 3- Average yield and consumption of inputs in dryland wheat in the provinces of the country

استان Province	عملکرد Yield	بذر Seed	کود نیتروژن N fertilizer	کود فسفر P fertilizer	کود پتاسیم K fertilizer	حشره‌کش‌ها Insecticides	قارچ‌کش‌ها Fungicides	علف‌کش‌ها Herbicides	کود حیوانی Cow manure ($t.ha^{-1}$)	سوخت دیزل Diesel ($L.ha^{-1}$)
	($kg.ha^{-1}$)									
مرکزی Markazi	936	110.10	68.16	34.75	-	0.37	0.06	0.26	0.0127	166.18
گیلان Gilan	1250	126.55	89.45	46.25	1.71	0.01	0.09	-	0.0927	89.34
مازندران Mazandaran	3701	196.74	171.45	76.20	21.23	0.40	0.91	1.20	0.1433	153.52
آذربایجان شرقی East Azerbaijan	1098	145.47	57.16	28.74	-	0.03	0.04	0.14	0.0515	121.00
آذربایجان غربی West Azerbaijan	1415	156.08	40.55	24.46	0.63	0.16	0.03	0.44	0.1076	135.03
کرمانشاه Kermanshah	913	165.35	45.91	33.25	0.03	0.59	-	0.77	0.0319	141.61
خوزستان Khuzestan	714	143.37	44.54	17.72	2.11	0.03	0.03	0.28	0.0219	118.61
فارس Fars	487	145.90	39.02	13.39	-	0.03	0.02	0.04	0.0232	107.92
کرمان Kerman	1497	177.89	84.21	74.73	-	-	0.22	0.11	0.1316	132.48
اصفهان Isfahan	773	98.41	45.39	15.18	-	0.04	0.06	0.13	0.1609	112.06
سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan	783	116.66	-	-	-	-	-	-	-	62.00
کردستان Kurdistan	883	150.87	46.40	16.39	0.04	0.17	0.16	0.28	0.204	140.90
همدان Hamadan	689	128.43	61.02	28.38	-	0.38	0.07	0.15	0.0786	182.20
چهارمحال و بختیاری Chaharmahal and Bakhtiari	1141	154.36	103.84	24.07	-	0.08	0.09	0.48	0.137	100.85
لرستان Lorestan	1224	168.56	81.29	42.31	0.21	0.32	0.04	0.74	0.2684	139.83
ایلام Ilam	557	174.86	42.64	27.00	-	0.07	-	0.41	0.329	127.52
کهگیلویه و بویراحمد Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad	1111	137.88	108.51	61.13	-	0.15	0.01	0.38	0.2656	92.79
زنجان Zanjan	915	114.73	50.98	35.56	0.28	0.14	0.01	0.07	0.1033	150.00
سمنان Semnan	1145	219.79	82.85	3.37	3.11	0.05	0.13	0.31	0.026	168.48
تهران Tehran	1274	84.14	30.60	15.50	0.43	0.04	-	0.04	-	115.67
گلستان Golestan	2019	174.52	99.49	40.03	0.59	0.32	0.40	0.74	0.0636	150.32
قزوین Qazvin	850	112.56	21.17	16.48	-	0.16	0.02	-	-	133.49

اردبیل Ardabil	2154	137.46	23.18	21.42	-	-	0.22	0.46	0.0813	136.33
قم Qom	413	95.65	42.60	60.86	-	0.09	-	-	0.0652	79.01
خراسان جنوبی South Khorasan	237	31.09	3.53	3.49	-	-	-	-	-	80.52
خراسان رضوی Razavi Khorasan	485	62.16	6.62	2.69	-	-	0.04	0.02	-	122.86
خراسان شمالی North Khorasan	539	132.28	27.17	39.58	0.07	-	-	0.47	0.1735	130.34
البرز Alborz	1500	300.00	250.00	93.75	62.50	-	-	-	6.25	219.33
کل کشور Iran	1011	134.97	52.50	26.43	0.94	0.17	0.09	0.31	0.09	129.70

جدول ٤- میانگین عملکرد و مصرف نهاده‌های جو دیم در استان‌های کشور

Table 4- Average yield and consumption of inputs in dryland barley in the provinces of the country

استان Province	عملکرد Yield	بذر Seed	کود نیتروژن N fertilizer	کود فسفر P fertilizer	کود پتاسیم K fertilizer	حشره‌کش‌ها Insecticides	قارچ‌کش‌ها Fungicides	علف‌کش‌ها Herbicides	کود حیوانی Cow manure $(t.ha^{-1})$	سوخت دیزل Diesel $(L.ha^{-1})$
	$(kg.ha^{-1})$									
مرکزی Markazi	501	105.79	141.15	83.02	3.53	0.04	0.05	0.02	0.01	154.33
گیلان Gilan	1366	129.54	116.19	47.95	2.33	-	0.11	-	0.14	100.56
مازندران Mazandaran	2537	197.23	132.73	119.25	1.36	-	0.74	1.10	0.12	127.44
آذربایجان شرقی East Azerbaijan	1081	120.91	28.16	10.22	-	-	0.07	0.15	0.12	104.57
آذربایجان غربی West Azerbaijan	1132	153.85	39.32	10.83	-	0.06	0.01	0.23	0.32	116.91
کرمانشاه Kermanshah	846	165.23	36.74	27.14	0.07	0.32	-	0.61	0.01	135.28
خوزستان Khuzestan	715	129.94	73.14	29.57	-	0.07	0.02	0.21	0.05	109.07
فارس Fars	242	146.34	12.18	5.25	-	0.01	-	0.03	0.01	82.02
کرمان Kerman	938	173.08	49.03	44.73	-	-	-	-	0.06	90.11
اصفهان Isfahan	347	72.67	38.77	9.6	-	-	0.05	0.04	0.04	64.73
سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan	858	61.53	-	3.84	-	-	-	-	-	56.87
کردستان Kurdistan	1150	152.52	35.8	6.79	1.46	0.02	0.08	0.03	0.53	104.96
همدان Hamadan	934	164.31	84.82	34.23	-	0.34	0.05	0.24	0.08	161.28
چهارمحال و بختیاری Chaharmahal and Bakhtiari	1202	152.60	107.02	15.33	-	0.05	0.03	0.35	0.12	84.86

لرستان Lorestan	946	174.47	54.99	28.06	-	0.14	0.04	0.50	0.20	128.94
ایلام Ilam	654	155.41	40.18	18.61	-	0.04	-	0.13	0.06	115.88
کهگیلویه و بویراحمد Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad	958	120.31	100.08	49.11	-	0.06	0.02	0.15	0.15	85.11
زنجان Zanjan	667	111.35	39.28	15.34	1.71	0.05	0.05	0.06	0.15	141.59
سمنان Semnan	966	196.01	37.5	0.0001	-	-	-	0.11	-	157.55
تهران Tehran	1272	86.54	53.14	41.52	1.66	-	-	0.07	-	101.31
گلستان Golestan	951	168.72	60.29	33.77	1.10	0.01	0.09	0.17	0.01	129.05
قزوین Qazvin	1125	104.25	25.19	18.96	-	0.05	0.05	-	-	126.92
اردبیل Ardabil	1291	130.23	12.54	9.39	-	-	0.07	0.12	-	133.27
خراسان جنوبی South Khorasan	467	75.88	11.31	5.05	-	-	0.06	-	-	71.34
خراسان رضوی Razavi Khorasan	536	123.34	2.87	1.95	-	-	-	0.02	0.05	114.13
خراسان شمالی North Khorasan	595	130.81	65.85	43.47	0.07	-	-	-	-	128.04
البرز Alborz	1407	139.54	8.72	2.9	-	0.06	0.08	0.22	0.07	152.12
کل کشور Total	866	139.54	47.33	25.89	0.26	0.06	0.22	0.08	0.07	110.53

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بر اساس مصرف هر کدام از نهاده‌ها برای تولید گندم دیم در استان‌های مختلف کشور در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان داد کود نیتروژن و سوخت دیزل مهم‌ترین منابع انتشار آلاینده‌ها در تولید گندم دیم بودند. بیشترین میزان انتشار آلاینده‌ها در تولید گندم دیم مربوط به استان‌های البرز، مازندران و گلستان با انتشار به‌ترتیب ۱۶۳۲، ۱۱۴۰ و ۸۶۰ کیلوگرم معادل CO_2 بود و استان‌های سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و قم با انتشار به‌ترتیب ۲۰۳، ۲۷۶ و ۴۲۳ کیلوگرم معادل CO_2 کمترین میزان انتشار آلاینده در تولید گندم دیم را دارا بودند (جدول ۵). میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای تولید گندم در فنلاند ۲۳۳۰ کیلوگرم معادل CO_2 (Rajaniemi et al., 2011)، برای گندم دوروم در ایتالیا ۱۴۸۱/۱ کیلوگرم معادل CO_2 (Alhajj Ali et al., 2017) و گندم آبی در استان اصفهان ۲۷۱۲ کیلوگرم معادل CO_2 (Khoshnevisan et al., 2013) گزارش شده است. با توجه به این که کشاورزان استان‌های خراسان شمالی، مازندران و همدان برای تولید هر هکتار گندم دیم از نهاده‌های بیشتری نسبت به سایر استان‌های کشور استفاده نمودند (جدول ۴)، لذا بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از این استان‌ها تولید شد.

در تولید جو دیم استان‌های مرکزی، همدان و مازندران با انتشار به‌ترتیب ۹۸۹، ۸۶۹ و ۷۷۵ کیلوگرم معادل CO_2 بیشترین انتشار آلایندگی را داشتند و استان‌های سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و اصفهان با انتشار به‌ترتیب ۲۳۶، ۲۶۳ و ۲۹۸ کیلوگرم معادل CO_2 کمترین انتشار آلاینده در تولید جو دیم در سطح کشور را به خود اختصاص دادند (جدول ۶). دلیل افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در استان‌های مرکزی، همدان و مازندران مصرف زیاد نهاده‌های تولید به‌ویژه کود نیتروژن و سوخت دیزل می‌باشد. از طرفی، در استان‌های سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و اصفهان مصرف نهاده‌ها اندک بوده و یا اصلاً مورد استفاده قرار نگرفته است (جدول ۴). لذا با توجه

به این که مصرف نهاده‌هایی مانند نیتروژن و سوخت دیزل تأثیر چشمگیری بر انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد، تغییرات فوق بین استان‌های مختلف کشور حاصل شد. بر اساس نتایج این مطالعه در تولید گندم و جو دیم در سطح استان‌های کشور بیشتر آلاینده‌ها مربوط به انتشار درون مزرعه بوده و انتشار خارج مزرعه سهم کمتری از انتشار آلاینده‌ها را به خود اختصاص دادند. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای مزرعه یک هکتاری جو در فنلاند ۱۹۳۰ کیلوگرم معادل CO_2 (Rajaniemi et al., 2011) و در هند ۱۰۰۳ کیلوگرم معادل CO_2 (Gan et al., 2012) گزارش شده است. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای تولید برنج در چین ۱۴۸۱/۱ کیلوگرم معادل CO_2 (Xia et al., 2016) و برای تولید برنج در ایران ۱۸۴۷/۲۶ کیلوگرم معادل CO_2 (Pishgar- Komleh et al., 2013) گزارش شده است. با توجه به نتایج این مطالعه از نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحد هکتار، مشاهده می‌شود تولید گندم و جو دیم در استان‌های کشور از منظر پایداری در سطح قابل قبولی قرار دارد.

جدول ۵- میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید یک هکتار گندم دیم در سطح کشور (کیلوگرم معادل CO_2)

Table 5- Greenhouse gase emission per hectare of dryland wheat (kg CO_2 eq.)

استان Province	کود نیتروژن N fertilizer	کود فسفر P fertilizer	کود پتاسیم K fertilizer	حشره‌کش‌ها Insecticides	قارچ‌کش‌ها Fungicides	علف‌کش‌ها Herbicides	کود حیوانی manure	سوخت دیزل Diesel	کل Total
مرکزی Markazi	241.42	6.95	-	2.32	0.33	1.02	58.20	544.39	854.64
گیلان Gilan	316.83	9.25	0.26	0.09	0.46	-	-	292.67	619.56
مازندران Mazandaran	607.28	15.24	3.18	2.50	4.63	4.68	-	502.93	1140.43
آذربایجان شرقی East Azerbaijan	202.46	5.75	-	0.18	0.19	0.55	0.26	396.39	605.78
آذربایجان غربی West Azerbaijan	143.63	4.89	0.09	0.99	0.16	1.72	-	442.36	593.85
کرمانشاه Kermanshah	162.61	6.65	-	3.73	0.01	2.99	0.72	463.92	640.65
خوزستان Khuzestan	157.76	3.54	0.32	0.20	0.13	1.10	0.19	388.58	551.82
فارس Fars	138.21	2.68	-	0.19	0.09	0.16	0.29	353.55	495.17
کرمان Kerman	298.27	14.95	-	-	1.14	0.41	-	434.00	748.77
اصفهان Isfahan	160.77	3.04	-	0.22	0.30	0.49	-	367.12	531.94
سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan	-	-	-	-	-	-	-	203.11	203.11
کردستان Kurdistan	164.35	3.28	0.01	1.09	0.81	1.09	-	461.60	632.21
همدان Hamadan	216.13	5.68	-	2.38	0.35	0.58	-	596.89	822.00
چهارمحال و بختیاری Chaharmahal and Bakhtiari	367.80	4.81	-	0.48	0.47	1.86	0.90	330.38	706.71
لرستان Lorestan	287.93	8.46	0.03	2.04	0.21	2.88	-	458.07	759.62
ایلام Ilam	151.03	5.40	-	0.44	0.02	1.61	0.60	417.76	576.86
کهگیلویه و بویراحمد Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad	384.34	12.23	-	0.92	0.06	1.49	0.36	303.98	703.38

زنجان Zanjan	180.57	7.11	0.04	0.86	0.05	0.29	-	491.42	680.34
سمنان Semnan	293.45	0.67	0.47	0.29	0.65	1.23	1.26	551.94	849.97
تهران Tehran	108.39	3.10	0.06	0.28	-	0.17	2.33	378.92	493.25
گلستان Golestan	352.39	8.01	0.09	2.02	2.06	2.87	-	492.43	859.87
قزوین Qazvin	74.98	3.30	-	1.04	0.09	-	0.47	437.30	517.17
اردبیل Ardabil	82.10	4.28	-	-	1.10	1.81	-	446.63	535.92
قم Qom	150.89	12.17	-	0.55	-	-	0.99	258.84	423.44
خراسان جنوبی South Khorasan	12.50	0.70	-	-	0.01	-	-	263.79	277.00
خراسان رضوی Razavi Khorasan	23.45	0.54	-	0.03	0.18	0.06	-	402.50	426.76
خراسان شمالی North Khorasan	96.24	7.92	0.01	-	0.01	1.83	-	426.99	533.00
البرز Alborz	885.50	18.75	9.38	-	-	-	-	718.51	1632.13

جدول ٦- میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای تولید یک هکتار جو دیم در سطح کشور (کیلوگرم معادل CO_2)

Table 6 - Greenhouse gas emission per hectare of dryland barley (kg CO_2 eq.)

استان Province	کود نیتروژن N fertilizer	کود فسفر P fertilizer	کود پتاسیم K fertilizer	حشره‌کش‌ها Insecticides	قارچ‌کش‌ها Fungicides	علف‌کش‌ها Herbicides	کود حیوانی manure	سوخت دیزل Diesel	کل Total
مرکزی Markazi	465.51	16.60	0.53	0.26	0.23	0.08	0.30	505.57	989.09
گیلان Gilan	434.37	9.59	0.35	-	0.54	-	-	329.43	774.28
مازندران Mazandaran	325.82	23.85	0.20	0.02	3.76	4.30	-	417.50	775.45
آذربایجان شرقی East Azerbaijan	115.14	2.04	-	-	0.36	0.58	-	342.56	460.69
آذربایجان غربی West Azerbaijan	135.71	2.17	-	0.36	0.07	0.90	-	382.99	522.20
کرمانشاه Kermanshah	180.37	5.43	0.01	2.03	0.02	2.37	0.44	443.16	633.83
خوزستان Khuzestan	174.94	5.91	-	0.45	0.12	0.80	-	357.32	539.55
فارس Fars	93.99	1.05	-	0.07	0.01	0.10	0.27	268.69	364.20
کرمان Kerman	159.51	8.95	-	-	-	-	-	295.20	463.65
اصفهان Isfahan	83.82	1.92	-	-	0.27	0.14	-	212.05	298.20
سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan	49.40	0.77	-	-	-	-	-	186.31	236.48
کردستان Kurdistan	194.45	1.36	0.22	0.14	0.39	0.11	-	343.84	540.51
همدان Hamadan	331.07	6.85	-	2.15	0.27	0.94	-	528.37	869.64
چهارمحال و بختیاری Chaharmahal and Bakhtiari	307.26	3.07	-	0.31	0.14	1.37	0.73	278.01	590.89
لرستان Lorestan	174.34	5.61	-	0.87	0.19	1.95	-	422.40	605.36

ایلام Ilam	224.98	3.72	-	0.27	0.01	0.50	-	379.61	609.10
کهگیلویه و بویراحمد Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad	217.41	9.82	-	0.39	0.12	0.57	-	278.82	507.12
زنجان Zanjan	55.83	0.17	-	-	-	-	-	167.02	223.01
سمنان Semnan	136.67	3.07	0.26	0.32	0.28	0.24	-	463.86	604.69
تهران Tehran	154.41	-	-	-	-	0.43	1.40	516.14	672.38
گلستان Golestan	198.09	8.30	0.25	-	-	0.26	-	331.88	538.78
قزوین Qazvin	165.11	6.75	0.17	0.09	0.46	0.68	-	422.78	596.03
اردبیل Ardabil	71.77	3.79	-	0.33	0.24	-	-	415.80	491.93
خراسان جنوبی South Khorasan	42.72	1.88	-	-	0.36	0.48	-	436.61	482.05
خراسان رضوی Razavi Khorasan	28.41	1.01	-	-	-	-	0.44	233.72	263.58
خراسان شمالی North Khorasan	97.08	0.39	-	-	0.30	0.02	-	373.89	471.67
البرز Alborz	154.40	8.69	0.01	-	-	0.08	-	419.47	582.66

نتایج مربوط به شاخص ردپای اکولوژیک تولید گندم دیم در جدول ۷ نشان داده شده است. دامنه شاخص ردپای اکولوژیک از ۲/۵۷ در استان‌خراسان‌جنوبی تا ۲/۷۸ در استان البرز قابل مشاهده است. دامنه شاخص ردپای اکولوژیک برای تولید جو دیم در کشور از ۲/۵۶ در استان سیستان و بلوچستان تا ۲/۸۷ در استان البرز متغیر بود (جدول ۸). در تولید گندم و جو دیم، سهم انتشار داخل مزرعه در شاخص ردپای اکولوژیک غیرمستقیم بیش از سهم انتشار خارج از مزرعه است. یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای N_2O بوده که اثر آن در ایجاد پتانسیل گرمایش جهانی ۲۹۸ برابر بیشتر از CO_2 است و کاربرد کود نیتروژن در داخل مزرعه سبب انتشار این گاز می‌شود، از طرفی، سوخت دیزل مصرف شده در طی عملیات مختلف زراعی CO_2 بیشتری نسبت به مراحل تولید و انتقال خارج از مزرعه تولید می‌کند و ضریب انتشار آلایندگی بالاتری دارد، لذا موارد فوق سبب شده تا در تولید گندم و جو دیم سهم انتشار داخل مزرعه در شاخص ردپای اکولوژیک غیرمستقیم بیش از سهم انتشار خارج از مزرعه شود.

جدول ۷- شاخص ردپای اکولوژیک تولید گندم دیم در سطح کشور

Table 7- Ecological footprint of rainfed wheat production in the Iran

استان Province	ردپای CO_2 خارج مزرعه EF CO_2 off farm (Gha)	ردپای CO_2 داخل مزرعه EF CO_2 on farm (Gha)	ردپاCO_2 EF CO_2	ردپای اکولوژیک EF (Gha)
مرکزی Markazi	0.04	0.14	0.19	2.70
گیلان Gilan	0.04	0.10	0.14	2.65
مازندران Mazandaran	0.08	0.17	0.25	2.76
آذربایجان شرقی East Azerbaijan	0.03	0.10	0.13	2.64
آذربایجان غربی West Azerbaijan	0.03	0.10	0.13	2.64
کرمانشاه Kermanshah	0.04	0.11	0.14	2.65

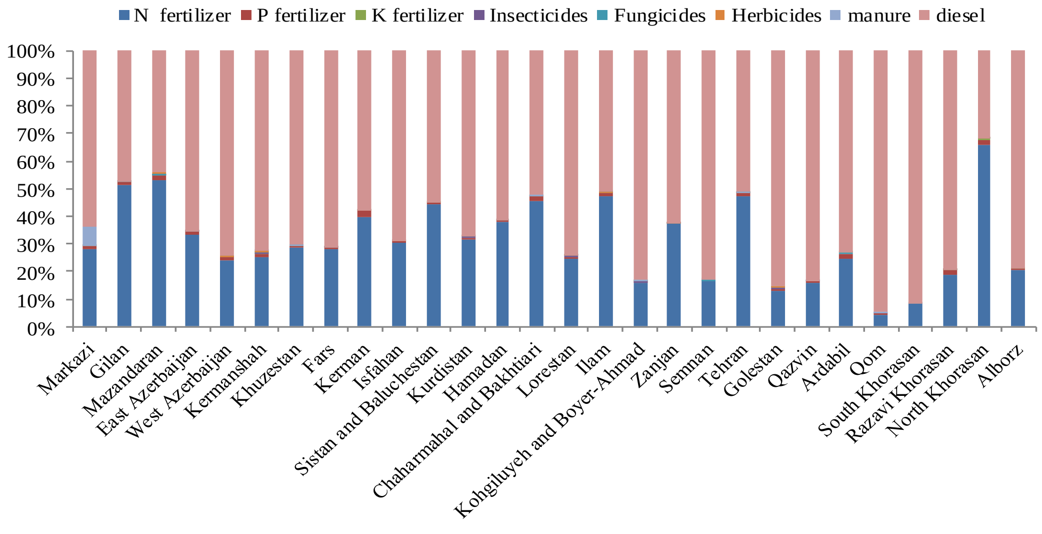
خوزستان Khuzestan	0.03	0.09	0.12	2.63
فارس Fars	0.03	0.08	0.11	2.62
کرمان Kerman	0.05	0.12	0.17	2.68
اصفهان Isfahan	0.03	0.09	0.12	2.63
سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan	0.01	0.04	0.04	2.55
کردستان Kurdistan	0.03	0.11	0.14	2.65
همدان Hamadan	0.04	0.14	0.18	2.69
چهارمحال و بختیاری Chaharmahal and Bakhtiari	0.05	0.11	0.16	2.67
لرستان Lorestan	0.05	0.12	0.17	2.68
ایلام Ilam	0.03	0.10	0.13	2.64
کهگیلویه و بویراحمد Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad	0.05	0.11	0.16	2.67
زنجان Zanjan	0.04	0.11	0.15	2.66
سمنان Semnan	0.05	0.14	0.19	2.70
تهران Tehran	0.02	0.08	0.11	2.62
گلستان Golestan	0.05	0.14	0.19	2.70
قزوین Qazvin	0.02	0.09	0.11	2.62
اردبیل Ardabil	0.03	0.09	0.12	2.63
قم Qom	0.03	0.07	0.09	2.60
خراسان جنوبی South Khorasan	0.01	0.05	0.06	2.57
خراسان رضوی Razavi Khorasan	0.02	0.08	0.09	2.60
خراسان شمالی North Khorasan	0.03	0.09	0.12	2.63
البرز Alborz	0.11	0.25	0.36	2.87

جدول ۸- شاخص ردپای اکولوژیک تولید جو دیم در سطح کشور
Table 8- Ecological footprint of rainfed barley production in the Iran

Province	ردپای CO_2 خارج مزرعه EF CO_2 off farm (Gha)	ردپای CO_2 داخل مزرعه EF CO_2 on farm (Gha)	ردپاCO_2 EF CO_2	ردپای اکولوژیک EF (Gha)
مرکزی Markazi	0.06	0.16	0.22	2.73
گیلان Gilan	0.06	0.12	0.17	2.68
مازندران Mazandaran	0.03	0.14	0.17	2.68
آذربایجان شرقی East Azerbaijan	0.03	0.08	0.10	2.61
آذربایجان غربی West Azerbaijan	0.03	0.09	0.12	2.63
کرمانشاه Kermanshah	0.04	0.10	0.14	2.65
خوزستان Khuzestan	0.02	0.10	0.12	2.63
فارس Fars	0.03	0.05	0.08	2.59
کرمان Kerman	0.03	0.08	0.10	2.61
اصفهان Isfahan	0.01	0.06	0.07	2.58
سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan	0.02	0.03	0.05	2.56
کردستان Kurdistan	0.04	0.08	0.12	2.63
همدان Hamadan	0.06	0.14	0.19	2.70
چهارمحال و بختیاری Chaharmahal and Bakhtiari	0.03	0.10	0.13	2.64
لرستان Lorestan	0.03	0.10	0.13	2.64
ایلام Ilam	0.05	0.09	0.13	2.64
کهگیلویه و بویراحمد Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad	0.01	0.10	0.11	2.62
زنجان Zanjan	0.03	0.10	0.13	2.64
سمنان Semnan	0.04	0.11	0.15	2.66
تهران Tehran	0.03	0.09	0.12	2.63
گلستان Golestan	0.03	0.11	0.13	2.64
قزوین Qazvin	0.02	0.09	0.11	2.62
اردبیل Ardabil	0.02	0.09	0.11	2.62
خراسان جنوبی South Khorasan	0.01	0.05	0.06	2.57
خراسان رضوی Razavi Khorasan	0.03	0.07	0.10	2.61
خراسان شمالی North Khorasan	0.02	0.11	0.13	2.64
البرز Alborz	0.03	0.09	0.13	2.64

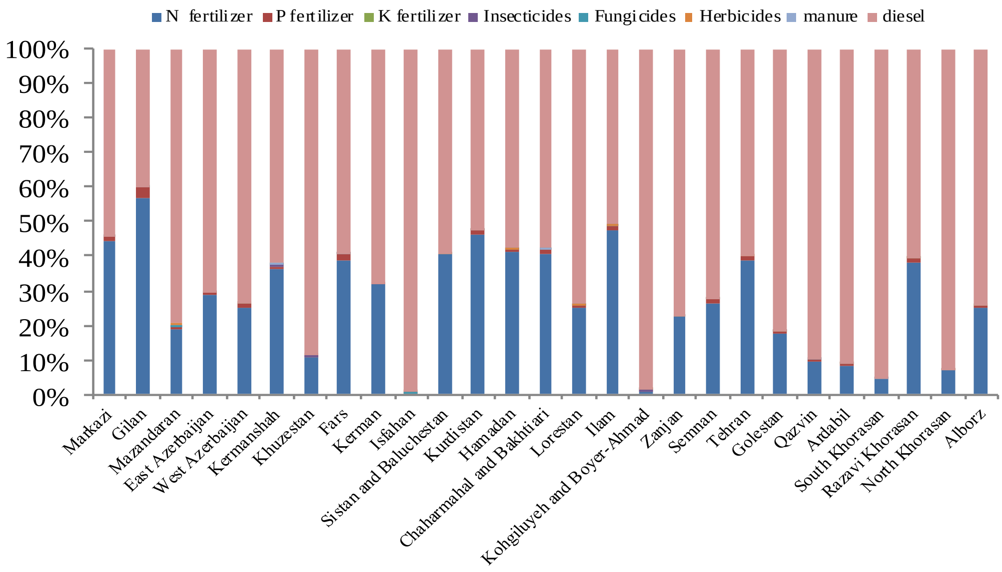
سهم هر کدام از نهاده‌ها در شاخص ردپای اکولوژیک دو محصول گندم و جو دیم در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود قسمت اعظم شاخص ردپای غیرمستقیم به انتشار آلاینده‌های حاصل از مصرف کود نیتروژن و سوخت دیزل مربوط می‌شود. نتایج گزارش‌های برخی محققان حاکی از این است که سوخت دیزل و کودهای شیمیایی از مهم‌ترین منابع انتشار آلاینده‌های بخش کشاورزی می‌باشند (Mohammadi et al., 2013; Pishgar- Komleh et al., 2013). در کشور لیتوانی کود حیوانی به‌عنوان مهم‌ترین نهاده در انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گندم و جو گزارش شده است (Šarauskis et al., 2019). در برخی از مطالعات در بخش کشاورزی نیز از الکتریسته به‌عنوان مهم‌ترین عامل انتشار گازهای گلخانه‌ای نام برده شده است که در این مطالعات عمدتاً مصرف الکتریسته به خاطر پمپ آب‌های زیرزمینی و انتقال آب به مزارع بوده که این مسئله در کشت دیم وجود ندارد (Nabavi- Pelesaraei et al., 2014; Martin- Gorriz et al., 2014; Esfahani et al., 2017).

شاخص ردپای اکولوژیک گندم دیم برحسب واحدهای مختلف کارکردی در جدول ۹ نشان داده شده است. بر این اساس، مشاهده می‌شود که برای تولید یک تن محصول گندم دیم از استان مازندران با شاخص ۰/۷۵ هکتار جهانی تا استان خراسان جنوبی با شاخص ۱۰/۸۵ هکتار جهانی متغیر است. مقایسه شاخص ردپای اکولوژیک بر اساس واحدهای متفاوت کارکردی نشان داد که هر چند استان خراسان جنوبی از نظر شاخص کلی ردپای اکولوژیک از جایگاه مناسبی در کشور برخوردار است، ولی بر اساس عملکرد، تولید یک تن گندم دیم در این استان از منظر پایداری زیست‌محیطی در شرایط مطلوبی قرار ندارد. از منظر درآمد، شاخص ردپای اکولوژیک در استان‌های مازندران، اردبیل، گلستان، کرمان و البرز در جایگاه بهتری نسبت به کل کشور قرار داشت. به این معنی که کشاورزان این استان‌ها برای کسب ده هزار ریال درآمد از تولید گندم دیم در سطح پایدارتری در کل کشور قرار دارند. در صورتی که سود خالص را مبنای واحد کارکردی قرار دهیم، استان‌های مازندران، اردبیل، آذربایجان غربی و تهران ده هزار ریال سود خالص از تولید گندم دیم را به‌صورت پایدارتری کسب می‌کنند. تفاوت میان شاخص ردپای اکولوژیک بر مبنای درآمد و سود، از مدیریت هزینه‌های ناشی شود. به همین جهت در صورتی که استان‌هایی مثل گلستان و کرمان، مدیریت بیشتری نسبت به هزینه‌ها داشته باشند، می‌توانند از منظر کسب سود نیز جایگاه مناسبی در شاخص ردپای اکولوژیک کسب کنند. در برخی استان‌ها نیز مثل خراسان جنوبی، همدان، خوزستان و فارس نیز هرچند جایگاه مناسبی از نظر پایداری در سطح کشور داشتند، ولی به‌علت عدم مدیریت هزینه‌ها، سود آن‌ها منفی شده و شاخص ردپای اکولوژیک برحسب سود نیز در این استان‌ها منفی به‌دست آمد.



شکل ۲- سهم هر کدام از نهاده‌ها در شاخص ردپای اکولوژیک تولید گندم دیم

Fig. 2- The share of each input in the ecological footprint index of dryland wheat production



شکل ۳- سهم هرکدام از نهاده‌ها در شاخص ردپای اکولوژیک تولید جو دیم

Fig. 3- The share of each input in the ecological footprint index of dryland barley production

جدول ۹- شاخص ردپای اکولوژیک تولید گندم دیم بر اساس واحدهای مختلف کارکردی

Table 9- Multy-functional Ecological footprint of rainfed wheat based on different functional units

استان **Province**	ردپای عملکرد **EF yield (Gha.ton^{-1})**	ردپای درآمد **EF revenue (Gha.1000T^{-1})**	ردپای سود **EF benefit (Gha.1000T^{-1})**
مرکزی Markazi	2.88	0.02	0.07
گیلان Gilan	2.12	0.02	0.26
مازندران Mazandaran	0.75	0.01	0.02
آذربایجان شرقی East Azerbaijan	2.41	0.02	0.05
آذربایجان غربی West Azerbaijan	1.87	0.02	0.04
کرمانشاه Kermanshah	2.90	0.02	0.12
خوزستان Khuzestan	3.69	0.03	-0.17
فارس Fars	5.38	0.04	-0.33
کرمان Kerman	1.79	0.01	0.05
اصفهان Isfahan	3.40	0.03	0.11
سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan	3.26	0.02	1.67
کردستان Kurdistan	3.00	0.02	0.09
همدان Hamadan	3.91	0.03	-0.86

چهارمحال و بختیاری Chaharmahal and Bakhtiari	2.34	0.02	0.09
لرستان Lorestan	2.19	0.02	0.05
ایلام Ilam	4.73	0.04	-0.69
کهگیلویه و بویراحمد Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad	2.40	0.02	0.08
زنجان Zanjan	2.91	0.02	0.13
سمنان Semnan	2.36	0.02	0.06
تهران Tehran	2.06	0.02	0.04
گلستان Golestan	1.34	0.01	0.06
قزوین Qazvin	3.09	0.03	0.09
اردبیل Ardabil	1.22	0.01	0.02
قم Qom	6.30	0.05	-0.92
خراسان جنوبی South Khorasan	10.85	0.07	-0.53
خراسان رضوی Razavi Khorasan	5.37	0.04	0.11
خراسان شمالی North Khorasan	4.87	0.04	-0.08
البرز Alborz	1.91	0.01	0.08

ردپای اکولوژیک کارکردی تولید جو دیم نشان می‌دهد که استان‌های فارس، اصفهان و خراسان جنوبی در نامطلوب‌ترین شرایط پایداری برای تولید یک تن جو دیم قرار دارند؛ به عبارت دیگر، در این استان‌ها به‌ترتیب نیازمند ۱۰/۷، ۷/۴۲ و ۵/۵ هکتار جهانی زمین بهره‌ور زیستی هست تا بتوان یک تن جو تولید کرد و ضایعات حاصل از آن را نیز جذب کرد. استان‌های مازندران، البرز و گیلان نسبت به سایر استان‌ها یک تن جو دیم را در شرایط مطلوب‌تری از منظر پایداری تولید می‌کنند. کسب هزار تومان درآمد از تولید جو دیم در استان‌های مازندران، تهران و گیلان نسبت به سایر نقاط کشور در وضعیت زیست‌محیطی پایدارتری حاصل می‌شود (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- شاخص ردپای اکولوژیک تولید جو دیم بر اساس واحدهای مختلف کارکردی

Table 10- Multy-functional Ecological footprint of rainfed barley based on different functional units

استان Province	ردپای عملکرد EF yield (Gha.ton^{-1})	ردپای درآمد EF revenue (Gha.1000^{-1})	ردپای سود EF benefit (Gha.1000T^{-1})
مرکزی Markazi	5.45	0.05	1.23
گیلان Gilan	1.96	0.01	0.05
مازندران Mazandaran	1.06	0.01	0.12

آذربایجان شرقی East Azerbaijan	2.42	0.02	0.07
آذربایجان غربی West Azerbaijan	2.32	0.02	0.12
کرمانشاه Kermanshah	3.13	0.03	0.22
خوزستان Khuzestan	3.68	0.03	-0.16
فارس Fars	10.70	0.09	-0.10
کرمان Kerman	2.78	0.02	0.08
اصفهان Isfahan	7.42	0.06	-0.21
سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan	2.99	0.02	0.09
کردستان Kurdistan	2.29	0.02	0.11
همدان Hamadan	2.89	0.03	-0.44
چهارمحال و بختیاری Chaharmahal and Bakhtiari	2.20	0.02	0.11
لرستان Lorestan	2.79	0.03	0.09
ایلام Ilam	4.04	0.03	0.20
کهگیلویه و بویراحمد Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad	2.74	0.02	0.16
زنجان Zanjan	3.96	0.04	-0.28
سمنان Semnan	2.75	0.02	0.09
تهران Tehran	2.07	0.01	0.03
گلستان Golestan	2.78	0.03	-1.03
قزوین Qazvin	2.33	0.02	0.06
اردبیل Ardabil	2.03	0.02	0.04
خراسان جنوبی South Khorasan	5.50	0.05	2.86
خراسان رضوی Razavi Khorasan	4.88	0.05	0.20
خراسان شمالی North Khorasan	4.43	0.04	-0.08
البرز Alborz	1.88	0.02	0.05

نتایج همبستگی شاخص ردپـای اکولوژیـک و ردپـای اکولوژیـک برحسب عملکرد و سود نشان داد که بین ردپای اکولوژیک تولید گندم و جو دیم در استان‌های کشور در سطح یک درصد رابطـه معنـی‌داری وجود داشت (جدول ۱۱). همچنین بین شـاخص ردپـای اکولوژیـک و شاخص ردپـای اکولوژیـک برحسـب عملکـرد در گنـدم دیـم رابطـه معنی‌دار در سطح پنج درصد مشاهده شد، ولی این رابطه در مورد جـو دیم معنی‌داری نبود (جدول ۱۱). علت آن این است که کاربرد نهـاده-های بیشتر برای تولید گندم دیم در سطح استان‌های کشور هـر چنـد ناپایداری را افزایش داده است، ولی سبب افزایش عملکـرد نیـز شـده است، ولی در تولید جو دیم کاربرد این نهاده‌هـا تنهـا سـبب افـزایش ناپایداری شده و تأثیر معنی‌داری در افـزایش عملکـرد نداشـته اسـت. همچنین عدم وجود ارتباط معنی‌دار بین شاخص ردپای اکولوژیک بـر مبنای عملکرد با شاخص ردپای اکولوژیک بر مبنـای سـود اقتصـادی نشان می‌دهد که لزوماً افزایش عملکرد محصول، افـزایش سـودآوری در تولید دو محصول گندم و جو دیم را به دنبال نداشته است (جـدول ۱۱).

جدول ۱۱- ضرایب همبستگی شاخص ردپای اکولوژیک بر مبنای واحدهای کارکردی متفاوت

Table 11- Correlation coefficients of ecological footprint index based on different functional units

صفت	1	2	3	4	5	6
۱- ردپای اکولوژیک تولید گندم دیم بر مبنای عملکرد 1- Ecological footprint of rainfed wheat production based on yield	1	-0.256	-0.436*	0.800**	-0.011	-0.244
۲- ردپای اکولوژیک تولید گندم دیم بر مبنای سود 2- Ecological footprint of rainfed wheat production based on profit		1	-0.014	-0.204	0.149	0.133
۳- ردپای اکولوژیک تولید گندم دیم 3- Ecological footprint of wheat production			1	-0.330	-0.067	0.652**
۴- ردپای اکولوژیک تولید جو دیم بر مبنای عملکرد 4- Ecological footprint of rainfed barley production based on yield				1	-0.047	-0.276
۵- ردپای اکولوژیک تولید جو دیم بر مبنای سود 5- Ecological footprint of rainfed barley production based on profit					1	0.182
۶- ردپای اکولوژیک تولید جو دیم 6- Ecological footprint of barley production						1

** و *: به‌ترتیب به‌مفهوم معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشد.

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

مطالعات زیادی در زمینه تولید غلات دیم و همچنین سایر محصولات کشاورزی که ردپای اکولوژیک را بر مبنای ارزیابی چرخه حیات و نوع عملیات زراعی داخل مزرعه انجام داده باشند وجود ندارد تا بتوان با مقایسه نتایج به تصویر شفاف‌تری در مورد پایداری تولید دست یافت. لذا به‌منظور بررسی جایگاه پایداری تولید غلات نتایج این مطالعه با نتایج سایر مطالعاتی که در بخش کشاورزی صورت گرفته مقایسه شده است. نتایج مطالعه‌ای که پایداری ذرت علوفه‌ای در شهرستان سرایان را بررسی کرده بود، نشان داد ردپای اکولوژیک برای تولید یک تن ذرت علوفه‌ای در شرایط جاری و بهینه تولید ۰/۰۸۴ و ۰/۰۸۳ هکتار جهانی است. همچنین برای ایجاد ۱۰۰۰ دلار درآمد از تولید ذرت علوفه‌ای نیازمند ۱/۶۴ هکتار جهانی زمین بهره‌وری زیستی هستیم (Esfahani et al., 2017). شاخص ردپای اکولوژیک برای تولید گندم در استان همدان به‌ترتیب ۲/۸۴ و ۲/۹۶ هکتار جهانی برای سیستم کشت حفاظتی[1] و کشت متعارف[2] گزارش شده است (Naderi Mahdei et al., 2015). ردپای اکولوژیک برای تولید یک هکتار انگور ۳/۲۱ هکتار جهانی به‌دست آمده است (Niccolucci et al., 2008). در تحقیقی، میزان ردپای اکولوژیک برای تولید یک تن شلیل در ایتالیا را ۱/۳۴ هکتار جهانی گزارش شد (Cerutti et al., 2010). در تحقیقی دیگر، میزان شاخص ردپای اکولوژیک برای سه محصول سیب، زردآلو و کیوی را به‌ترتیب ۱/۵۷، ۱/۶۱ و ۳/۰۵ هکتار جهانی برحسب یک تن محصول محاسبه شده است (Cerutti et al., 2013). میانگین شاخص ردپای اکولوژیک غیرمستقیم زعفران ۰/۲ هکتار جهانی گزارش شده است که ۰/۰۷ به انتشار داخل مزرعه و ۰/۱۳ به انتشار خارج مزرعه مربوط می‌شد (Esfahani & Khazaee, 2019).

مقایسه شاخص ردپای اکولوژیک برای تولید غلات دیم با سایر محصولات کشاورزی که در نقاط مختلف ایران و جهان انجام شده است، نشان می‌دهد که از نظر کلی، تولید غلات دیم نسبت با سایر محصولات کشاورزی در سطح پایدارتری قرار دارد ولی، به‌منظور مقایسه کاربردی‌تر و تفسیرپذیر تر بهتر است ردپای اکولوژیک بر مبنای واحدهای مختلف کارکردی مقایسه شود. درصورتی‌که عملکرد مبنای محاسبه ردپای اکولوژیک قرار داده شود، در این صورت در مقایسه با سایر محصولات کشاورزی، تولید یک تن گندم و جو دیم در سطح کشور در وضعیت ناپایدارتری قرار دارد. بر این اساس هرچند به‌صورت کلی مزارع گندم آبی ناپایدارتر هستند، ولی به نظر می‌رسد تولید یک تن گندم به‌صورت آبی از کشت دیم از وضعیت پایدارتری برخوردار است.

نتیجه‌گیری

مقایسه شاخص ردپای اکولوژیک و بررسی میزان همبستگی بین آن‌ها نشان داد که افزایش مصرف نهاده‌های خارجی در تولید گندم دیم توانسته عملکرد را افزایش دهد، ولی در تولید جو دیم تأثیر در افزایش عملکرد نداشته است. بر اساس نتایج این مطالعه مشخص شد که اگر چه استفاده از نهاده‌های شیمیایی سبب افزایش عملکرد محصول شده است، ولی منجر به سودآوری بیشتر نشده است. لازم به توضیح است که همیشه افزایش عملکرد افزایش سودآوری را به دنبال نداشته و در برخی موارد، هزینه استفاده از نهاده‌های کشاورزی بیشتر از درآمد حاصل از افزایش عملکرد متناسب با هزینه انجام شده است، در چنین مواردی به اصطلاح اقتصادی هزینه نهایی بیشتر از ارزش تولید نهایی شده و لازم است تا در مصرف نهاده صرفه‌جویی شود؛ بنابراین، تخصیص مجدد نهاده‌ها کشاورزی بر اساس معیارها و مطالعات اقتصادی مربوط به هر منطقه می‌تواند علاوه‌بر کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی به افزایش سودآوری کشاورزان نیز منجر شود. در این زمینه باید این نکته را مدنظر قرار داد که استفاده مطلوب از نهاده‌های شیمیایی می‌تواند سبب افزایش پایداری شود. به‌عنوان نمونه استان مازندران در تولید گندم دیم از بسیاری از نهاده‌های شیمیایی بالاتر از میانگین کل کشور استفاده کرده است، ولی با مدیریت صحیح و عملکرد بالا توانسته یک تن گندم دیم را در شرایط پایدارتری نسبت به کل کشور تولید کند و در طرف مقابل، استان خراسان جنوبی قرار دارد که با وجود مصرف کم نهاده‌های شیمیایی در تولید گندم دیم، از نظر شاخص ردپای اکولوژیک بر حسب میزان تولید در جایگاه مطلوبی قرار ندارد. از طرفی، بر اساس شاخص ردپای اکولوژیک استان‌های مازندران و البرز در وضعیت مطلوبی از منظر پایداری قرار ندارند، ولی بر اساس شاخص ردپای اکولوژیک بر حسب عملکرد وضعیت این استان‌ها در تولید یک تن گندم دیم نسبت به سایر استان‌ها مطلوب‌تر است که مقایسه این دو شاخص نشان دهند

1- Conservation
2- Conventional

استفاده بهینه این استان‌ها از نهاده‌ها و عملکرد بالاتر نسبت به‌میـزان آلایندگی زیست‌محیطی در مقایسه با سایر نقاط کشور است. مدیریت هزینه یکی از ارکان اصلی و مهم در جهت افـزایش سـودآوری تولیـد غلات دیم در سطح کشور است. لذا برای افزایش پایداری تولید غلات دیم در سطح کشـور، جـدا از برنامـه‌ریـزی بـرای افـزایش عملکـرد، سیاست‌گذاری در جهت استفاده کارآمد از منابع و کاهش هزینـه‌هـای تولید باید به‌عنوان یک پایه اصلی در برنامـه‌ریـزی و سیاسـت‌گـذاری تولید مورد توجه قرار گیرد.

References

Ahmadi, K., Abadzadeh, H., Abdashah, H., Kazemian, A., and Rafiee, M., 2018. Agricultural Statistics (Crop year 2016-2017). Ministry of Agriculture Jihad Publications. Available at: Web site http:// https://www.maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub65/Amarnamehj1-95-96-site.pdf. (In Persian)

Alam, M.M., Murad, M.W., Noman, A.H.M., and Ozturk, I., 2016. Relationships among carbon emissions, economic growth, energy consumption and population growth: Testing Environmental Kuznets Curve hypothesis for Brazil, China, India and Indonesia. Ecological Indicators 70: 466–479.

Alhajj Ali, S., Tedone, L., Verdini, L., and De Mastro, G., 2017. Effect of different crop management systems on rainfed durum wheat greenhouse gas emissions and carbon footprint under Mediterranean conditions. Journal of Cleaner Production 140: 608-621.

Aşıcı, A.A., and Acar, S., 2018. How does environmental regulation affect production location of non−carbon ecological footprint? Journal of Cleaner Production 178: 927–936.

Bilgili, F., and Ulucak, R., 2018. Is there deterministic, stochastic, and/or club convergence in ecological footprint indicator among G_{20} countries? Environmental Science and Pollution Research 25(35): 35404–35419.

Bilgili, F., Ulucak, R., and Koçak, E., 2019. Implications of Environmental Convergence: Continental Evidence Based on Ecological Footprint. In M. Shahbaz and D. Balsalobre (Eds.), Energy and Environmental Strategies in the Era of Globalization. Springer International Publishing, Switzerland .p.133-165..

Cerutti, A.K., Bagliani, M., Beccaro, G.L., and Bounous, G., 2010. Application of ecological footprint analysis on nectarine production: methodological issues and results from a case study in Italy. Journal of Cleaner Production 18(8): 771-776.

Cerutti, A.K., Beccaro, G.L., Bagliani, M., Donno, D., and Bounous, G., 2013. Multifunctional ecological footprint analysis for assessing eco-efficiency: A case study of fruit production systems in Northern Italy. Journal of Cleaner Production 40: 108-117.

Colombo, U., 2001. The Club of Rome and sustainable development. Futures 33(1):7–11.

Danish Baloch, M.A., and Wang, B., 2019. Analyzing the role of governance in CO_2 emissions mitigation: The BRICS experience. Structural Change and Economic Dynamics 51: 119-125.

Danish, A., and Wang, Z., 2019. Investigation of the ecological footprint’s driving factors: What we learn from the experience of emerging economies. Sustainable Cities and Society 49: 101626. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101626

Destek, M.A., and Sinha, A., 2020. Renewable, non-renewable energy consumption, economic growth, trade openness and ecological footprint: Evidence from organisation for economic Co-operation and development countries. Journal of Cleaner Production 242: 118537.

Esfahani, S., and Khazaee, J., 2019. Application of multifunctional ecological footprint in sustainability analysis of saffron production in southern Khorasan. Saffron Agronomy and Technology 7(4): 491-503. (In Persian with English Summary)

Esfahani, S.M.J., Naderi Mahdei, K., Saadi, H., and Dourandish, A., 2017. Efficiency and sustainability of silage corn production by data envelopment analysis and multi-functional ecological footprint: Evidence from Sarayan County, Iran. Journal of Agricultural Science and Technology 19 (Supplementary Issue), 1453-1468. Retrieved from http://jast.modares.ac.ir/article_18026_f69b88799547729b2e0e0958262da232.pdf. (In Persian with English Summary)

Galli, A., Halle, M., and Grunewald, N., 2015. Physical limits to resource access and utilisation and their economic implications in Mediterranean economies. Environmental Science and Policy 51: 125-136.

Gan, Y., Liang, C., Mar, W., Malhi, S., Niu, J., and Wang, X., 2012. Carbon footprint of spring barley in relation to

preceding oilseed and N fertilization. The International Journal of Life Cycle Assessment 17(5): 635-645.

González-Vallejo, P., Marrero, M., and Solís-Guzmán, J., 2015. The ecological footprint of dwelling construction in Spain. Ecological Indicators 52: 75-84.

Houshyar, E., Dalgaard, T., Tarazkar, M.H., and Jorgensen, U., 2015. Energy input for tomato production what economy says, and what is good for the environment. Journal of Cleaner Production 89: 99-109.

Huijbregts, M.A.J., Hellweg, S., Frischknecht, R., Hungerbühler, K., and Hendriks, A.J., 2008. Ecological footprint accounting in the life cycle assessment of products. Ecological Economics 64(4): 798-807.

Karimi, V., Sadrabadi Haghighi, R., Bazregar, A.B., and Dargahi, M., 2018. Energy efficiency comparison of potato (*Solanum tuberosum* L.) production in different irrigation methods in Jolgeh Rokh Torbat Heidarieh Region. Agroecology 11(3): 859-876. (In Persian with English Summary)

Khoshnevisan, B, Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M., and Movahedi, M., 2013. Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. Energy 52: 333-338.

Martin-Gorriz, B., Soto-García, M., and Martínez-Alvarez, V., 2014. Energy and greenhouse-gas emissions in irrigated agriculture of SE (southeast) Spain. Effects of alternative water supply scenarios. Energy 77: 478-488.

Mohammadi, A, Rafiee, S., Jafari, A., Keyhani, A., Mousavi-Avval, S.H., and Nonhebel, S., 2014. Energy use efficiencyand greenhouse gas emissions of farming systems in north Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews 30: 724-733.

Mohammadi, A., Rafiee, S., Jafari, A., Dalgaard, T., Knudsen, M.T., Keyhani, A., and Hermansen, J.E., 2013. Potential greenhouse gas emission reductions in soybean farming: A combined use of life cycle assessment and data envelopment analysis. Journal of Cleaner Production 54: 89-100.

Monfreda, C., Wackernagel, M., and Deumling, D., 2004. Establishing national natural capital accounts based on detailed Ecological Footprint and biological capacity assessments. Land Use Policy 21: 231-246.

Moore, J., Kissinger, M., and Rees, W.E., 2013. An urban metabolism and ecological footprint assessment of Metro Vancouver. Journal of Enviromental Management 124: 51-61.

Nabavi-Pelesaraei, A., Abdi, R., Rafiee, S., and Mobtaker, H.G., 2014. Optimization of energy required and greenhouse gas emissions analysis for orange producers using data envelopment analysis approach. Journal of Cleaner Production 65: 311-317.

Naderi Mahdei, K., Bahrami, A., Aazami, M., and Sheklabadi, M., 2015. Assessment of agricultural farming systems sustainability in Hamedan province using ecological footprint analysis (Case study: irrigated wheat). Journal of Agricultural Science and Technology 17(6): 1409-1420. (In Persian with English Summary)

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Khorramdel, S., 2019. Temporal trends of ecological footprint of foodstuffs in Iran and evaluation of future scenarios. Journal of Agroecology 10(4):1035-1050. (In Persian with English Summary)

NF, A., 2017. Working guidebook to the national footprint accounts global footprint network report (2016 edition). 73. (April), Retrieved from http://www.footprintnetwork.org/ images/article_uploads/NFA2014Guidebook7-14-14.pdf.

Nguyen, T.L.T., and Hermansen, J.E., 2012. System expansion for handling co-products in LCA of sugar cane bio-energy systems: GHG consequences of using molasses for ethanol production. Applied Energy 89(1): 254-261.

Niccolucci, V., Galli, A., Kitzes, J., Pulselli, R.M., Borsa, S., and Marchettini, N., 2008. Ecological footprint analysis applied to the production of two Italian wines. Agriculture, Ecosystems and Environment 128: 162-166.

Patterson, M., McDonald, G., and Hardy, D., 2017. Is there more in common than we think? Convergence of ecological foot printing, emergy analysis, life cycle assessment and other methods of environmental accounting. Ecological Model 362: 19-36.

Pishgar-Komleh, S.H., Omid, M., and Heidari, M.D., 2013. On the study of energy use and GHG (greenhouse gas) emissions in greenhouse cucumber production in Yazd province. Energy 59: 63-71.

Rajaniemi, M., Mikkola, H., and Ahokas, J., 2011. Greenhouse gas emissions from oats, barley, wheat and rye production. Agronomy Research 9(1): 189-195.

Rashid, A., Irum, A., Malik, I.A., Ashraf, A., Rongqiong, L., Liu, G., and Yousaf, B., 2018. Ecological footprint of Rawalpindi; Pakistan's first footprint analysis from urbanization perspective. Journal of Cleaner Production 170: 362-368.

Šarauskis, E., Masilionytė, L., Juknevicius, D., Buragienė, S., and Kriauciuniene, Z., 2019. Energy use efficiency, GHG emissions, and cost-effectiveness of organic and sustainable fertilisation. Energy, 172: 1151-1160.

Toth, G., and Szigeti, C., 2016. The historical ecological footprint: from over-population to overconsumption. Ecological Indicators 60: 283–291.

Ulucak, R., and Apergis, N., 2018. Does convergence really matter for the environment? An application based on club convergence and on the ecological footprint concept for the EU countries. Environmental Science and Policy 80: 21–27.

Ulucak, R., and Bilgili, F., 2018. A reinvestigation of EKC model by ecological footprint measurement for high, middle and low income countries. Journal of Cleaner Production 188: 144-157.

Vafabakhsh, J., and Mohammadzadeh, A., 2019. Energy flow and GHG emissions in major field and horticultural crop production systems (Case study: Sharif Abad plain). Agroecology 11(2): 365-382. (In Persian with English Summary)

WWF., 2012. Turkey’s ecological footprint report. Retrieved from: https://www.footprintnetwork.org/content/images/article_uploads/Turkey_Ecological_Footprint_Report_Turkish.pdf.

Xia, L., Xia, Y., Ma, S., Wang, J., Wang, S., Zhou, W., and Yan, X., 2016. Greenhouse gas emissions and reactive nitrogen releases from rice production with simultaneous incorporation of wheat straw and nitrogen fertilizer. Biogeosciences 13(15): 4569-4579.

Zafar, M.W., Zaidi, S.A.H., Khan, N.R., Mirza, F.M., Hou, F., and Kirmani, S.A.A., 2019. The impact of natural resources, human capital, and foreign direct investment on the ecological footprint: The case of the United States. Resources Policy 63: 101428.

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

Research Article
Vol. 14, No. 1, Spring 2022, p. 159-171

The Investigation of Plant Yield and Yield Components of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) and Weight and Length of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) as Affected by Application of Nitrogen Levels and Row Intercropping Ratios

H. Mohammadipour[1*], A. Nakhzari Moghaddam[2], M. Mollashahi[2] and M. Naeemi[2]

Received: 10-01-2019
Revised: 15-02-2021
Accepted: 21-02-2021
Available Online: 15-06-2022

How to cite this article:
Mohammadipour, H., Nakhzari Moghaddam, A., Mollashahi, M., and Naeimi, M., 2022. The investigation of plant yield and yield components of chickpea and weight and length of lettuce as affected by application of nitrogen levels and row intercropping ratios. Journal of Agroecology 14(1):159-171.
DOI: 10.22067/agry.2021.68143.1009

Introduction

The main goal of conventional agriculture is to maximize both production and income. Intercropping, the agricultural practice of cultivating two or more crops in the same space at the same time, is an old and commonly used cropping practice that aims to match efficiently crop demands to the available growth resources and labor. The most common advantage of intercropping is the production of greater yield on a given piece of land by making more efficient use of the available growth resources using a mixture of crops of different rooting ability, canopy structure, height, and nutrient requirements based on the complementary utilization of growth resources by the component crops. Mixed cropping of cereals with non-cereal plants, in addition to the optimal and fair use of resources such as land and labor, increased productivity per unit area and strengthened total productivity per unit area and time. In mixed cropping of bean and sesame, treatments including 25:75, 50:50 and 75:25 had 1000-seed weight, number of capsules or pods per plant, number of seeds per pod and harvest index were higher than other treatments.

Materials and Methods

An experiment was carried out as factorial based on a randomized complete block design with three replications in Gonbad Kavous University farm from 2017-to 2018. The intercropping ratios were in nine levels, including sole crop of chickpea and lettuce, replacement intercropping of 33, 50, and 66% lettuce instead of chickpea, and additive intercropping of 100% cicer + 33, 50, 67, and 100% lettuce and pure nitrogen consumption in three levels of 0, 50 and 100 Kg^{-ha}. Row distance was 30cm, and row lengths were 3m. The distance between plants in rows was 20 cm for lettuce and 10 cm for chickpeas. The number of rows in sole cropping of chickpea and lettuce was four, 50% lettuce + 50% chickpeas 4 (chickpea-lettuce-chickpea-lettuce), 33% lettuce + 67% chickpea 5 (chickpea-lettuce-chickpea-chickpea–lettuce), 33% chickpea + 67% lettuce 5 (lettuce-chickpea-chickpea- lettuce-chickpea) and in additive treatments was 8 (lettuce-lettuce-lettuce-lettuce-lettuce-lettuce-lettuce-lettuce-) with 15 cm from together. In additive treatments distance of plants was 60, 40, 30, and 20 cm for 33, 50, 67, and 100% increase, respectively. SAS Ver. 9.4 was performed for statistical analysis of data, and the least significant difference test (LSD) at the 5% probability level was employed for mean comparisons.

1- M.Sc. of Agroecology, Plant Production Group, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.
2- Assistant Professor, Plant Production Group, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran.
(* Corresponding author: hasanmohammadipor@yahoo.com)

Results and Discussion

The results showed that the highest dry weight, number of pods per plant, number of seeds per plant, 1000-seed weight, seed weight per plant, and chickpea harvest index were obtained from replacement series of 33% chickpea and 67% lettuce. This was due to reduced external competition, which provided more space for the plant and produced more photosynthetic material. Also, the lowest dry weight, number of pods per plant, number of seeds per plant, seed weight per plant, and 1000-seed weight of chickpea were obtained from an increase of 100% lettuce to chickpea. With increasing nitrogen consumption, plant weight, the number of pods per plant, number of seeds per plant, seed weight per plant, 1000-seed weight and chickpea harvest index, and lettuce plant height and weight were increased. By increasing of nitrogen, plant growth, yield components, and consequently, chickpea seed yield increased.

Conclusion

Among the two pea and lettuce plants, lettuce plant weight was higher. The higher weight of lettuce can be attributed to the genetic characteristic of the plant (harvest of the whole plant and high level of water content of the plant). The weight of both species increased with increasing nitrogen consumption. The highest harvest index resulted from the treatment of 50 kg nitrogen per hectare, and the lowest harvest index was obtained from the treatment of non-consumption of nitrogen. Chickpea plant dry weight was reduced due to increasing density which in turn resulted in high competition between plants. Seed weight and yield components of chickpea decreased with increasing density.

Keywords: Additive intercropping, Harvest index, 1000-Seed weight, Plant density, Replacement intercropping

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

مقاله پژوهشی

بررسی عملکرد بوته و اجزای عملکرد نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.) و وزن و ارتفاع بوته کاهو (*Lactuca sativa* L.) تحت تأثیر نیتروژن و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

حسن محمدی‌پور[1*]، علی نخزری‌مقدم[2]، مهدی ملاشاهی[2] و معصومه نعیمی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۱
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۱/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۳

محمدی‌پور، ح.، نخزری‌مقدم، ع.، ملاشاهی، م.، و نعیمی، م.، ۱۴۰۱. بررسی عملکرد بوته و اجزای عملکرد نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.) و وزن و ارتفاع بوته کاهو (*Lactuca sativa* L.) تحت تأثیر نیتروژن و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۱): ۱۷۱-۱۵۹.

چکیده:

به‌منظور بررسی تأثیر کود نیتروژن و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر عملکرد بوته و اجزای عملکرد نخود زراعی (*Cicer arietinum* L.) و وزن و ارتفاع بوته کاهو (*Lactuca sativa* L.)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعه دانشگاه گنبدکاووس اجرا گردید. عامل الگوی کاشت در نه سطح شامل کشت خالص نخود زراعی و کاهو، کشت مخلوط جایگزین ۳۳، ۵۰ و ۶۷ درصد کاهو به‌جای نخود زراعی و کشت مخلوط افزایش ۳۳، ۵۰، ۶۷ و ۱۰۰ درصد کاهو به نخود زراعی و عامل نیتروژن در سه سطح شامل عدم مصرف و مصرف ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار بودند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، وزن دانه در بوته و شاخص برداشت نخود زراعی مربوط به تیمار کشت مخلوط جایگزین ۳۳ درصد نخود زراعی و ۶۷ درصد کاهو و کم‌ترین آن مربوط به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد کاهو + ۱۰۰ درصد نخود زراعی بود. با افزایش مصرف نیتروژن، وزن بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن دانه در بوته، وزن ۱۰۰۰ دانه و شاخص برداشت نخود زراعی افزایش یافت. اگرچه در تیمارهای افزایشی ارتفاع بوته کاهو بیشتر بود، امّا وزن بوته در تیمارهای جایگزین بیش از سایر تیمارها بود. در مجموع، افزایش تراکم بوته وزن بوته نخود زراعی و کاهو را کاهش داد، امّا مصرف نیتروژن تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار وزن بوته را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: تراکم بوته، شاخص برداشت، سری افزایشی، کشت مخلوط جایگزین، وزن هزار دانه

مقدمه

هدف اصلی کشاورزی رایج به حداکثر رساندن توأم تولید و درآمد است. به‌منظور دستیابی به این اهداف مجموعه‌ای از عملیات بدون توجه به پیامدهای درازمدت آن‌ها و بدون در نظر گرفتن پویایی بوم‌شناختی نظام‌های زراعی تکامل یافته‌اند که پیامد آن‌ها گسترش تک‌کشتی در مقیاس وسیع و وابستگی شدید آن به انرژی‌های فسیلی غیرقابل‌تجدید می‌باشد. چنین نظامی در رفع نیازهای غذایی جمعیت رو به رشد کنونی و نسل‌های آتی ناتوان بوده و این مسئله لزوم شکل‌گیری تفکر پایدار در کشاورزی جهت حل مشکلات موجود را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد (Borghi et al, 2013). از فواید کشت مخلوط می‌توان به افزایش عملکرد گیاهان زراعی و بهبود وضعیت زمین

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، گروه تولیدات گیاهی، دانشگاه گنبد کاووس، ایران.
۲- استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشگاه گنبد کاووس، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: hasanmohammadipor@yahoo.com)
DOI: 10.22067/agry.2021.68143.1009

اشاره کرد (Yang et al., 2018).

یکی از دلایل اصلی که کشاورزان در جهان کشت مخلوط را بر کشت خالص ترجیح می‌دهند این است که در اغلب موارد تولید بیشتری از کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص از همان مقدار زمین به‌دست می‌آید (Yang et al., 2014). کشت مخلوط حبوبات با گیاهان غیر حبوبات علاوه‌بر استفاده صحیح و بهینه و عادلانه از منابع مثل زمین و نیروی کار، باعث افزایش بهره‌وری در واحد سطح و تقویت بهره‌وری کل در واحد سطح و زمان شد (Najafi & Keshtehgar, 2014). گزارش شد که در کشت مخلوط لوبیا (Phaseolus vulgaris L.) و کنجد (Sesamum indicum L.) تیمارهای ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ وزن هزار دانه، تعداد کپسول یا غلاف در بوته، تعداد بذر در غلاف و شاخص برداشت بیش‌تری از سایر تیمارها داشتند (Ghale Noyee et al., 2017). یکی از دلایل اثر مثبت حضور لوبیا بر کنجد می‌تواند خاصیت تثبیت‌کنندگی نیتروژن توسط ریشه‌های لوبیا باشد. بررسی کشت مخلوط نعناع فلفلی (Mentha piperita L.) و باقلا (Vicia faba L.) نشان داد که بیش ترین تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه باقلا از نسبت ۳ ردیف باقلا و ۲ ردیف نعناع‌فلفلی به‌دست آمد (Amani Machiani et al., 2017). با بررسی نتایج ویژگی‌های مورد بررسی در کشت مخلوط نخود (Cicer arietinum L.) و زعفران (Crocus sativus L.) مشخص شد که اثر نسبت‌های کشت مخلوط بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه نخود معنی‌دار بود. وزن خشک کلاله زعفران با افزایش درصد حضور افزایشی نخود از ۲۰ درصد به ۱۰۰ درصد کاهش یافت (Asadi et al., 2016b). در بررسی کشت مخلوط شوید (Anethum graveolens L.) و شنبلیله (Trigonella foenum-graecum L.)، گیاه شوید در نسبت‌های افزایشی بیش‌ترین وزن تر و خشک، تعداد چتر، وزن هزار دانه، تعداد دانه در گیاه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت را داشت و گیاه شنبلیله نیز در نسبت‌های جایگزینی دارای حداکثر عملکرد بیولوژیک، نیام در شاخه اصلی، نیام در شاخه فرعی، دانه در نیام، وزن دانه در نیام و وزن خشک برگ بود بنابراین، گیاه شنبلیله به‌عنوان گیاه داروئی- علوفه‌ای و تثبیت‌کننده نیتروژن توانست ویژگی‌های رشد گیاه شوید را بهبود بخشد و گیاهی مؤثر در سیستم‌های کشت مخلوط باشد (Shokati & Zehtab Salmasi, 2014). اثر کشت مخلوط آفتابگردان (Helianthus annuus L.) و ذرت (Zea mays L.) بر ارتفاع بوته، قطر طبق، تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در طبق، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد دانه در بوته آفتابگردان معنی‌دار بود (Nasrollahzadeh Asl & Talebi, 2016). در بررسی رفتاری و همکاران (Raftari et al., 2019) مصرف نیتروژن نسبت به عدم مصرف آن باعث افزایش ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد غلاف در بوته نخودفرنگی (Pisum sativum L.) شد. بیشترین ارتفاع بوته مربوط به تیمارهای افزایش ۱۰۰ و ۶۷ درصد کاهو به نخودفرنگی بود و بیشترین تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد غلاف در بوته نخودفرنگی از تیمار کشت مخلوط جایگزین ۶۷ درصد کاهو به‌جای نخودفرنگی به‌دست آمد.

با توجه به فقدان اطلاعات لازم در خصوص کشت مخلوط نخود زراعی و کاهو در منطقه گنبدکاووس، این بررسی با هدف بررسی اثر الگوی کاشت و نیتروژن بر عملکرد بوته و اجزای عملکرد نخود زراعی و وزن و ارتفاع بوته کاهو انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر نیتروژن بر عملکرد بوته و اجزای عملکرد نخود زراعی و وزن و ارتفاع بوته کاهو در کشت مخلوط، آزمایشی در مزرعه آموزشی و تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس در سال زراعی ۹۷- ۱۳۹۶ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. طول جغرافیایی محل آزمایش ۵۵ درجه و ۱۱ دقیقه شرقی و عرض آن ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی است. ارتفاع از سطح دریا ۴۶ متر و براساس تقسیم‌بندی آب و هوایی کوپن، دارای اقلیم مدیترانه‌ای گرم و نیمه‌خشک است.

خصوصیات خاک منطقه تحت کشت بنابر اطلاعات حاصل از آزمون خاک در سال ۱۳۹۶ در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات خاک مزرعه دانشگاه گنبدکاووس
Table 1- Farm soil specifications of Gonbad Kavous University

بافت Texture	ماده آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی Ec (dS.m^{-1})	اسیدیته pH	پتاسیم قابل جذب Available K (mg.kg^{-1})	فسفر قابل جذب Available P (mg.kg^{-1})	نیتروژن کل Total N (%)
سیلتی لوم Silty loam	0.78	0.77	7.94	409	11	0.08

عامل‌های مورد بررسی مشتمل بر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در نه سطح شامل کشت خالص نخود زراعی و کاهو، کشت مخلوط جایگزین ۳۳، ۵۰ و ۶۷ درصد کاهو به‌جای نخود زراعی، کشت مخلوط افزایش ۳۳، ۵۰، ۶۷ و ۱۰۰ درصد کاهو به نخود زراعی و نیتروژن در سه سطح شامل عدم مصرف نیتروژن و مصرف ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص با منشأ اوره ۴۶ درصد در هکتار بود.

در این بررسی از کاهوی سفید فرانسوی و رقم آزاد نخود زراعی استفاده شد. فواصل خطوط کاشت ۳۰ سانتی‌متر و طول آن‌ها سه متر در نظر گرفته شد. فاصله بوته در روی ردیف برای کاهو ۲۰ سانتی‌متر و برای نخود زراعی ۱۰ سانتی‌متر بود. تعداد ردیف‌های کاشت در کشت خالص نخود زراعی و کاهو چهار بود. در کشت مخلوط جایگزین ۵۰ درصد کاهو به‌جای نخود زراعی تعداد ردیف چهار و به‌صورت نخود زراعی- کاهو - نخود زراعی- کاهو بود. در تیمار کشت مخلوط جایگزین ۳۳ درصد کاهو و ۶۷ درصد نخود زراعی تعداد ردیف کاشت پنج و به‌صورت نخود زراعی- کاهو - نخود زراعی- نخود زراعی- کاهو و در تیمار کشت مخلوط جایگزین ۳۳ درصد نخود زراعی و ۶۷ درصد کاهو تعداد ردیف کاشت پنج و به‌صورت نخود زراعی- کاهو- کاهو - نخود زراعی- کاهو بود. در تیمارهای افزایشی تعداد ردیف هشت و کاهو در وسط ردیف‌های نخود زراعی (به‌فاصله ۱۵ سانتی‌متر از نخود زراعی) با فواصل ۶۰، ۴۰، ۳۰ و ۲۰ سانتی‌متر (به‌ترتیب برای ۳۳، ۵۰، ۶۷ و ۱۰۰ درصد افزایش) کشت شد. بذرهای نخود زراعی به تعداد دو عدد در هر کپه به عمق حدود سه سانتی‌متر در تاریخ ۲۶ آذر ماه ۱۳۹۶ کشت گردید. در مرحله چهار الی پنج برگی، بوته‌های اضافی نخود زراعی حذف و در هر کپه یک بوته باقی گذاشته شد. کاهو نیز همزمان با نخود به‌صورت نشائی کشت شد. در زمان کاشت ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل (۴۶ درصد فسفر) در هکتار مصرف گردید. ۵۰ درصد نیتروژن خالص با توجه به‌میزان تعیین‌شده در تیمارها در زمان کاشت و ۵۰ درصد بقیه به‌صورت سرک در زمان شروع غلاف‌دهی نخود زراعی مصرف شد.

برای تعیین وزن خشک بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته، وزن دانه در بوته، وزن هزار دانه و شاخص برداشت نخود زراعی و وزن و ارتفاع کاهو از هر کرت پنج بوته به تصادف انتخاب و اندازه‌گیری شدند. زمان برداشت کاهو ۱۷ اردیبهشت ماه و نخود زراعی نهم خرداد ماه ۱۳۹۷ بود. برای تعیین وزن کاهو، برگ‌های پیر و نامرغوب که دارای لکه‌های قهوه‌رنگ بود و باعث کاهش بازارپسندی می‌شد، حذف گردید. برای تعیین وزن نخود زراعی، دانه خشک برداشت شد. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۴) انجام و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) [1] در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نیتروژن بر وزن خشک بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه و وزن دانه در بوته در سطح یک درصد و بر شاخص برداشت در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. اثر الگوی کاشت بر وزن خشک بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، وزن دانه در بوته و شاخص برداشت در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

وزن خشک نخود زراعی

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین وزن خشک نخود زراعی با ۲۹/۰۹ گرم متعلق به تیمار کشت مخلوط جایگزین ۳۳ درصد نخود زراعی + ۶۷ درصد کاهو بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار کشت مخلوط جایگزین ۵۰ درصد نخود زراعی + ۵۰ درصد کاهو نداشت. کم‌ترین وزن خشک نخود زراعی به تیمار ۱۰۰ درصد نخود

1 - Least Significant Difference

زراعی +۱۰۰ درصد کاهو بـا ۱۵/۹۱ گـرم تعلـق داشـت کـه تفـاوت معنی‌داری با تیمارهای کشت مخلوط افزایش ۶۷ و ۵۰ درصد کاهو به نخود زراعی نداشت (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگوی کاشت با کاهو و نیتروژن بر صفات مورد بررسی نخود زراعی

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of effect of planting pattern with lettuce and nitrogen on studied traits of chickpea

ویژگی‌ها Traits / منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات: وزن خشک Dry weight	تعداد غلاف در بوته Pod per plant	تعداد دانه در غلاف Seed per pod	تعداد دانه در بوته Seed per plant	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000-seed Weight	وزن دانه در بوته Seed weight per plant	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	5.007	9.038	0.002	1.565	231.8	0.226	14.79
نیتروژن Nitrogen (N)	2	52.86**	13.1**	0.009	206.6**	1681**	35.17**	176.7*
نسبت‌های کاشت مخلوط Intercropping ratios	7	218.3**	442.0**	0.017	542.8**	1341**	83.36**	160.3**
الگوی کاشت × نیتروژن (N × PP)	14	0.75	3.744	0.005	7.146	46.17	0.755	21.02
خطای آزمایش Error	46	7.468	7.533	0.008	19.17	337.9	2.866	37.32
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	12.32	9.98	9.19	15.84	5.37	17.71	14.39

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

*** and **: Significant at 5 and 1% probability levels, respectively**

در تیمارهای کشت مخلوط جـایگزین، بـا افـزایش نسـبت نخـود زراعی وزن بوته کاهش یافت. این امر را می‌تـوان بـه رشـد بـیش‌تـر گیاهان با توجه به فضای بیش‌تری که در اختیـار داشـتند نسـبت داد، زیرا کاهو گیاهی است که مسـتقیم رشـد مـی‌کنـد. بنـابراین، فضـای بیش‌تری در اختیار گیاه همـراه قـرار مـی‌دهـد. در تیمارهـای کشـت مخلوط افزایشی وزن بوته بسیار کم بود، زیرا در این تیمارها تراکم در واحد سطح و در نتیجه، رقابت بین بوته‌ها بیشتر بود. با افزایش تراکم، وزن خشک بوته نخود زراعی کاهش بیش‌تری یافت، به‌طوری‌که وزن بوته در تیمار ۱۰۰ درصد نخود زراعی + ۱۰۰ درصد کاهو نسـبت بـه تیمار ۳۳ درصد نخود زراعی + ۶۷ درصد کاهو ۴۵/۳۱ درصد و نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نخود زراعـی + ۳۳ درصـد کـاهو ۲۳/۳۶ درصـد کاهش یافت. در بررسی کشت مخلوط باقلا و نعناع فلفلی، با افـزایش ردیف‌های باقلا و نعناع فلفلـی افـزایش وزن خشـک در واحـد سـطح مشاهده شد و دلیـل این امر را بـه اصـل تولیـد رقـابتی و مسـاعدتی نسـبت دادند (Amani Machiani et al., 2017).

با مصرف نیتروژن وزن خشک بوته نخود زراعی افـزایش یافـت. این افزایش، در تیمار مصرف ۵۰ کیلوگرم در هکتار ۸/۹۴ درصـد و در تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار ۱۴/۲۸ درصد نسـبت بـه تیمـار عدم مصرف نیتروژن بود (جدول ۴). حداکثر وزن خشک بوته به تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۲۳/۵۳ گرم تعلق داشت که با تیمار مصـرف ۵۰ کیلـوگرم در هکتـار تفـاوت معنـی‌داری نداشـت. افزایش نیتروژن باعث افزایش فتوسنتز و در نتیجه، رشد گیاه می‌شود. همچنین، نیتروژن باعث افزایش کارآیی جـذب آب و عناصـر غـذایی شده و مجموعه این عوامل باعث افزایش رشد و افزایش وزن خشـک بوتـه نخـود زراعـی مـی‌گـردد. نتـایج بررسـی کشـت مخلـوط کلـزا (*Brassica napus* L.) و نخـودفرنگی نشـان داد در همـه سـطوح نیتروژن، وزن خشک در دو گیاه کلزا و نخودفرنگی نسبت بـه کشـت خالص آن‌ها بیش‌تر بود (Baharlouie & Fallah., 2015).

جدول ۳- مقایسه میانگین وزن خشک بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، وزن دانه در بوته و شاخص برداشت نخود زراعی تحت تأثیر الگوی کاشت با کاهو

Table 3- Mean comparison of plant dry weight, number of pods per plant, number of seeds per plant, 1000-seed weight, seed weight per plant and harvest index of chickpea under planting pattern influence with lettuce

ویژگی‌ها Traits / نسبت‌های کاشت مخلوط Intercropping ratios	وزن خشک بوته Plant dry weight (g)	تعداد غلاف در بوته Pod per plant	تعداد دانه در بوته Seed per plant	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000-seed weight (g)	وزن دانه در بوته Seed weight per plant (g)	شاخص برداشت Harvest index (%)
C_{100}	22.7	28.01	26.15	341.7	8.972	39.16
$C_{67}L_{33}$	24.47	30.17	30.96	348.7	10.82	44.36
$C_{50}L_{50}$	28.43	36.54	35.77	356.7	12.77	44.63
$C_{33}L_{67}$	29.09	38.06	41.39	360.9	14.97	51.43
$C_{100}L_{33}$	20.76	21.51	24.34	335.6	8.187	39.41
$C_{100}L_{50}$	18.48	22.40	21.84	335	7.337	39.66
$C_{100}L_{67}$	17.47	21.17	21.50	332.2	7.182	41.07
$C_{100}L_{100}$	15.91	19.24	19.71	325.9	6.257	40.01
LSD value	2.59	2/6	4/15	17.44	1.61	5.8

C_{100}: کشت خالص نخود زراعی $C_{67}L_{33}$، $C_{50}L_{50}$ و C33L67: به‌ترتیب کشت مخلوط جایگزین ۳۳، ۵۰ و ۶۷ درصد کاهو به‌جای نخود زراعی، $C_{100}L_{33}$، $C_{100}L_{50}$، $C_{100}L_{67}$ و $C_{100}L_{100}$: به‌ترتیب کشت مخلوط افزایش ۳۳، ۵۰، ۶۷ و ۱۰۰ درصد کاهو به نخود زراعی

C_{100}: Sole crop chickpea, $C_{67}L_{33}$,$C_{50}L_{50}$ and C33L67: 33, 50 and 67% of letuce instead of chickpea, respectively, $C_{100}L_{33}$,$C_{100}L_{50}$, $C_{100}L_{67}$ and $C_{100}L_{100}$: 33, 50, 67% of letuce + 100% chickpea, respectively.

جدول ٤- مقایسه میانگین وزن خشک، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن ۱۰۰۰ دانه، وزن دانه در بوته و شاخص برداشت نخود زراعی تحت تأثیر سطوح نیتروژن

Table 4- Mean comparison of plant dry weight, number of pods per plant, number of seeds per plant, 1000-seed weight, seed weight per plant and harvest index of chickpea under nitrogen levels influence

ویژگی‌ها Traits / نیتروژن Nitrogen	وزن بوته Plant weigh (g)	تعداد غلاف در بوته Pod per plant	تعداد دانه در بوته Seed per plant	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000-seed weight (g)	وزن دانه در بوته Seed weight per plant (g)	شاخص برداشت Harvest Index (%)
0	20.59	25.04	24.65	333.9	8.337	39.92
50	22.43	27.71	27.75	342.1	9.589	42.15
100	23.53	29.79	30.52	350.7	10.76	45.32
LSD value	1.59	1.6	2.54	10.68	0.98	3.55

تعداد غلاف در بوته

کاهش نسبت نخود زراعی در کشت مخلوط جایگزین باعث افزایش تعداد غلاف در بوته شد. حداکثر تعداد غلاف در بوته مربوط به تیمار ۳۳ درصد نخود زراعی+ ۶۷ درصد کاهو بود (جدول ۳). این امر به‌علت افزایش تعداد شاخه‌های جانبی با توجه به در اختیار بودن فضای بیشتر برای هر بوته بود که منجر به افزایش تعداد اندام زایشی در گیاه شد. افزایش تعداد ردیف و در نتیجه، تراکم بوته در واحد سطح در تیمارهای افزایشی عامل اصلی کاهش تعداد غلاف در بوته نخود زراعی به‌علت رقابت بیش‌تر بین بوته‌ها بود. نتایج فوق با نتایج رفتاری و همکاران (Raftari et al., 2019) مطابقت دارد. در بررسی احمدوند و حاجی‌نیا (Ahmadvand & Hajinia 2015) تعداد غلاف در بوته سویا (*Glycine max* L.) در تیمار کشت مخلوط بیش از کشت خالص بود. تعداد غلاف در بوته، وزن غلاف، عملکرد غلاف در بوته، وزن ۱۰۰ دانه، شاخص برداشت و وزن تر بوته نخودفرنگی در تیمارهای کشت خالص نخودفرنگی و کشت مخلوط جایگزین با اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) بیش از تیمارهای کشت مخلوط افزایشی بود (Nakhzari Moghaddam et al., 2019).

با افزایش مصرف نیتروژن، تعداد غلاف در بوته افزایش یافت (جدول ۴). افزایش تعداد غلاف در تیمار مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار ۱۰/۶۶ درصد و در تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار ۱۸/۹۷ درصد بود. افزایش تعداد غلاف در بوته به‌واسطه تعداد بیشتر گل به‌دلیل بهبود فراهمی و کارآیی مصرف نیتروژن اتفاق افتاد. نتایج

حاصل از بررسی کشت مخلوط نخودفرنگی و کاهو نشان داد که با افزایش مصرف نیتروژن تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار (حداکثر مصرف تعداد غلاف در بوته نخودفرنگی هم افزایش یافت (Raftari et al., 2019).

تعداد دانه در بوته

افزایش رقابت بین بوته‌های نخود زراعی و کاهو در تیمارهای کشت مخلوط افزایشی که باعث کاهش تعداد غلاف در بوته شد، تعداد دانه در بوته را در این تیمارها کاهش داد (جدول ۳). بالا بودن تعداد غلاف در بوته در تیمارهای کشت مخلوط جایگزین به‌دلیل وجود فضا و عناصر غذایی بیشتر برای هر بوته و در نتیجه، رقابت کم‌تر بین بوته‌ها بود که باعث افزایش تعداد دانه در بوته در این تیمارها شد، به‌طوری‌که حداکثر تعداد دانه در بوته با ۴۱/۳۹ مربوط به تیمار کشت مخلوط جایگزین ۳۳ درصد نخود زراعی و ۶۷ درصد کاهو بود. با بررسی کشت مخلوط نخودفرنگی و کاهو نیز حداکثر تعداد دانه در بوته از تیمار کشت مخلوط جایگزین ۳۳ درصد نخودفرنگی و ۶۷ درصد کاهو به‌دست آمد (Raftari et al., 2017). بررسی کشت مخلوط سویا و ارزن (*Setaria miliaceum* L.) نشان داد که تعداد دانه در بوته سویادر همه الگوهای کشت مخلوط جایگزین سویا و ارزن معمولی بالاتر از کشت خالص بود (Ahmadvand & Hajinia., 2015).

مصرف کود نیتروژن تعداد دانه در بوته را افزایش داد. تعداد دانه در بوته به‌دلیل افزایش تعداد غلاف در بوته با افزایش مصرف نیتروژن، افزایش یافت (جدول ۴). حداکثر تعداد دانه در بوته به تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۳۰/۵۲ دانه تعلق داشت. کم‌ترین تعداد دانه در بوته مربوط به تیمار عدم مصرف نیتروژن بود. افزایش تعداد دانه در بوته به‌واسطه تلقیح بیش‌تر گل‌ها به‌دلیل وجود نیتروژن کافی بود.

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه گیاهان تا حدود بسیار زیادی تحت تأثیر ویژگی‌های ژنتیکی آن‌ها می‌باشد، امّا تحت تأثیر شرایط محیطی و کاشت نیز قرار می‌گیرد. با توجه به نتایج جدول ۳، حداکثر وزن هزار دانه به تیمار جایگزین ۳۳ درصد نخود زراعی + ۶۷ درصد کاهو تعلق داشت که با بقیه تیمارهای جایگزین از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نشان نداد، ولی با تیمارهای افزایشی اختلاف معنی‌داری نشان داد. کم‌ترین آن به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد نخود زراعی + ۱۰۰ درصد کاهو تعلق داشت. گزارش شده است که وزن هزار دانه نخود زراعی تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت، امّا وزن هزار دانه باقلا تحت تأثیر قرار نگرفت (Soleimanpur et al., 2015). در کشت مخلوط ذرت و سویا، بیش‌ترین وزن ۱۰۰ دانه از کشت خالص ذرت به‌دست آمد (Undie et al., 2012). وزن ۱۰۰ دانه و وزن تر بوته نخودفرنگی در تیمارهای کشت خالص نخودفرنگی و کشت مخلوط جایگزین با اسفناج، بیش از تیمارهای کشت مخلوط افزایشی بود (Nakhzari Moghaddam et al., 2019).

بیش‌ترین وزن هزار دانه متعلق به تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۳۵۰/۷ گرم بود که با تیمار مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با ۳۴۲/۱ گرم از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۴). در تیمار عدم مصرف نیتروژن دانه‌های ریزتری تولید شد. مصرف نیتروژن سبب بهبود ظرفیت فتوسنتزی در دوره قبل از گل‌دهی نخود زراعی می‌شود و در مرحله پس از گل‌دهی، با انتقال مجدد این مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن و همچنین فتوسنتز بیشتر در دوره زایشی، وزن هزار دانه را بهبود می‌یابد. نتایج حاصل از بررسی کشت مخلوط نخودفرنگی و کاهو نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین وزن ۱۰۰ دانه نخودفرنگی با ۵۴/۹۸ گرم و ۵۲/۰۴ گرم به‌ترتیب مربوط به تیمار مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (بیشترین مقدار) و عدم مصرف نیتروژن بود (Raftari et al., 2019).

وزن دانه در بوته

وزن دانه در بوته متأثر از تعداد دانه در بوته و وزن دانه است. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین وزن دانه در بوته با ۱۴/۹۷ متعلق به تیمار کشت مخلوط جایگزین ۳۳ درصد نخود زراعی + ۶۷ درصد کاهو بود (جدول ۳). به نظر می‌رسد کاهش رقابت برون‌گونه‌ای به‌دلیل برداشت زودتر کاهو فضای بیش‌تری در اختیار گیاه قرار داد و مواد فتوسنتزی بیش‌تری تولید گردید. در این تیمار، تعداد دانه در بوته و وزن دانه بیش از تیمارهای دیگر بود. کم‌ترین وزن دانه در بوته به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد نخود زراعی + ۱۰۰ درصد کاهو با ۶/۲۵۷ تعلق داشت. تعداد دانه در بوته و وزن دانه در این تیمار کم‌تر از تیمارهای دیگر بود. در پژوهشی که روی ذرت شیرین و بادمجان انجام شد، بیش‌ترین وزن دانه در بوته از

تیمار جایگزین ۵۰:۵۰ به‌دست آمد. وزن دانه در بوته ذرت شیرین در تیمارهای کشت مخلوط بیش از کشت خالص بود (Asadi et al., 2016a). بررسی کشت مخلوط نخود و گندم نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه نخود به تیمار کشت خالص نخود با ۹۹۷/۲ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین عملکرد دانه آن به تیمار ۱۰۰ درصد نخود + ۱۰۰ درصد گندم با ۲۹۸/۲ کیلوگرم در هکتار تعلق داشت (Javanmard et al., 2016). در کشت مخلوط آفتابگردان و ذرت به‌روش جایگزینی بیش‌ترین وزن دانه از کشت مخلوط جایگزین ۶۶ درصد آفتابگردان و ۳۴ درصد ذرت به‌دست آمد (Nasrollahzadeh Asl & Talebi, 2016).

وزن دانه در بوته با افزایش مصرف نیتروژن افزایش یافت. بیش‌ترین وزن دانه در بوته مربوط به تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود که با تیمار مصرف ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در این دو تیمار تعداد دانه و ورن دانه در بوته بیش‌تر بود. کم‌ترین وزن دانه در بوته متعلق به تیمار بدون مصرف نیتروژن بود. در این تیمار هر دو ویژگی حداقل مقدار را داشت (جدول ۴). در بررسی پهلوانلو و همکاران (Pahlavanlo et al., 2015) نیز مصرف کود نیتروژن باعث افزایش عملکرد دانه شد. در پژوهشی نشان داده شد که با افزایش مصرف نیتروژن تا ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد دانه گندم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Moradi Talawat & Siadat, 2013).

شاخص برداشت نخود زراعی

نتایج حاصل از بررسی شاخص برداشت نشان داد که بالاترین شاخص برداشت با ۵۱/۴۳ مربوط به تیمار کشت مخلوط جایگزین ۳۳ درصد نخود زراعی و ۶۷ درصد کاهو بود که اختلاف معنی‌داری با دیگر تیمارهای کشت مخلوط جایگزین، افزایشی و کشت خالص نخود زراعی داشت (جدول ۳). شاخص برداشت در کشت خالص نخود زراعی کم بود. کاهش درصد نخود زراعی در کشت مخلوط جایگزین و حذف زود کاهو (قبل از گل‌دهی نخود زراعی) شرایط را برای رشد بهتر نخود زراعی فراهم و باعث افزایش شاخص برداشت گردید. تراکم پایین در تیمارهای جایگزین باعث کاهش رقابت بین بوته‌ها و افزایش تشکیل اجزای زایشی شد و به این ترتیب شاخص برداشت هم افزایش یافت. در کشت مخلوط زنیان (*Carum copicum* L.) و لوبیا پایین‌ترین و بالاترین شاخص برداشت به‌ترتیب از تیمار کشت مخلوط افزایشی ۵۰ درصد زنیان + ۱۰۰ درصد لوبیا و کشت مخلوط جایگزین ۷۵ درصد زنیان + ۲۵ درصد لوبیا با ۳۹/۲ و ۵۶/۵ به‌دست آمد (Khorramdel et al., 2016).

با مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۴) مشخص شد که شاخص برداشت با افزایش مصرف نیتروژن افزایش یافت، به‌طوری‌که بیش‌ترین شاخص برداشت متعلق به تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (با ۴۵/۳۲ درصد) و کم‌ترین شاخص برداشت (با ۳۹/۹۲ درصد) متعلق به عدم مصرف نیتروژن بود. افزایش شاخص برداشت به افزایش فراهمی نیتروژن نسبت داده می‌شود، زیرا نیتروژن باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی و در نتیجه، بهبود عملکرد و شاخص برداشت می‌گردد (Baharlouie & Fallah, 2015).

ارتفاع بوته کاهو

بررسی نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ارتفاع بوته کاهو تحت تأثیر نیتروژن مصرفی و الگوی کاشت نشان داد که اثر نیتروژن بر این صفت در سطح یک و تأثیر الگوی کاشت در سطح پنج درصد معنی‌دار شد.

با افزایش مصرف نیتروژن ارتفاع بوته کاهو هم افزایش یافت. حداکثر ارتفاع کاهو با ۳۱/۳۸ سانتی‌متر مربوط به تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. حداقل ارتفاع بوته کاهو با ۲۹/۶۸ سانتی‌متر به تیمار عدم کاربرد کود نیتروژن تعلق داشت. کیانی و همکاران (Kiani et al., 2015) نشان دادند که ارتفاع ساقه بوته جو (*Hordeum vulgare* L.) با افزایش مصرف نیتروژن افزایش یافت. با مصرف ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار بیش‌ترین ارتفاع به‌میزان ۸۷/۲ سانتی‌متر مشاهده شد.

با بررسی اثر الگوی کاشت بر ارتفاع بوته کاهو مشخص شد که ارتفاع بوته در تیمار کشت مخلوط افزایش ۱۰۰ درصد کاهو به نخود زراعی با ۳۱/۱۸ سانتی‌متر بیش از تیمارهای دیگر بود. این تیمار با تیمارهای دیگر کشت مخلوط افزایشی و تیمار کشت مخلوط جایگزین ۵۰ درصد نخود زراعی و ۵۰ درصد کاهو تفاوت معنی‌داری نشان نداد. کم‌ترین ارتفاع کاهو با ۳۰ سانتی‌متر متعلق به تیمار ۶۷ درصد نخود زراعی + ۳۳ درصد کاهو بود که با پنج تیمار دیگر تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۶).

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگوی کاشت و نیتروژن بر ارتفاع و وزن بوته کاهو

Table 5- Analysis of variance (mean of squares) of effect of planting pattern and nitrogen on the height and weight of lettuce

تیمار Treatment / ویژگی‌ها Traits	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات: ارتفاع بوته کاهو Lettuce plant length	میانگین مربعات: وزن بوته کاهو Lettuce weight per plant
تکرار Replication	2	2.162	3639
نیتروژن Nitrogen (N)	2	17.42**	5855*
نسبت‌های کاشت مخلوط Intercropping ratios (IP)	7	1.774*	29293**
نسبت کاشت × نیتروژن IP × N	14	0.449	34.4
خطای آزمایش Error	46	0.785	1396
ضریب تغییرات CV (%)	-	2.9	11.16

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

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر نیتروژن بر ارتفاع و وزن بوته کاهو

Table 6- Mean comparison of effect of nitrogen on height and weight of lettuce

نیتروژن Nitrogen / ویژگی‌ها Traits	ارتفاع بوته کاهو Lettuce length (cm)	وزن بوته کاهو Lettuce weight per plant (g)
0	29.68	315.1
50	30.63	333.7
100	31.38	346.1
LSD value	0.52	21.5

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر الگوی کاشت بر ارتفاع و وزن بوته کاهو

Table 7- Mean comparison of effect of planting pattern on length and weight of lettuce

نسبت‌های کاشت Intercropping ratio / ویژگی‌ها Traits	ارتفاع بوته کاهو Lettuce height (cm)	وزن بوته کاهو Lettuce weight per plant (g)
L_{100}	30.13	346.6
$C_{67}L_{33}$	30.00	379.6
$C_{50}L_{50}$	30.36	392.4
$C_{33}L_{67}$	30.31	408.4
$C_{100}L_{33}$	30.60	299.6
$C_{100}L_{50}$	31.13	284.5
$C_{100}L_{67}$	30.82	276.5
$C_{100}L_{100}$	31.18	265.3
LSD value	0.84	35.11

L_{100}: Sole crop of letuce, $C_{67}L_{33}$,$C_{50}L_{50}$ and C33L67: 33, 50 and 67% of letuce instead of chickpea, respectively, $C_{100}L_{33}$ ، $C_{100}L_{50}$ ،$C_{100}L_{67}$ and $C_{100}L_{100}$: 33, 50, 67% of letuce + 100% chickpea, respectively.

دلیل افزایش ارتفاع بوته کاهو در تیمارهای افزایشی، کاهش فضا و افزایش رقابت بین بوته‌های کاهو و نخود زراعی برای به‌دست آوردن نور بود. نتایج حاصل از بررسی کشت مخلوط باقلا و نعناع فلفلی نیز نشان داد که ارتفاع بوته نعناع فلفلی تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت و چین قرار گرفت. بیش‌ترین ارتفاع بوته نعناع فلفلی در نسبت ۲:۳ و ۳:۲ بدون تفاوت معنی‌دار با تیمارهای ۱:۱، ۱:۲، ۱:۳ و ۳:۱ (ردیف باقلا : ردیف نعناع فلفلی) مشاهده شد (Amani Machiani et al., 2017). نتایج تحقیقی دیگر نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع جو از کشت مخلوط و کم‌ترین ارتفاع از کشت خالص جو به‌دست آمد (Mahdavi Marj et al., 2015).

وزن بوته کاهو

اثر نیتروژن بر وزن بوته کاهو در سطح پنج درصد و الگوی کاشت در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵).

با افزایش مصرف نیتروژن وزن بوته کاهو هم افزایش یافت. حداقل وزن بوته کاهو با ۳۱۵/۱ گرم به تیمار عدم مصرف کود نیتروژن مربوط بود. وزن بوته کاهو در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار ۳۴۶/۱ گرم بود که نسبت به تیمار عدم مصرف کود نیتروژن ۹/۸۴ درصد افزایش نشان داد (جدول ۷). با توجه به برداشت زود کاهو (فروردین)، در طول دوره رشد شرایط ازجمله رطوبت (بارندگی) و درجه حرارت مناسب بود، لذا تفاوت کمی بین تیمارها از نظر این صفت مشاهده شد. این نتیجه از بررسی رفتاری و همکاران (Raftari et al., 2019) نیز حاصل شده است.

بیش‌ترین وزن بوته کاهو مربوط به تیمارهای کشت مخلوط جایگزین و کم‌ترین وزن بوته کاهو مربوط به تیمارهای کشت مخلوط افزایشی بود (جدول ۶). در تیمارهای کشت مخلوط جایگزین با توجه به کاهش رقابت درون‌گونه‌ای و برون‌گونه‌ای، بوته‌های کاهو از فضای موجود و همچنین مواد غذایی بیش‌تر استفاده کردند، لذا وزن بوته‌ها افزایش یافت. در بررسی رفتاری و همکاران (Raftari et al., 2019) نیز افزایش تراکم در تیمارهای کشت مخلوط افزایشی باعث کاهش وزن بوته‌های کاهو شد.

نتیجه‌گیری

از بین دو گیاه نخود زراعی و کاهو، وزن بوته کاهو بیش‌تر بود. وزن بیش‌تر کاهو را می‌توان به ویژگی ژنتیکی گیاه و بخش برداشت شده نسبت داد. مصرف نیتروژن باعث افزایش وزن و ارتفاع کاهو و همچنین کلیه صفات مورد بررسی نخود زراعی به‌جز تعداد دانه در غلاف شد. وزن دانه و اجزای عملکرد نخود زراعی با افزایش تراکم به‌خصوص در تیمارهای کشت مخلوط افزایشی به‌دلیل رقابت بیشتر بین بوته‌ها کاهش نشان داد. افزایش تراکم وزن بوته کاهو را نیز کاهش داد. در این تیمارها تراکم بالا بود، لذا کاهش اجزای عملکرد و در نتیجه، عملکرد بوته نخود و همچنین وزن بوته کاهو مانع تولید بالا نشد، بلکه در مجموع، کشت مخلوط مفید هم بود. با توجه به کاهش کمتر عملکرد نخود زراعی و وزن کاهو در تیمارهای افزایشی نسبت به افزایش تراکم، به‌نظر می‌رسد در مجموع، افزودن کاهو به نخود زراعی از نظر تولید و در نتیجه درآمد بیشتر برای زارع مفید باشد، لذا بهتر است کشت مخلوط افزایشی این دو گیاه مد نظر قرار گیرد.

References

Asadi, G.A., Ghorbani, A., Bicharanlou, B., and Bagheri Shirvan, M., 2016a. Influence of different ratios of intercropping on yield and yield components of sweet corn (*Zea mays var. saccharata*) and eggplant (*Solanum melongena* L.). Agricultural Science and Sustainable Production 26(2): 1-15. (In Persian with English Summary)

Asadi, G.A., Khurramdel, S., and Hatefi Farajian, M.H., 2016b. The effects of row intercropping ratios of chickpea and saffron on their quantitative characteristics and yield. Saffron Agronomy and Technology 4(2): 93-103. (In Persian with English Summary)

Ahmadvand, G., and Hajinia, S., 2015. Ecological aspects study of replacement intercropping patterns of soybean (*Glycine max* L.) and millet (*Panicum miliaceum* L.). Journal of Agroecology 7(4): 485-498. (In Persian with English Summary)

Amani-Machiani, M., Javanmard, A., and Shekari, F., 2017. The effect of intercropping patterns on peppermint (*Mentha*

piperita L.) dry biomass yield and essential oil content and faba bean (*Vicia faba* L.) seed yield. Journal of Crop Production and Processing 7(3): 79-97. (In Persian with English Summary)

Baharlouie, S., and Fallah, S.A., 2015. Optimization of use of nitrogen for growth and yield of canola and peas intercropping. Journal of Production and Processing of Agricultural and Garden Products 5(17): 31-41. (In Persian with English Summary)

Borghi, E., Crusciol, C.A.C., Nascente, A.S., Sousa, V.V., and Martins, P.O., 2013. Sorghum grain yield, forage biomass production and revenue as affected by intercropping time. European Journal of Agronomy 51: 130-139.

Ghale-Noyee, Sh., Koocheki, A., Naseri- Poor- Yazdi, M.T., and Jahan, M., 2017. Effect of different treatments of mixed and row intercropping on yield and yield components of sesame and bean. Iranian Journal of Field Crops Research 15(3): 588-602. (In Persian with English Summary)

Javanmard, A., Rostami, A., Nouraein, M., and Gharekhani, G., 2016. Agronomical, ecological and economical evaluation of wheat- chickpea intercropping under rainfed condition of Maragheh. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 26(1): 19-37. (In Persian with English Summary)

Khorramdel, S., Siahmargue, A., and Mahmoodi, G., 2016. Effect of replacement and additive intercropping series of ajowan with bean on yield and yield components. Electronic Journal of Crop Production 9(1): 1-24. (In Persian with English Summary)

Kiani, S., Moradi Telavat, M.R., Siadat, S.A., Abdali- Mashhadi, A.R., and Sari, M., 2015. Evaluation of quantitative and qualitative forage yield in barley and fennel intercropping at different nitrogen levels. Journal of Crops Improvement 16(4): 973-986. (In Persian with English Summary)

Lithourgidis, A.S., Dordas, C.A., Damalas, D.N., and Vlachostergios, D.N. 2011. Annual intercrops: An alternative pathway for sustainable agriculture. Australian Journal of Crop Science 5(4): 396-410.

Mahdavi Marj, T., Ghanbari, A., and Asgharipour, M.R., 2015. Intercropping of barley and ajwan under different levels of manure and chemical fertilizers. Journal of Applied Research in Plant Ecology 1(4): 63-78. (In Persian with English Summary)

Moradi Talawat, M.R., and Siadat, A.A., 2013. Growth and nitrogen use efficiency response of wheat and wild mustard to increased nitrogen levels. Journal of Crops Improvement 15(2): 111-124. (In Persian with English Summary)

Nakhzari Moghaddam, A., Salehi Sheikhi, M., Rahemi Karizi, A., and Mohammad Esmaili, M., 2019. The investigation of yield and seed protein of pea cultivars, total yield and LER in intercropping with spinach. Journal of Crops Improvement 21(4): 435-445. (In Persian with English Summary)

Najafi, S., and Keshtehgar, A., 2014. Effect of intercropping on increase yield. International Research. Journal of Applied and Basic Sciences 8(5): 549-552. (In Persian with English Summary)

Nasrollahzadeh-Asl, A., and Talebi, M., 2016. Evaluation of sunflower (*Heliantus annuus* L.) and corn (*Zea mays* L.) intercropping based on replacement method in Khoy region. Journal of Plant Ecophysiology 8(27): 204-215. (In Persian with English Summary)

Pahlavanlo, P., Rahimizadeh, M., and Tookaloo, M.R., 2015. Evaluation of nitrogen use efficiency in intercropping of maize and soybean. Journal of Crops Improvement 17(4): 967-987. (In Persian with English Summary)

Raftari, E., Nakhzari Moghaddam, A., Mollashahi, M., and Hosseini Moghaddam, H., 2019. The effect application of nitrogen level and intercraoping ratios of pea (*Pisum sativum*) and lettuce (*Lactuca sativa*). Iranian Journal of Pulses Research 10(1): 171-181. (In Persian with English Summary)

Soleimanpur, I., Naderi, R., Bijanzadeh, A., and Emam, Y., 2015. Response of faba bean and pea yield and yield

components to cereal-legume intercropping under weed competitions. Iranian Journal of Pulses Research 8(1): 150-163. (In Persian with English Summary)

Shokati, B., and Zehtab Salmasi, S., 2014. Effect of different intercropping patterns on yield and yield components of dill and ferugreek. Azarian Journal of Agriculture 1(1): 1-5.

Undie, U.L., Uwah, D.F., and Attoe, E.E., 2012. Effect of intercropping and crop arrangement on yield and productivity of late season maize/soybean mixtures in the humid environment of south southern Nigeria. Journal of Agricultural Science 4(4): 37-50.

Yang, F., Huang, S., Gao, R., Liu, W., Yong, T., Wang, X., Wu, X., and Yang, W., 2014. Growth of soybean seedling in relay strip intercropping systems in relation to light quantity and red: far- red ratio. Field Crops Research 155: 245-253.

Yang, C., Fan, Zh., and Chai, Q., 2018. Agronomic and economic benefits of pea/maize intercropping systems in relation to N fertilizer and maize density. Agronomy Journal 8(4): 52. 14 p.

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

Research Article
Vol. 14, No. 1, Spring 2022, p. 173-191

Use of Water Footprint and Virtual Water to Determine the Optimal Cropping Pattern; Case Study: Ghaenat and Zirkoh Counties

H.R. Aboutorabi[1], M. Ramroudi [2*], M.R. Asgharipour [3] and M.S. Ghazanfari Moghadam[4]

Received: 09-12-2020 Revised: 13-02-2021 Accepted: 16-02-2021 Available Online: 15-06-2022	**How to cite this article:** Aboutorabi, H.R., Ramroudi, M., Asgharipour, M.R., and Ghazanfari Moghadam, M.S., 2022. Use of water footprint and virtual water to determine the optimal cropping pattern; Case study: Ghaenat and Zirkoh counties. Journal of Agroecology 14(1):173-191. DOI:10.22067/agry.2021.67480.1002

Introduction

Management of water consumption in arid and semi-arid regions in recent years has been considered a key issue in the field of water resources management. Zirkoh and Ghaenat counties are the hot spots of water consumption in the region. Water footprint and virtual water are critical indicators for water resources management. Therefore, the development of the cropping pattern with high water requirements has led to a negative water balance in the Ghaenat and Zirkoh counties. To prevent the negative consequences of this crisis, it is necessary to consider the restriction of cropping pattern with high water requirements in the region, as well as the assessment of water footprint and virtual water of agricultural products. Also, one of the strategies for managing and optimizing the consumption of water resources in the region is to determine the appropriate cropping pattern with regard to the local conditions. Therefore, this study has been conducted with the aim of calculating the components of water footprint and virtual water in the cropping patterns of Zirkoh and Ghaenat counties and determining the optimal cropping pattern for planting crops from the perspective of water footprint.

Materials and Methods

In this study, the amount of virtual water and green, blue, gray, and white water footprint for wheat, barley, potato, sugar beet, cotton, alfalfa, and saffron were calculated in the current cropping pattern and at multi-objective nonlinear programming (MOP) approach with the objectives of maximizing net profit and minimizing virtual water, green, blue, gray and white water footprint as the optimal cropping pattern in Ghaenat and Zirkoh counties. The study area was irrigated areas of Zirkoh and Ghaenat counties in 2017.

Results and Discussion

The results showed that the indices of virtual water and water footprint components in Zirkoh county were higher than in Ghaenat county. Also, in two counties, the blue water footprint was more than the green water footprint, and the results showed that a large amount of water resources in this area is spent on the production of cotton. In all studied crops, blue water footprint was more than other components of water footprint, which shows the reliance on the surface and sub-surface water resources. The results also showed that the area under cultivation of potatoes, melons, and barley in the multi-objective pattern of Ghaenat and the area under cultivation of melons, sugar beets, potatoes, watermelons, alfalfa, and saffron increased compared to the current cropping pattern. Reduction of the area under cultivation of cotton, alfalfa, and watermelon in Ghaenat county and cotton, wheat, and barley in Zirkoh county by 50% in the multi-objective crop pattern were other important results. By determining the optimal cropping pattern, the environmental effects of the agricultural sector on

1- Ph.D. Candidate, Department of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.
2- Associate Professor, Department of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.
3- Professor, Department of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.
4- Assistant Professor of Energy Research Institute, Research Institute of Advanced Science and Technology and Environmental Sciences, Kerman University of Industrial and Advanced Technology, Kerman, Iran.
*Corresponding author: mramroudi42@uoz.ac.ir

water resources could be reduced so that the implementation of this pattern in the region reduced virtual water by 26%, blue water footprint by 4%, gray water footprint by 18% compared to the current cropping pattern.

Conclusion

According to the findings of this study, it is necessary to pay attention to the environmental objectives affecting water resources in optimizing cropping patterns. Using the proposed model, in addition to selecting the appropriate model and optimal use of water and land resources to increase profits and reduce water and virtual water footprint, about 13 million cubic meters of water could be saved compared to the current cropping pattern in the region. Therefore, by implementing the optimal cropping pattern, in addition to reducing the environmental effects, the net income could be maximized of water consumed per cubic meter in the region, and by reducing water consumption, we can help achieve sustainable consumption of limited water resources in the region.

Keywords: Bluewater footprint, Green water footprint, Nonlinear planning, Saffron, Water resources, White water footprint

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

مقاله پژوهشی

برآورد ردپای آب و آب مجازی برای تعیین الگوی کشت بهینه؛ مطالعه موردی: شهرستان‌های قائنات و زیرکوه

حمیدرضا ابوترابی[۱]، محمود رمرودی[۲]*، محمدرضا اصغری‌پور[۳] و محمد صادق غضنفری مقدم[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۱۹
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۸

ابوترابی، ح. ر.، رمرودی، م.، اصغری پور، م. ر.، و غضنفری مقدم، م. ص.، ۱۴۰۱. برآورد ردپای آب و آب مجازی برای تعیین الگوی کشت بهینه؛ مطالعه موردی: شهرستان‌های قائنات و زیرکوه. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۱): ۱۹۱-۱۷۳.

چکیده

برای اجتناب از پیامدهای منفی بیلان منفی آب در شهرستان‌های قائنات و زیرکوه، محدودیت کشت محصولات زراعی با نیاز آبی بالا ضروری است. در این پژوهش با استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی چندهدفه (MOP)، الگوی کاشت بهینه با هدف حداکثرسازی سودخالص و حداقل‌سازی آب مجازی، ردپاهای آب سبز، آبی، خاکستری و سفید محصولات زراعی منطقه قائنات و زیرکوه پیشنهاد شده است. در تمامی محصولات مورد مطالعه، ردپای آب آبی بیش از سایر اجزای ردپای آب بود که نشان‌دهنده اتکای زراعت بر منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی است. در مدل MOP سطح زیر کشت سیب‌زمینی، خربزه و جو قائنات و سطح زیر کشت خربزه، چغندرقند، سیب‌زمینی، هندوانه، یونجه و زعفران زیرکوه نسبت به الگوی جاری افزایش یافت. کاهش سطح زیر کشت ۵۰ درصدی پنبه، یونجه، هندوانه قائنات و پنبه، گندم و جو زیرکوه در الگوی MOP از دیگر موارد مهم نتایج بود. با تعیین الگوی کشت بهینه می‌توان اثرات محیطی کشاورزی بر منابع آب را کاهش داد، به‌طوری‌که اجرای این الگو در منطقه کاهش ۲۶ درصدی آب مجازی، چهار درصدی ردپای آب آبی، ۱۸ درصدی ردپای آب خاکستری به‌میزان ۳۶۸۷۷۹ تن در هکتار نسبت به وضع موجود را نتیجه داد. با توجه به یافته‌های این مطالعه توجه به اهداف محیطی مؤثر بر منابع آب در بهینه‌سازی الگوی کشت ضروری است. با استفاده از مدل پیشنهادی می‌توان علاوه‌بر انتخاب الگوی مناسب و استفاده بهینه از منابع آب و زمین، در حدود ۱۳ میلیون‌مترمکعب آب را نسبت به الگوی جاری در منطقه ذخیره کرد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی غیرخطی، ردپای آب آبی، ردپای آب سبز، ردپای آب سفید، زعفران، منابع آب

مقدمه

منابع آب در کنار سایر عوامل تولید، نقش تعیین‌کننده و روزافزونی در رشد اقتصادی کشورها دارد. وابستگی روزافزون به منابع آب، سرعت در روند رشد و توسعه را وابسته به سطح مصرف منابع آبی کرده است. کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آب در جهان به‌شمار می‌آید (Mekonnen et al., 2020)، طی دهه‌های اخیر رشد اقتصادی جهان و روند صنعتی شدن، موجب افزایش تقاضا برای منابع آب شده است (Vallino et al., 2020). منطقه قائنات و زیرکوه یکی از مهم‌ترین مناطق کشاورزی شرق کشور بوده که به‌دلیل آب و هوای مطلوب، اکوسیستمی مناسب برای کشت محصولات کشاورزی دارد. سطح زیر کشت محصولات زراعی آبی شهرستان‌های قائنات و

۱- دانشجوی دکتری آگرواکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۳-استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۴-استادیار پژوهشکده انرژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان، کرمان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email:mramroudi42@uoz.ac.ir)
DOI:10.22067/agry.2021.67480.1002

زیرکوه به‌ترتیب ۲۳۷۵۲ و ۱۰۱۱۴ هکتار، با تولید ۲۷۸۰۱ و ۱۹۴۷۲ تن می‌باشد. در این منطقه گندم، جو، پنبه، سیب زمینی، چغندرقند، خربزه، هندوانه، یونجه و زعفران در محصولات زراعی و پسته، زرشک و عناب در محصولات باغبانی بیشترین سطح زیر کشت را دارند (Agricultural Organization of South Khorasan, 2019).

در شهرستان‌های قائنات و زیرکوه برای استفاده در کشاورزی سالانه بیش از ۲۰۰ میلیون مترمکعب آب فقط از منابع زیرزمینی (چاه‌های عمیق) و حدود ۱۰۰ میلیون مترمکعب آب از منابع (قنوات، چشمه‌ها و چاه‌های نیمه‌عمیق) استحصال می‌شود، امّا مسأله نگران‌کننده، منابع زیرزمینی هستند که هر ساله با افت شدید مواجه بوده و علاوه بر کاهش دبی، کیفیت آب استحصالی نیز کاهش یافته و هدایت الکتریکی آب به‌سرعت روند افزایشی دارد (Agricultural Organization of South Khorasan, 2019). با این وجود، مطالعه انجام شده آشکار ساخته است که خطرات جدی زیست‌محیطی منطقه را تهدید می‌کند (Qasemipour et al., 2019). از جمله عوامل زیست محیطی می‌توان به افزایش سطح زیرکشت، تغییراقلیم، الگوی کشت نامناسب، پایین بودن راندمان آب و عملکرد محصول و افزایش جمعیت اشاره کرد. بنابراین، درصورتی که بشر بخواهد با چالش‌هایی که در آینده پیش روی او قرار دارد مقابله کند، باید سطح مصرف آب در بخش کشاورزی را تا سطح پایدار کاهش دهد (Jones et al., 2016).

ضرورت استفاده و تخصیص بهینه منابع آب و مطالعه دقیق‌تر نقش عوامل تأثیرگذار در مقدار کمّی و کیفی آن امری بدیهی است. در این میان استفاده از شاخص‌ها و معیارهای جدید، مسیر حرکت در جهت برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه و پایدار منابع آب را هموارتر می‌سازد. در سال‌های اخیر چارچوب جدیدی که امکان تحلیل ارتباط بین مصارف و تخصیص منابع آب شیرین را فراهم می‌سازد تحت عنوان ردپای آب پیشنهاد شده است (Zhuo et al., 2016).

ردپای آب[1]، شاخصی برای نشان دادن حجمی از آب است که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم برای تولید کالا مصرف می‌شود. ردپای آب آبی، به حجم آبی که در تولید محصول مورد استفاده قرار می‌گیرد (نیاز خالص) اشاره دارد. ردپای آب سبز، به سهم آب حاصل از بارندگی (مؤثر) مرتبط است. ردپای آب خاکستری، به حجم آب شیرین اطلاق می‌شود که برای رقیق‌سازی کودها و سموم استفاده شده در فرآیند تولید محصول، مورد نیاز است. مفهوم ردپای آب سفید مفهوم جدیدی است که میزان تلفات آب آبیاری در تولید محصول را مشخص می‌سازد (Xinchun et al., 2017; Bazrafshan et al., 2019).

با توجه به اهداف اقتصادی و کاهش اثرات محیطی مصرف بیش از حد آب و همچنین در نظر گرفتن محدودیت‌های عوامل تولید از جمله آب و زمین، اصلاح الگوی کشت از راهکارهای مناسب برای کاهش مصرف آب و افزایش سود در بخش کشاورزی است. الگوی کشت عبارت است از تعیین یک نظام کشاورزی دارای مزیت اقتصادی پایدار مبتنی بر سیاست‌های کلان کشور، دانش بومی کشاورزان و بهره‌گیری بهینه از پتانسیل‌های منطقه‌ای با رعایت اصول اکوفیزیولوژیک تولید محصولات کشاورزی در راستای حفظ محیط زیست (Dury et al., 2013). با توجه به تعریف فوق، تأمین اهداف مختلف با توجه به محدودیت‌ها و ظرفیت‌های تولید در الگوی کشت هر منطقه، مشخص می‌کند که هدف در انتخاب فعالیت‌های زراعی معمولاً به یک موضوع خاص ختم نشده و تصمیم‌گیر باید بین نتایج خروجی حاصل از تصمیم که در تضاد و تقابل همدیگر هستند، تعادل برقرار کند (Zhang et al., 2020Li et al., 2020 ;). بنابراین، تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی در شرایطی که چند هدف ویژه و گاهاً متضاد پیش روی مدیران واحدهای مختلف قرار می‌گیرد، کار ساده‌ای نیست و نیازمند روش‌هایی است که بتواند براساس مجموعه‌ای از اطلاعات و اهداف متفاوت در پیش روی مدیران واحدهای کشاورزی، آن‌ها را در جهت اتخاذ یک تصمیم منطقی راهنمایی کند (Ren et al., 2017). در این راستا، استفاده از رهیافت‌های برنامه‌ریزی ریاضی از جمله برنامه‌ریزی چندهدفه[2] (MOP) برای ارائهٔ الگوی کشت بهینه از مزیت‌های قابل توجهی برخوردار است (Xie Nie et al., 2019 ; et al., 2018; Zhang et al., 2020). مدل تصمیم‌گیری چندهدفه؛ بُرداری از متغیرهای تصمیم، توابع هدف و محدودیت‌ها را شامل می‌شود و هدف تصمیم‌گیر ماکزیمم کردن یا مینیمم کردن توابع هدف است. از آن جائی‌که این مسایل به‌ندرت راه‌حل منحصر به فرد دارند، تصمیم‌گیر جوابی را از میان مجموعه جواب‌های کارا انتخاب می‌کند (Afshar et al., 2020). در مطالعات بهینه‌سازی الگوی کشت، برای افزایش بهره‌وری از طریق تأمین حداکثر بازده ناخالص (Paramjita et al., 2018)، حداقل‌سازی مصرف آب آبیاری (Ren et al., 2020 ;

1- Water Footprint

2- Multi-Objective Programing

حداقل‌سازی ردپای آب آبی (Li et al., 2020؛ Nouri et al., 2010) از MOP استفاده شده است.

در هر حال سخن اصلی این است که راه حل عبور از بحران باید راه حلی جامع‌نگر، هم از نظر حفظ منابع آب و هم از نظر تأمین منابع اقتصادی و ثبات اجتماعی باشد. با توجه به این مبانی، تحقیق حاضر با استفاده از اصول ردپای آب و آب مجازی طرح گردید تا بتوان زوایای پنهان مشکلات موجود در بهره‌برداری و مدیریت کلان سیستم آب و مدیریت منابع آب در منطقه را آشکار نمود و با تعیین الگوی کشت بهینه توسط برنامه‌ریزی چندهدفه راه‌حل مناسبی را جهت افزایش پایداری در منطقه جستجو کرد.

مواد و روش‌ها

موقعیت و شرایط منطقه موردمطالعه

این مطالعه به‌منظور بهینه‌سازی الگوی کشت در راستای افزایش سود خالص و ردپای آب سبز و کاهش آب مجازی، ردپای آب آبی، ردپای آب سفید و خاکستری با استفاده از MOP در سطح شهرستان‌های قائنات و زیرکوه اجرا شد (شکل ۱). این منطقه در حد فاصل ۳۳ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۸ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۵۶ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. اقلیم حاکم بر این منطقه در تمام طبقه‌بندی‌های اقلیمی سردسیر است (Meteorology of South Khorasan Province, 2020). میانگین دمای سالانه در طول سال ۱۴ درجه سانتی‌گراد است. حداکثر و حداقل مطلق به‌ترتیب ۴۲ و ۲۸- درجه سانتی گراد بوده است. حداکثر متوسط رطوبت نسبی در بهمن ماه با ۶۵ درصد و حداقل آن در ماه تیرماه ۳۵ درصد است. متوسط بارش سالیانه قاینات ۱۸۰ میلی‌متر بوده و پرباران‌ترین شهرستان استان خراسان‌جنوبی می‌باشد. تحقیق حاضر از لحاظ میزان و درجه کنترل، غیرآزمایشی و توصیفی، همچنین ازنظر نحوه گردآوری داده‌ها؛ میدانی و درنهایت، به لحاظ قابلیت تعمیم‌یافته‌ها، از نوع پیمایشی محسوب می‌شود. جامعه آماری تحقیق حاضر شامل زارعین خواهد بود. به‌منظور تعیین حجم نمونه از فرمول کوکران استفاده شد. فرمول اصلی محاسبه حجم نمونه کوکران نیز به‌صورت معادله ۱ است (Woolson et al., 1986).

$$n = \frac{\frac{z^2 pq}{d^2}}{1 + \frac{1}{N}\left(\frac{z^2 pq}{d^2} - 1\right)}$$ معادله (۱)

که در این فرمول، N: حجم جامعه آماری، n: حجم نمونه، Z: مقدار متغیر نرمال واحد استاندارد (در سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر ۱/۹۶)، P: مقدار نسبت صفت موجود در جامعه (در صورت در اختیار نبودن می‌توان آن را ۰/۵ در نظر گرفت که در این حالت مقدار واریانس به حداکثر مقدار خود می‌رسد)، q: درصد افرادی که فاقد آن صفت در جامعه هستند (q=1-P) و d: مقدار اشتباه مجاز پنج درصد می‌باشند.

محاسبه شاخص‌های آب مجازی

آب مجازی[1] مقدار آبی است که یک فرآورده کشاورزی از ابتدایی‌ترین مرحله تولید مصرف می‌کند و از آن با عنوان‌هایی چون آب مجازی، آب تعبیه شده و یا آب بیرونی نیز یاد شده است. به‌منظور محاسبه آب مجازی و میزان بهروری آب کشاورزی از معادله‌های ۲ و ۳ استفاده شد (Fader et al., 2011):

$$SWDc = CWRc / Cyc$$ معادله (۲)

$$VW = 1 / SWD$$ معادله (۳)

که در آن، SWDc و CWRc: به‌ترتیب نیاز ویژه آب گیاه و نیاز خالص آبی (صرف نظر از بارش مؤثر)، Cyc: متوسط عملکرد محصول ($t.\ ha^{-1}$) و SWD: بهروری آب کشاورزی و VW: آب مجازی است.

برای برآورد نیاز خالص محصول (CWR) از نرم‌افزار استاندارد فائو (Cropwat) استفاده شد. برای این منظور اطلاعاتی شامل مشخصات مزارع منطقه از نظر موقعیت، نوع و عمق خاک، آمار سطح زیرکشت و میزان تولید هر محصول، روش‌های آبیاری مرسوم و بازده آبیاری (از طریق جهاد کشاورزی استان خراسان جنوبی)، طول فصل رشد، تاریخ کاشت و برداشت جمع‌آوری شد.

۲-۲- محاسبه شاخص‌های ردپای آب

ردپای آب آبی، سبز، خاکستری و سفید برای محصولات مختلف با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند (Bazrafshan et al., 2019 ;

1 -Virtual water

(Feng et al., 2020).

معادله (۴) $WF_{Green}= (Pe\times10)/Y$

معادله (۵) $WF_{Blue}= ((ETc - Pe)\times10)/Y$

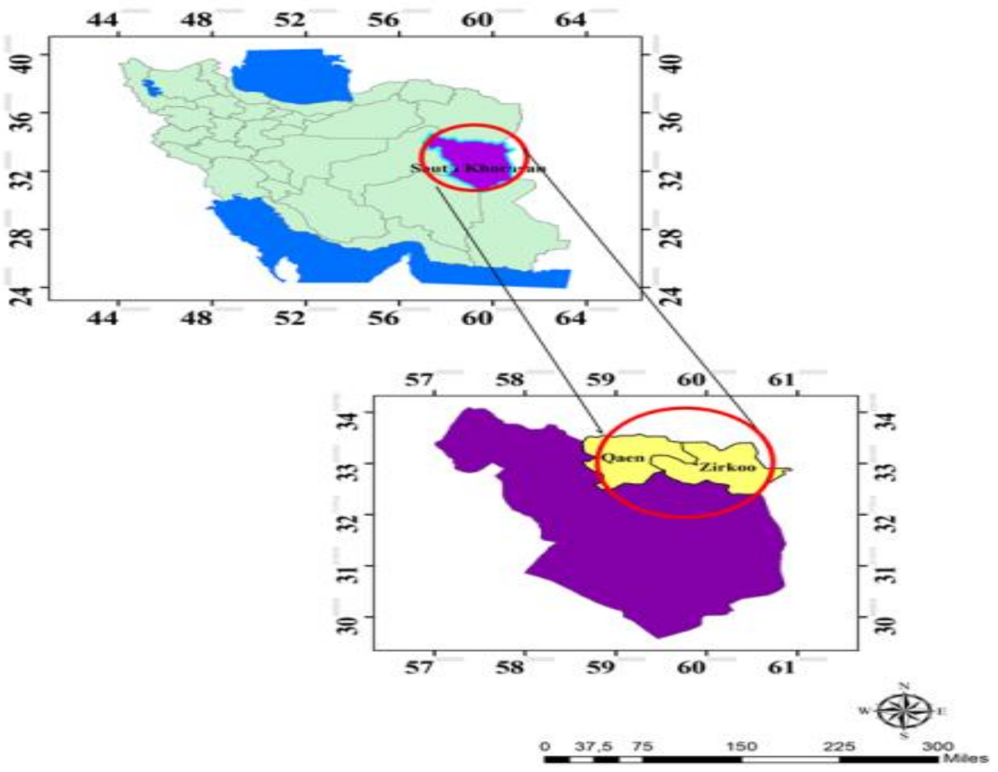
معادله (۶)

$$WF_{gray} = (\alpha \times NAR/C_{max} - C_{Nat}) \times (1/Y)$$

معادله (۷) $WF_{White} =10\times (Dt-(ETc-Pe))/Y$

در روابط فوق، WF_{Green}: ردپای آب سبز، WF_{Blue}: ردپای آب آبی، WF_{gray}: ردپای آب خاکستری و WF_{White}: ردپای آب سفید است و ردپای آب برحسب $m^3.ton^{-1}$ محصول تولیدی می‌باشد.

همچنین Pe: مجموعه بارندگی مؤثر در طول دوره رشد گیاه (mm)، ETc: تبخیر و تعرق گیاه (mm)، Y: عملکرد هر محصول ($ton.ha^{-1}$)، α: درصد تلفات کودی نیتروژن، NAR: نرخ مصرف کود برای هر گیاه ($kg.ha^{-1}$)، C_{max}: غلظت بحرانی نیتروژن ($Kg.m^{-3}$)، C_{Nat}: غلظت واقعی نیتروژن در منابع آب دریافت‌کننده ($Kg.m^{-3}$)، Dt: عمق آب آبیاری برای هر گیاه در طول فصل رشد (mm) و ۱۰ فاکتور تبدیل واحد از mm به $m^3.ha^{-1}$ می‌باشد. مقادیر Pe و ETc با استفاده از روش فائو و با به‌کارگیری مدل CROPWAT محاسبه شد (Rodriguez et al., 2015).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig. 1- Study location within Iran and South Khorasan province

برنامه‌ریزی چندهدفه (MOP)

در این مطالعه، سعی در ارائه الگوی کشتی برای افزایش سود کشاورزان توأم با کاهش اثرات زیست‌محیطی مصرف آب از راه اصلاح الگوی کشت محصولات زراعی شده است. این موضوع مستلزم توجه به اهداف متفاوت و گاهاً متضادی شامل حداکثرسازی سود خالص، ردپای آب سبز و بهره‌وری آب و حداقل‌سازی ردپای آب آبی، ردپای آب سفید و ردپای آب خاکستری است. واضح است که معیارهای اندازه‌گیری در اهداف مذکور کاملاً متفاوت است. به‌عنوان نمونه، هدف حداکثرسازی سود که با واحد پولی اندازه‌گیری شده متفاوت از هدف حداقل‌سازی ردپای آب با واحد $m3.ton^{-1}$ است. استفاده از روش‌های MOP مستلزم استفاده از روش‌های همگون-سازی است. در مطالعه حاضر، جهت متجانس کردن اهداف

برنامه‌ریزی غیرخطی فازی چندهدفه از الگوی جونز و بـارنز (Jones & Barnes, 2000) استفاده شده که شکل عمومی این الگو در روابط ۸ تا ۱۲ آمده است:

معادله (۸)

$$\max: \lambda = \left[\sum_{j=1}^{m} w_j \lambda_j^p\right]^{\frac{1}{p}}$$

معادله (۹)

$$S.t$$

معادله (۱۰)

$$\lambda_j\left(Z_j^{max} - Z_j^{min}\right) + Z_j(X^*) \le Z_j^{max} \quad \text{when } Z_j^{min} \text{ is best}$$

معادله (۱۱)

$$Z_j(X^*) - \lambda_j\left(Z_j^{max} - Z_j^{min}\right) \ge Z_j^{min} \quad \text{when } Z_j^{max} \text{ is best}$$

معادله (۱۲)

$$A_{hi}X_i \le b_h$$
$$X_i \le 0$$
$$0 \le \lambda \le 1$$
$$i = 1,2\,\dots,n \quad t = 1,2,3 \quad j = 1,2,\dots,4 \quad h = 1,2,\dots p$$

در معادله‌های بـالا، X_i: سـطح زیـر کشـت محصـول iام و λj: مسافت تا حـد آرمـانی هـدف jام اسـت. هـدف jام عبـارت اسـت از متغیرهای تصمیم الگو و باید مقادیر بهینه آن‌ها به‌دست آید.

معادله ۹ تابع الگو است و در آن λ جمع مـوزون آرمـانی اهـداف مورد نظر در این مطالعـه اسـت. در ایـن معادلـه، Wj: وزن هـدف، j: ($\sum_m w_j = 1,\ w_j \ge 0$) و P: عامل تعادلی اهداف است. ایـن عامل نوع درجه جانشینی بین اهداف را مشخص می‌کند. در حالـت P برابر ۱، بیشـترین درجـه جانشـینی و در حالـت P برابـر ۳، اهـداف از کمترین درجه جانشینی برخوردارند. معادله‌های ۲ و ۳ تـابع عضـویت اهداف یـاد شـده در الگـوی مطالعـه را مشـخص مـی‌کننـد. در ایـن معادله‌ها، Z_j^{min} و Z_j^{max}: به‌ترتیب حداقل و حداکثر هـدف jام، Zj (x*): مقدار بهینه هدف x* و اختلاف Z_j^{min} و Z_j^{max}: را به‌عنـوان حد تحمل تعریف می‌کنند. مجموعه معادله‌هـای ۱ تـا ۳ مشـروط بـر محدودیت‌های فنی معادله ۴ در نظر گرفته می‌شوند. در ایـن معادلـه، A_{hi}: ضریب فنی iامین محصول برای hامین محـدودیت (محـدویت تولیدی) و bh: موجودی hامین محدودیت در الگو است. محـدودیت-های الگو شامل محدودیت زمین، محدودیت آب و محـدودیت خـاص روش حـل مقیـد MOP شـامل محـدودیت سـطح بـازده برنامـه‌ای مشخص و میزان معین از مصرف آب است.

برای تشکیل توابع عضویت اهداف یـاد شـده، ابتـدا بایـد مقـادیر بهینه یا آرمانی برای هر یک از اهداف را تعیین نمود. منظور از مقـدار بهینه، حداکثر سود (Z_1)، ردپـای آب سـبز (Z_2)، حـداقل آب مجـازی (Z_3)، ردپای آب آبی (Z_4)، ردپـای آب خاکسـتری (Z_5) و ردپـای آب سفید (Z_6) است. این مقادیر در قالب یک الگـوی برنامـه‌ریـزی تـک هدفه مشروط بر محدودیت‌ها (معادله ۴) و توابع هدف تعیین گردیدند (جداول ۱ و ۲).

الف) محدودیت‌های مدل:

۱- مجموعه محدودیت مربوط به‌مقدار زمـین قابـل دسـترس: در این مجموعه محدودیت مقـدار کـل زمـین تخصـیص داده شـده بـه محصولات در شـرایط آبـی نبایـد از کـل زمـین قابـل کشـت بـرای محصولات برای هر شهرستان (در هـر منطقـه) و در هـر مـاه بیشـتر باشد.

معادله (۱۳)

$$\sum_{j=1}^{j} LandSch_{jm}^{d}\, Land_Cl_{Irrigated}V_j^d \le LandRHS\ Irrigated^{d2} \qquad \forall\, d,m$$

۲- مجموعه محدودیت مربوط به حداکثر و حداقل مقـدار زمـین: در این مجموعه محدودیت حداکثر و حداقل مقدار زمین جهت کشـت هر محصول در هر شهرستان ارائه شده است.

معادله (۱۴)

$$\sum_{j=1}^{j} Land_Cl_V_j^d \le Land_Cl_max_j^d \qquad \forall\, d,j$$

معادله (۱۵)

$$\sum_{j=1}^{j} Land_Cl_V_j^d \le Land_Cl_min_j^d \qquad \forall\, d,j$$

۳- مجموعه محدودیت مربوط به آب در منطقه: در این مجموعه محدودیت‌ها به موازنه سطوح متفاوت میزان مصـرف آب آبیـاری بـه تفکیک ماه، شهرستان، محصولات در الگوی کشت آبی و منـابع آبـی پرداخته شده است. در این میان توجه به عدم انحراف مـدل از مقـدار آب قابل دسترس برای منابع و ماه‌های مختلف مد نظر قـرار گرفتـه است.

معادله (۱۶)

$$Water_Cl_V_{jm}^{d} = \left(\frac{NetWaterReq_{jm}^{d}}{WaterEff_j^d}\right) Land_Cl_V_j^d \qquad \forall d,j,m$$

معادله (۱۷)

$$Water_Cl_V_{jm}^{d} \le WaterRHS_m^d \qquad \forall d,m$$

۴- مجموعـه مربـوط بـه عوامـل اقتصـادی: در ایـن مجموعـه

محدودیت سود خالص نباید از سود خالص شرایط کنونی محصولات اصلی کشاورزی منطقه کمتر شود.

معادله (۱۹)

$$NetBenefit_Cl_V_j^d \geq \sum_{d=1}^{d} NetBenifitCrrent^d \quad \forall\ d$$

۵- مجموعه مربوط به ردپای آب سبز: در این مجموعه محدودیت ردپای آب سبز نباید از ردپای آب سبز در شرایط کنونی محصولات اصلی کشاورزی منطقه کمتر شود.

معادله (۲۰)

$$WFGreen_Cl_V_j^d \geq \sum_{d=1}^{d} WFGreen_Crrent^d \ \forall\ d$$

۶- مجموعه مربوط به آب مجازی: در این مجموعه محدودیت آب مجازی نباید از آب مجازی در شرایط کنونی محصولات اصلی کشاورزی منطقه بیشتر شود.

معادله (۲۱)

$$VW_Cl_V_j^d \geq \sum_{d=1}^{d} SVW_Crrent^d \ \forall\ d$$

۷- مجموعه مربوط به ردپای آب آبی: در این مجموعه محدودیت ردپای آب آبی نباید از ردپای آب آبی در شرایط کنونی محصولات اصلی کشاورزی منطقه بیشتر شود.

معادله (۲۲)

$$WFblue_Cl_V_j^d \geq \sum_{d=1}^{d} WFblue_Crrent^d \ \forall\ d$$

۸- مجموعه مربوط به ردپای آب خاکستری: در این مجموعه محدودیت ردپای آب خاکستری نباید از ردپای آب خاکستری در شرایط کنونی محصولات اصلی کشاورزی منطقه بیشتر شود.

معادله (۲۳)

$$WFgray_Cl_V_j^d \leq \sum_{d=1}^{d} WFgray_Crrent^d \ \forall\ d$$

۹- مجموعه مربوط به ردپای آب سفید: در این مجموعه محدودیت ردپای آب سفید نباید از ردپای آب سفید در شرایط کنونی محصولات اصلی کشاورزی منطقه بیشتر شود.

معادله (۲۴)

$$WFwhite_Cl_V_j^d \leq \sum_{d=1}^{d} WFwhite_Crrent^d \ \forall\ d$$

ب) توابع هدف مدل تدوین الگوی کشت منطقه

اهداف متفاوتی از مدل کشت ارائه شده می‌توان متصور شد. به‌علت انعطاف در مدل و تقابل آن با افراد تصمیم‌گیر می‌توان اهداف متفاوت اقتصادی و محیط زیستی در مدل مورد نظر گنجانده شود، که در ادامه شرح داده شده است.

۱- حداکثرسازی سود خالص حاصل از فعالیت‌های کشاورزی برای کلیه مناطق تحت بررسی که به‌صورت زیر فرموله می‌شود:

معادله (۲۵)

$$Z_1: ObjectProfit_V = \sum_{d=1}^{d} NetBenefit_Cl_V_j^d$$

که در آن، $ObjectProfit_V$: متغیر تابع هدف و مربوط به سود خالص کل در الگو است.

۲- حداکثرسازی آب سبز کلیه مناطق تحت بررسی یکی از اهداف کاهش مصرف آب است.

معادله (۲۶)

$$Z_3: Object\ WFGreen_v = \sum_{d=1}^{d} \sum_{j=1}^{j} WFGreen_Cl_V_j^d$$

که در آن، Object WFGreen_v: متغیرتابع هدف و مربوط به ردپای آب سبز الگو است.

۳- حداقل‌سازی آب مجازی کلیه مناطق تحت بررسی یکی از اهداف کاهش مصرف آب است.

معادله (۲۷)

$$Z_5: ObjectVW_v = \sum_{d=1}^{d} \sum_{j=1}^{j} VW_Cl_V_j^d$$

که در آن، Object VW_v: متغیرتابع هدف و مربوط به آب مجازی الگو است.

۴- حداقل‌سازی ردپای آب آبی کلیه مناطق تحت بررسی یکی از اهداف کاهش مصرف آب است.

معادله (۲۸)

$$Z_4: ObjectWFblue_v = \sum_{d=1}^{d} \sum_{j=1}^{j} WFblue_Cl_V_j^d$$

که در آن، Object WFblue_v: متغیرتابع هدف و مربوط به ردپای آب آبی الگو است.

۵- حداقل‌سازی ردپای آب خاکستری کلیه مناطق تحت بررسی یکی از اهداف زیست محیطی است.

معادله (۲۹)

$$Z_5: Object\ WFgray_v = \sum_{d=1}^{d} \sum_{j=1}^{j} WFgray_Cl_V_j^d$$

که در آن، Object gray_v: متغیرتابع هدف و مربوط به ردپای آب خاکستری الگو است.

۶- حداقل‌سازی ردپای آب سفید کلیه مناطق تحت بررسی یکی از اهداف زیست محیطی است.

معادله (۳۰)

$$Z_5: Object\ WFwhite_v = \sum_{d=1}^{d} \sum_{j=1}^{j} WFwhite_Cl_V_j^d$$

که در آن، Object WFwhite_v: متغیرتابع هدف و مربوط

به ردپای آب سفید الگو است.

پس از مشخص شدن الگوی مورد استفاده برای بهینه‌سازی فعالیت‌ها در چارچوب تأمین آرمان‌های یاد شده، باید محدودیت‌ها و معیارهای تصمیم‌گیری برای رسیدن به اهداف مشخص در هر گزینه را مشخص کرد. وابسته به ترجیحات تصمیم‌گیر، وزن‌هایی بر حسب اهمیت اهداف رقیب به معیارهای تصمیم‌گیری داده می‌شود (Chakraborty et al., 2002). با فرض اینکه $n \in [1, N]$ مناطق (شهرستان‌ها) و $j \in [1, M]$ که j شماره معیار (هدف) مورد نیاز را مشخص می‌کند و همچنین Z_j^n مقداری است که معیار j برای بهربردار n اختیار می‌کند، آنگاه روش کار برای به‌دست آوردن تابع عضویت شاخص j را برای منطقه n در شرایطی که کمترین مقدار شاخص به‌عنوان حد آرمانی در نظر گرفته می‌شود (در اینجا، سود خالص و ردپای آب سبز و کاهش آب مجازی، ردپای آب آبی، ردپای آب سفید و ردپای آب خاکستری) را می‌توان به‌صورت زیر تعریف نمود (Berenger & Verdier-Chouchane, et al., 2019; Mardani Najafabadi, 2007; Marzban et al., 2020a,b):

معادله (۳۱)

$$\lambda_j(n) = \begin{cases} 1 & \text{if} \quad Z_j^n \le Z_j^{min}, \\ \dfrac{z_j^{max} - z_j^n}{z_j^{max} - x_j^{min}} & \text{if} \quad Z_j^{max} \le Z_j^n \le Z_j^{min}, \\ 0 & \text{if} \quad Z_j^n \ge Z_j^{min}, \end{cases}$$

که در آن، تابع $\lambda_j(n)$: درجه برخورداری nامین بهره‌بردار را نسبت به معیار j اندازه گیری می‌کند. به همین ترتیب، اگر بیشترین مقدار اهداف به‌عنوان حد آرمانی تعریف شود (در اینجا، بازده برنامه‌ای و اشتغال) تابع عضویت $\lambda_j(n)$ به‌صورت زیر تعریف خواهد شد:

معادله (۳۲)

$$\lambda_j(n) = \begin{cases} 1 & \text{if} \quad Z_j^n \le Z_j^{max}, \\ \dfrac{z_j^n - z_j^{min}}{z_j^{max} - z_j^{min}} & \text{if} \quad Z_j^{min} \le Z_j^n \le Z_j^{max}, \\ 0 & \text{if} \quad Z_j^n \ge Z_j^{min}, \end{cases}$$

توابع یاد شده توابعی افزایشی از درجه برخورداری الگو بوده و مقادیر بین صفر و یک اختیار می‌کنند. در مطالعه حاضر این توابع عضویت برای رتبه‌بندی اهداف مدنظر بهربرداران مطالعه جاری استفاده شد و با استفاده از روش میانگین وزنی هندسی برای توابع عضویت اهداف مناطق به‌صورت زیر تعیین گردید:

معادله (۳۳)

$$\lambda(i) = \sum_{i=1}^{M} W_j \lambda_j(i)$$

مقادیر وزن اهداف باید حداکثر و حداقل باشد و بر این اساس وزن اهداف به‌صورت زیر تعریف می‌گردد (Chiappero,1996):

معادله (۳۴)

$$W_j = \ln\left(\frac{1}{\lambda_j}\right) / \sum_{j=1}^{m} \ln\left(\frac{1}{\lambda_j}\right)$$

در معادله‌های فوق، W_j: تابعی معکوس از میانگین سطح اهداف نسبت به j است. تابع لگاریتمی نیز بیانگر آن است که اولویت هر الگوی بهینه تابعی غیرخطی از اهداف مورد استفاده است. به دلیلی غیرخطی بودن تابع مسافت مرکب آرمانی جاری، از روش برنامه‌ریزی غیرخطی برای حل آن استفاده شد. به این ترتیب، با توجه به فازی‌سازی اهداف مطالعه و تلاش تحقق یک آرمان کلی براساس حداکثر کردن مقدار تابع مسافت مرکب آرمانی آن‌ها، ساختار مدل تصمیم‌گیری به شکل یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی فازی چندهدفه که امکان مصالحه چند هدف را به‌طور توأم، مشروط بر محدودیت منابع فراهم می‌نماید طراحی شد. در نهایت، الگوریتم‌های ریاضی الگوی برنامه‌ریزی منطقه‌ای مورد استفاده در محیط بسته نرم‌افزاری GAMS LICENCE-24.3.7 توسعه داده شد (GAMS, 2010).

نتایج و بحث

میزان شاخص‌های ردپای آب، حسابداری آب و آب مجازی محصولات در الگوی کشت جاری منطقه

در الگوی کشت جاری منطقه، گندم و جو محصولات اصلی الگوی کشت منطقه مطالعاتی بوده و ۷۰ درصد سطح کشت منطقه را پوشش می‌دهند. محصولات پنبه، چغندرقند، خربزه، هندوانه، سیب-زمینی و زعفران نیز ۳۰ درصد سطح الگوی کشت منطقه مطالعه را تشکیل داده‌اند. جدول ۳ میزان ردپای آب، آب مجازی و بهره‌وری آب را در الگوی کشت جاری محصولات نشان داده است. نتایج نشان داد که شاخص‌های آب مجازی و اجزای ردپای آب در شهرستان قائنات نسبت به شهرستان زیرکوه کمتر بوده است. باید توجه داشت که مقدار آب مجازی مورد نیاز برای تولید محصول با توجه به شرایط اقلیمی، فرهنگی و مدیریتی در هر منطقه متفاوت است. این مسئله موجب می‌شود که مطالعات برآورد شاخص‌های مجازی در هر منطقه امری ضروری باشد (Golabi et al., 2020). بیشترین میزان آب مجازی در الگوی کشت جاری محصولات به‌ترتیب در مزارع پنبه، گندم، یونجه،

جو و زعفران مشاهده شد. مجموع حجم ردپای آب در تولیدات محصولات اصلی منطقه قائنات و زیرکوه به‌ترتیب ۳۶۸ و ۶۶ میلیون مترمکعب در سال برآورد شد. همچنین مجموع حجم ردپای آب آبی، خاکستری و سفید به قائنات و زیرکوه به‌ترتیب ۳۴۴ و ۵۶ میلیون مترمکعب در سال (در حدود ۹۳ و ۸۳ درصد از حجم ردپای آب) است (جدول ۳).

جدول ۱- فهرست نمادهای مورد استفاده در مدل برای تعریف مجموعه‌ها و متغیره

Table 1- List of symbols used in the model to define sets and variables

نوع Type	نماد Symbol	شرح Description
	$d \in \{1,2,\ldots,D\}$	سطح دوم تقسیمات سیاسی (شهرستان) Second level of political divisions (County)
مجموعه‌ها Sets	$j \in \{1,2,\ldots,j\}$	گروه اصلی محصولات The main group of products
	$m \in \{1,2,\ldots,m\}$	ماه‌های سال Months of the year
	$Land_Cl_{Irrigated}V_j^d$	مقدارزمین تخصیص داده شده به محصول j درشهرستان d به محصولات آبی The amount of land allocated to product j in the county d to irrigated products
	$Water_Cl_V_{jm}^d$	مقدار آب تخصیص داده شده به ماه m برای شهرستان d The amount of water allocated to the month m for the county d
	$NetBenefit_Cl_V_j^d$	سود خالص کل برای کشت محصول j برای شهرستان d Total net profit for crop production j for county d
	$SWD_Cl_V_j^d$	آب مجازی برای کشت محصول j برای شهرستان d Virtual water for crop cultivation j for county d
	$WFGreen_Cl_V_j^d$	ردپای آب سبز برای کشت محصول j برای شهرستان d Green water footprint for crop cultivation j for county d
	$WFBlue_Cl_V_j^d$	ردپای آب آبی برای کشت محصول j برای شهرستان d Water footprint for crop cultivation j for county d
	$WFGray_Cl_V_j^d$	ردپای آب خاکستری برای کشت محصول j برای شهرستان d Gray water footprint for crop cultivation j for the county d
	$WFwhite_Cl_V_j^d$	ردپای آب سفید برای کشت محصول j برای شهرستان d White water footprint for crop cultivation j for county d
	$ObjectProfit_v$	تابع هدف و مربوط به سود خالص کل در الگو Objective function and related to the total net profit in the template
متغیرها Variables	$SWD_Cl_V_j^d$	ردپای آب مجازی کل برای کشت محصول j برای شهرستان d Total virtual water footprint for crop cultivation j for county d
	$ObjectSWD_v$	تابع هدف و مربوط به آب مجازی Objective function related to virtual water
	$WFGreen_Cl_V_j^d$	ردپای آب سبز کل برای کشت محصول j برای شهرستان d Total green water footprint for crop cultivation j for county d
	$ObjectWFGreen_v$	تابع هدف و مربوط به آب سبز Target and green water function
	$WFBlue_Cl_V_j^d$	ردپای آب آبی کل برای کشت محصول j برای شهرستان d Total water footprint for crop cultivation j for county d
	$ObjectWFBlue_v$	تابع هدف و مربوط به ردپای آب آبی Objective function related to blue water footprint
	$WFGray_Cl_V_j^d$	ردپای آب خاکستری کل برای کشت محصول j برای شهرستان d Total gray water footprint for crop cultivation j for county d
	$ObjectWFGray_v$	تابع هدف و مربوط به ردپای آب خاکستری Objective function related to gray water footprint
	$WFwhite_Cl_V_j^d$	ردپای آب سفید کل برای کشت محصول j برای شهرستان d Total white water footprint for crop cultivation j for county d
	$ObjectWFwhite_v$	تابع هدف و مربوط به ردپای آب سفید Target function and related to white water footprint

جدول ۲- فهرست نمادهای مورد استفاده در مدل برای تعریف پارامترها
Table 2- List of symbols used in the model to define parameters

شرح **Description**	نماد **symbol**
سود خالص Net profit	NB
آب مجازی Virtual water	SWD
ردپای آب سبز Green water footprint	WF_{Green}
ردپای آب آبی Blue water footprint	WF_{Blue}
ردپای آب خاکستری Gray water footprints	WF_{Gray}
ردپای آب سفید White water footprint	WF_{White}
ضریب کاربری زمین برای محصول j، ماه m در شهرستان d Land use coefficient for crop j, month m in county d	$LandSch_{jm}^{d}$
مقدار زمین قابل کشت در شهرستان d محصولات آبی Amount of arable land in the county d Irrigated crops	$LandRHS\ Irrigated^{d}$
مقدار زمین قابل کشت در شهرستان d محصولات آبی و دیم Amount of arable land in the county d irrigated and rainfed crops	$LandRHS\ Rainfed^{d}$
حداکثر سطح زیر کشت هر محصول در منطقه Maximum area under cultivation of each crop in the area	$Land_Cl_max_{j}^{d}$
حداقل سطح زیر کشت هر محصول در منطقه Minimum area under cultivation of each crop in the area	$Land_Cl_min_{j}^{d}$
راندمان آبیاری محصول j در شهرستان d Irrigation efficiency of crop j in county d	$WaterEff_{j}^{d}$
مقدار آب خالص مورد نیاز برای کشت یک هکتار از محصول j برای شهرستانd The amount of pure water required to cultivate one hectare of crop j for county d	$NetWaterReq_{jm}^{d}$
مقدار آب قابل دسترس در ماه m برای شهرستان d The amount of water available per month m for the county d	$WaterRHS_{m}^{d}$
سود خالص شرایط کنونی برای کشت محصول j برای شهرستان d Net profit Current conditions for crop cultivation j for county d	$NetBenifitCrrent^{d}$
آب مجازی شرایط کنونی برای کشت محصول j برای شهرستانd Virtual water Current conditions for crop cultivation j for county d	SWD_Crrent^{d}
ردپای آب سبز شرایط کنونی برای کشت محصول j برای شهرستان d Green water footprint Current conditions for crop cultivation j for county d	$WFGreen_Crrent^{d}$
ردپای آب آبی شرایط کنونی برای کشت محصول j برای شهرستان d Trace of irrigated water Current conditions for crop cultivation j for county d	$WFBlue_Crrent^{d}$
ردپای آب خاکستری شرایط کنونی برای کشت محصول j برای شهرستان d Gray water footprint Current conditions for crop cultivation j for county d	$WFGray_Crrent^{d}$
ردپای آب سفید شرایط کنونی برای کشت محصول j برای شهرستان d White water footprint Current conditions for crop cultivation j for county d	$WFwhite_Crrent^{d}$

بیشترین میزان ردپای آب سبز در الگوی کشت جاری به‌ترتیب به محصولات زعفران، گندم و جو و بیشترین میزان ردپای آب آبی، خاکستری و سفید نیز به‌ترتیب در محصولات زعفران، پنبه، گندم و یونجه مشاهده شد. با توجه به اینکه بیشتر نیاز آبی محصولات در هر دو منطقه از طریق آب آبیاری تأمین می‌شود، ردپای آب آبی بیشتر از ردپای آب سبز بوده که نشان‌دهنده اتکای تولید محصول زراعی بر استفاده از منابع آبی سطحی و زیرزمینی است. لذا با توجه به خشکسالی‌های اخیر و کمبود منابع آبی باید از منابع آب به بهترین

نحو استفاده نمود و کشت محصولات با نیاز آبی کمتر و سـود بیشـتر مورد برنامه‌ریزی قرار گیرد (Mesgaran et al., 2019Sun et al., 2017 ;).

جدول ۳- میزان آب مجازی، ردپای آب و سود خالص در الگوی کشت جاری محصولات در منطقه قائنات و زیرکوه

Table 3- Amount of virtual water, water footprint and net benefit in the current irrigated cropping patterns

	سود خالص NB ($.ha⁻¹)	آب مجازی VW ($m^3.kg^{-1}$)	ردپای آب سبز WF_{Green} ($m^3.t^{-1}$)	ردپای آب آبی WF_{Blue} ($m^3.t^{-1}$)	ردپای آب خاکستری WF_{Grey} ($m^3.t^{-1}$)	ردپای آب سفید WF_{White} ($m^3.t^{-1}$)
قائنات Qaenat						
گندم Wheat	396	2530	364	1744	62	399
جو Barley	257	1465	302	629	42	950
پنبه Cotton	314	9040	160	6075	100	2075
سیب زمینی Potato	3392	585	10	393	3	126
چغندر قند Sugar beet	866	366	6	246	5	126
خربزه Melon	1184	382	18	245	3	45
هندوانه Watermelon	304	407	15	230	3	59
یونجه Alfalfa	984	2053	185	1230	29	1127
زعفران Saffron	3714	1040	253600	583058	200	3279125
زیرکوه Zirkoh						
گندم Wheat	180	3357	385	1930	57	170
جو Barley	178	1588	337	1093	37	881
پنبه Cotton	275	12209	178	8242	105	4409
سیب زمینی Potato	3045	766	10	528	3	261
چغندر قند Sugar beet	844	491	7	339	5	220
خربزه Melon	1946	480	25	330	3	64
هندوانه Watermelon	304	530	22	318	3	147
یونجه Alfalfa	1125	2576	212	1764	29	593
زعفران Saffron	3714	1456	278200	886796	210	498560

NB: سود خالص، VW : آب مجازی، WF_{Green}: ردپای آب سبز، WF_{Blue}: ردپای آب آبی، Wf_{grey}: ردپای آب خاکستری، WF_{White}: ردپای آب سفید

منبع: یافته‌های تحقیق

NB: net profit, VW: virtual water, WF_{Green}: green water footprint, WF_{Blue}: blue water footprint, WF_{Grey}: gray water footprint, WF_{White}: white water footprint

Source: Research findings

تعیین الگوی کشت مبتنی بر آب مجازی و اجزای ردپـای آب، راه حل مناسبی برای بحران آب بـه‌ویـژه در منـاطق دارای آب و هـوای خشک می‌باشد که کشاورزی آن‌ها بستگی به آب آبیاری دارد (Feng et al., 2020). بنابراین، به‌جای مصرف منـابع آب کمیـاب، در تولیـد محصولاتی که مصرف آب آن‌ها زیاد است، می‌تـوان محصـولاتی بـا مصرف آب پایین‌تر تولید کـرد و از فشـار بـیش از حـد بـر منـابع آب

خوداری نمود (Gao et al., 2020).

همچنین بیشترین سودخالص در منطقه در الگوی کشت جاری محصولات به‌ترتیب مربوط به زعفران، سیب‌زمینی، خربزه و یونجه بود (جدول ۳). به‌طور کلی، نتایج مطالعه الگوی کشت جاری در منطقه بیان‌گر این بود، محصولاتی که سود بالایی دارند میزان آب مجازی و ردپای آب قابل توجهی نیز دارند. به‌دلیل مصرف بالای منابع آب در بخش کشاورزی، نظام‌های کشاورزی باید به‌گونه‌ای بازطراحی شوند که در عین به‌کارگیری راهکارهای مناسب مدیریتی به‌منظور کاهش آب مجازی و اجزای ردپای آب آبی، سفید و خاکستری و افزایش استفاده ازردپای آب سبز سود بیشتری نیز عاید کشاورزان منطقه کنند (Nemecek et al., 2011; Nikkhah et al., 2019). با توجه به اینکه کشاورزی در منطقه قائنات و زیرکوه به‌شدت به آب آبیاری وابسته است، لذا به نظر می‌رسد کمبود منابع آب، علاوه‌بر کاهش روند توسعه کشاورزی در حال حاضر، باعث خسارات و زیان‌هایی نیز در آینده خواهد شد بنابراین، لازم است از هم‌اکنون با اتخاذ تدابیر اصولی و معقول، راهکارهایی را برای عبور از بحران‌های احتمالی آینده اندیشید. بهبود نظام‌های بهروری آب کشاورزی و راهکارهای راهبردی آب مجازی و ردپای آب در جهت مدیریت بهتر منابع آب، پیشنهاد می‌گردد. رویکرد جدید طراحی الگوی کشت منطقه نیز باید با لحاظ کردن آب مجازی و اجزای ردپای آب تعیین شود.

سطح زیر کشت پیشنهادی محصولات در الگوهای کشت با اهداف مختلف

میزان آب مجازی و اجزای ردپای آب محصولات در الگوهای کشت مختلف پیشنهادی به تفکیک محصول و اهداف مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده است. مجموع سطح زیرکشت الگوهای کشت محصولات در شهرستان‌های قائنات و زیرکوه در تمامی اهداف نسبت به الگوی جاری محصولات کمتر بود که دلیل آن محدودیت منابع آب و بالا بودن میزان آب مجازی، ردپای آب خاکستری و سفید در منطقه به‌ویژه در شهرستان زیرکوه است. در الگوی کشت MOP محصولات شهرستان قائنات، سطح زیرکشت سیب‌زمینی ۷۰، خربزه ۱۰ و جو ۴ درصد نسبت به الگوی جاری افزایش یافت (جدول ۴). همچنین ارزیابی الگوی MOP نسبت به الگوی جاری به شهرستان زیرکوه نشان داد سطح زیر کشت خربزه ۸۸ درصد، چغندر ۸۰، سیب‌زمینی و هندوانه ۳۳، یونجه ۵ درصد و زعفران ۳ درصد در الگوی MOP نسبت به الگوی جاری افزایش داشت (جدول ۵). این افزایش سطح زیرکشت در الگوی MOP در تمام اهداف مورد بررسی مشاهده شد که نشان‌دهنده کم بودن آب مجازی، ردپای آب آبی، خاکستری و سفید و بالا بودن سود این محصولات در بین محصولات کشت آبی منطقه بود.

از دیگر موارد قابل توجه الگوی کشت بهینه پیشنهادی، کاهش ۵۰ درصدی سطح زیر کشت پنبه، یونجه و هندوانه و ۳۹ درصدی چغندرقند در الگوی MOP نسبت به الگوی جاری شهرستان قائنات بود. همچنین تغییرات سطح زیر کشت محصولات در الگوی MOP شهرستان زیرکوه آهنگ منظمی نداشت (جدول ۴)، به‌طوری‌که در الگوی MOP سطح زیرکشت گندم، جو و پنبه ۵۰ درصد نسبت به الگوی جاری کاهش یافت. این کاهش‌ها در الگوی کشت MOP در تمامی اهداف مشاهده شد که بیانگر بالا بودن شاخص‌های مؤثر بر ردپای آب و پایین بودن سود این محصولات نسبت به سایر محصولات منطقه است (جدول ۳). Chouchane et al. (2020) گزارش کردند محصولاتی که ردپای آب بالا به‌ویژه ردپای آب آبی بالایی دارند، میزان سطح زیرکشت آن‌ها در الگوی کشت بهینه کاهش می‌یابد. جهت کاهش اثرات ناشی از تولید محصولات بر اکوسیستم باید سطح کشت محصولات کشاورزی که اثرات محیطی بالایی دارند کاسته شده و در عوض با تغییراتی در الگوی کشت، استراتژی به‌سوی تولید محصولاتی با اثرات کمتر بر اکوسیستم تغییر داده شود. تدوین الگوی کشت می‌تواند بهره‌وری از ظرفیت‌های بخش کشاورزی را به حداکثر رسانده و در عین‌حال پیامدهای مخرب تولید محصول را تقلیل دهد (Inas et al., 2017). همچنین این محققین بیان کردند که تغییر الگوی کشت می‌تواند به‌طور قابل توجهی کمبود آب را کاهش و میزان سود را افزایش دهد. همچنین با توجه به مغایرت الگوی پیشنهادی با الگوی جاری شهرستان‌ها، می‌توان اظهار کرد که طراحی یک الگوی کشت مناسب برای هر منطقه به‌طور مجزا امری ضروری است و نمی‌توان الگوی کشت یک منطقه را به مناطق دیگر تعمیم داد.

جدول ٤- سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در الگوی کشت محصولات شهرستان‌های قائنات و زیرکوه به تفکیک اهداف مورد مطالعه (واحد: هکتار)

Table 4- Area under cultivation of agricultural products in the cultivation cropping pattern in Ghaenat and Zirkoh counties according to the studied objectives (unit: ha)

	محصول Crop	الگوی جاری Current Pattern	حداکثرسازی سود خالص MNB	حداقل‌سازی آب مجازی MVW	حداکثرسازی ردپای آب سبز MWF_{Green}	حداقل‌سازی ردپای آب آبی MWF_{Blue}	حداقل‌سازی ردپای آب سبز MWF_{Grey}	حداقل‌سازی ردپای آب سفید MWF_{White}	برنامه‌ریزی چند هدفه MOP
قائنات Qaenat	گندم Wheat	3808	3773	3800	3800	3725	3800	3800	3800
	جو Barley	2429	2481	2523	2523	2660	2523	2523	2523
	پنبه cotton	800	400	400	400	400	400	400	400
	سیب زمینی potato	57	193	193	193	193	193	193	193
	چغندرقند Sugar beet	626	835	376	376	818	376	376	376
	خربزه Melon	529	580	593	593	265	593	593	593
	هندوانه Watermelon	83	42	42	42	42	42	42	42
	یونجه Alfalfa	416	416	208	208	208	208	208	208
	زعفران Saffron	84	84	84	84	84	84	84	84
	کل Total	8832	8804	8219	8219	8395	8219	8219	8219
زیرکوه Zirkoh	گندم Wheat	1397	1054	699	699	699	699	699	699
	جو Barley	586	500	293	293	500	293	293	293
	پنبه cotton	331	277	166	166	166	166	166	166
	سیب زمینی potato	6	9	9	9	9	9	9	9
	چغندرقند Sugar beet	1	5	5	5	5	5	5	5
	خربزه Melon	9	81	81	81	81	81	81	81
	هندوانه Watermelon	357	536	536	536	536	536	536	536
	یونجه Alfalfa	172	190	180	182	150	182	182	182
	زعفران Saffron	34	35	36	35	35	35	35	35
	کل Total	2893	2687	2004	2006	2181	2006	2006	2006

Current: الگوی جاری، MNB: حداکثرسازی سود خالص، MVW: حداقل‌سازی آب مجازی، MWF_{Green}: حداکثرسازی ردپای آب سبز، MWF_{Blue}: حداقل‌سازی ردپای آب آبی، MWF_{Grey}: حداقل‌سازی ردپای آب خاکستری، MWF_{White}: حداقل‌سازی ردپای آب سفید، MOP: برنامه ریزی چند هدفه

Current: MNB: net profit maximization, MVW: virtual water minimization, MWF_{Green}: green water footprint maximization, MWF_{Blue}: blue water footprint minimization, MWF_{grey}: gray water footprint minimization, MWF_{White}: footprint minimization white water, MOP: multipurpose planning

متغیرهای مهم در تعیین الگوی کشت

درآمد اقتصادی نقش مهمی در رونق و توسعه کشاورزی دارد. به‌طوری‌که در این مطالعه سود خالص کلیه الگوهای محصولات آبی به‌جز الگوی حداکثرسازی سود خالص، در حد الگوی جاری باقی ماند. در الگوی حداکثرسازی سود محصولات آبی به‌ازای ۷۰۲۴۱۰ دلار سود خالص بیشتر در کل منطقه، میزان آب مجازی ۱۶ درصد، ردپای آب آبی ۲ درصد و ردپای آب خاکستری ۱۱ درصد نسبت به وضع موجود کاهش یافت. این افزایش سود و کاهش آب مجازی و اجزای ردپای آب در الگوی پیشنهادی MOP محصولات شهرستان قائنات نسبت به شهرستان زیرکوه بیشتر بود (جدول ۵). Nouri et al (2020) گزارش کردند که با تعیین الگوی کشت بهینه در منطقه می‌توان ردپای آب آبی را ۴/۵ درصد کاهش و میزان سود را از بین ۳ تا ۵۰ درصد افزایش داد. این در حالی است که با استفاده از مالچ و آبیاری قطره‌ای میزان ردپای آب فقط ۱/۵ درصد کاهش خواهد یافت. نتایج نشان داد در کلیه الگوهای مورد بررسی، امکان کاهش آب مجازی و اجزای ردپای آب وجود دارد. بیشترین کاهش آب مجازی مربوط به الگوها با اهداف آب مجازی، ردپای آب خاکستری، ردپای آب سفید و MOP بود که با اجرای این الگوها آب مجازی به‌میزان ۸۵۹۱۵۱۱ $m^3.kg^{-1}$ و در حدود ۲۶ درصد نسبت به الگوی جاری کاهش خواهد یافت.

Delpasand et al. (2020) گزارش کردند که مصرف آب مجازی با توجه به پایین بودن بهره‌وری آب کشاورزی در ایران بسیار بالاست، بنابراین در شرایط کنونی و خشکسالی‌های اخیر، باید بتوان میزان آب مجازی را کمتر کرد. به‌واقع در این مطالعه با کاهش سطح زیرکشت پنبه، یونجه، چغندرقند و هندوانه در منطقه قائنات و گندم، جو و پنبه در منطقه زیرکوه، در مدل MOP می‌توان مقدار ۲۶ درصد آب مورد نیاز برای تولید محصولات را ذخیره کرد. بیشترین کاهش ردپای آب آبی در کشت محصولات مربوط به الگوها با اهداف حداقل‌سازی ردپای آب آبی، ردپای آب خاکستری، ردپای آب سفید و MOP با کاهش ۴۱۵۲۸۵۵ $m^3.t^{-1}$ در حدود چهار درصد نسبت به الگوی جاری بود. با توجه به اینکه در شهرستان‌های مذکور برای تولید محصولات کشاورزی بیش از ۳۰۵ میلیون مترمکعب از سفره‌های منابع آب زیرزمینی آب برداشت می‌شود (Falahat et al., 2019). بنابراین، با اجرای الگوی کشت MOP می‌توان در حدود ۱۳ میلیون مترمکعب آب را نسبت به الگوی جاری در منطقه ذخیره کرد. میزان ردپای آب خاکستری نیز در الگوهای آب مجازی، ردپای آب سبز، خاکستری، سفید و مدل MOP محصولات به‌میزان ۱۰۹۷۹۷ $m3.ton^{-1}$ نسبت به الگوی جاری کاهش یافت. بنابراین، نتایج نشان می‌دهد با اجرای الگوی کشت بهینه، کاهش آلودگی را نسبت به الگوی کشت جاری و شاهد کاهش ۱۸ درصدی آلودگی در منطقه خواهیم بود. همچنین میزان ردپای آب سفید در الگوهای ردپای آب سبز، آبی، خاکستری و سفید به‌میزان ۳۶۸۷۷۹ $m3.ton^{-1}$ نسبت به الگوی جاری کاهش یافت. با افزایش سطح زیرکشت محصولاتی مانند سیب‌زمینی، خربزه و جو در قائنات و خربزه، چغندرقند، سیب‌زمینی، هندوانه، یونجه و زعفران در زیرکوه و کاهش سطح زیرکشت گندم و جو نسبت به الگوی جاری، میزان آب مجازی و ردپای آب کاهش یافت. بنابراین، اصلاح الگوی کشت محصولات نیز در منطقه که بر پایه کاهش مصرف منابع آب باشد، ضروری به‌نظر می‌رسد. همچنین بررسی و مدیریت اجزای ردپای آب می‌تواند به‌عنوان یکی از عوامل دستیابی به تولید پایدار مدنظر قرار گیرد

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، الگوی بهینه کشت محصولات زراعی منطقه زیرکوه و قائنات بر اساس میزان آب مجازی و بهره‌وری آب تعیین شد. نتایج این مطالعه نشان داد با در نظر گرفتن الگوی کشت MOP سطح زیر کشت محصولات سیب‌زمینی، خربزه، جو در شهرستان قائنات و سطح زیر کشت محصولات خربزه، چغندرقند، سیب‌زمینی، هندوانه، یونجه و زعفران افزایش قابل توجه‌ای داشت. با توجه به این موضوع برای کاهش میزان ردپای آب به‌ویژه ردپای آب آبی در منطقه مورد مطالعه سیاست‌های کلی باید به‌سمت افزایش سطح زیر کشت این محصولات و کاهش سطح زیر کشت پنبه، یونجه، هندوانه، چغندرقند در شهرستان قائنات و گندم، جو و پنبه در منطقه زیرکوه باشد؛ زیرا میزان تولید محصولات کشاورزی یک منطقه باید با توجه به اهداف کسب حداکثر سود و کاهش میزان ردپای آب مجازی و ردپای آب انجام شود. به بیان دیگر، تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب گیاهان زراعی مناطق مختلف باید بر اساس هر دوی مسائل اقتصادی و منابع آب باشد.

جدول ۵- متغیرهای مهم در تعیین الگوی کشت محصولات آبی به تفکیک اهداف و شهرستان‌های مورد مطالعه

Table 5- Important variables in determining the cropping pattern of irrigated crops by objectives and counties studied

		الگوی جاری Current	حداکثرسازی سود خالص MNB	حداقل‌سازی آب مجازی MVW	حداکثرسازی ردپای آب سبز MWF_{Green}	حداقل‌سازی ردپای آب آبی MWF_{Blue}	حداقل‌سازی ردپای آب خاکستری MW_{Grey}	حداقل‌سازی ردپای آب سفید MWF_{White}	برنامه‌ریزی چند هدفه MOP
NB ($)	قائنات Qaenat	4492611	5057420	4492611	4492611	4492611	4492611	4492611	4492611
	زیرکوه Zirkoh	912437	1050038	912437	912437	912437	912437	912437	912437
	کل Total	5405049	6107459	5405049	5405049	5405049	5405049	5405049	5405049
VW ($m^3.ha^{-1}$)	قائنات Qaenat	21864453	18395622	17934076	17934076	17982254	17934076	17934076	17934076
	زیرکوه Zirkoh	10352669	8590389	5686303	5691535	5937364	5691535	5691535	5691535
	کل Total	32217122	26986010	23620379	23625611	23919617	23625611	23625611	23625611
WF_{Green} ($m3.ton^{-1}$)	قائنات Qaenat	23642123	23642123	23642123	23642123	23642123	23642123	23642123	23642123
	زیرکوه Zirkoh	10297655	10319625	10503728	10297655	10297655	10297655	10297655	10297655
	کل Total	33939778	33961748	34145851	33939778	33939778	33939778	33939778	33939778
WF_{Blue} ($m3.ton^{-1}$)	قائنات Qaenat	62843166	60626705	60376494	60376494	60335467	60376494	60376494	60376494
	زیرکوه Zirkoh	36639285	36139146	35607316	34953102	34922112	34953102	34953102	34953102
	کل Total	99482451	96765851	95983810	95329596	95257579	95329596	95329596	95329596
WF_{grey} ($m3.ton^{-1}$)	قائنات Qaenat	452115	413665	408799	408799	411138	408799	408799	408799
	زیرکوه Zirkoh	149315	122397	82819	82734	89416	82734	82734	82734
	کل Total	601430	536061	491618	491533	500554	491533	491533	491533
WF_{White}: ($m3.ton^{-1}$)	قائنات Qaenat	281517034	281517034	281517034	281517034	281517034	281517034	281517034	281517034
	زیرکوه Zirkoh	19321012	19321012	19321012	18952233	19002757	18952233	18952233	18952233
	کل Total	300838046	300838046	300838046	300469267	300519791	300469267	300469267	300469267

Current:الگوی جاری، MNB: حداکثرسازی سود خالص، MVW: حداقل‌سازی آب مجازی، MWF_{Green}: حداکثرسازی ردپای آب سبز، MWF_{Blue}: حداقل‌سازی ردپای آب آبی، MWF_{grey}: حداقل‌سازی ردپای آب خاکستری، MWF_{White} : حداقل‌سازی ردپای آب سفید، MOP: برنامه ریزی چند هدفه

NB: سود خالص، VW: آب مجازی، WF_{Green}: ردپای آب سبز، WF_{Blue}: ردپای آب آبی، WF_{grey}: ردپای آب خاکستری، WF_{White}: ردپای آب سفید

Current: Current pattern, MNB: Net profit maximization, MVW: Virtual water minimization, MWF_{Green}: Green water footprint maximization, MWF_{Blue}: Blue water footprint minimization, MWF_{Grey}: Gray water footprint minimization, MWF_{White}: Footprint minimization White Water, MOP: Multipurpose Planning

NB: Net Profit, VW: Virtual Water, WF_{Green}: Green Water Footprint, WF_{Blue}: Blue Water Footprint, WF_{grey}: Gray Water Footprint, WF_{White}: White Water Footprint

مطالعه شاخص‌های اقتصادی، آب مجازی، ردپای آب سبز، آبی خاکستری و سفید در الگوی کشت زیرکوه و قائنات نشان داد که تأکید بر معیارهای مختلف نتایج متفاوتی را در بر دارد. لذا تصمیم‌گیری و استفاده از شاخص‌های مختلف باید منطبق بر اهمیت هر گزینه در منطقه مورد مطالعه صورت گیرد. همچنین مدل نهایی این مطالعه به کشاورزان این امکان را می‌دهد که همزمان با حفظ درآمد اقتصادی، ملاحظات محیطی از جمله ردپای آب را نیز برای کاهش اثرات سوء بر منابع آبی را در الگوی کشت لحاظ کنند. واضح است در مناطقی که مصرف نهاده‌ها شیمیایی بیش از حد است، حداقل‌سازی ردپای آب خاکستری به‌عنوان یکی از اهداف در مدل MOP قادر است با در نظر گرفتن هر دوی اهداف اقتصادی و محیطی بر منابع آب، الگوی کشت مناسب با شرایط منطقه را فراهم نماید. بنابراین، تعیین الگوی کشت بهینه در منطقه می‌تواند به‌عنوان یک رویکرد پایدار در مدیریت منابع آبی مطرح باشد که ریسک‌های اقتصادی و محیطی را کاهش داده، و در عین حال وضعیت مطلوبی از لحاظ اقتصادی برای منطقه فراهم کند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت مالی در چاپ مقاله که از محل اعتبارات معاونت پژوهشی دانشگاه زابل به‌شماره IR-UOZ-GR-9360 تأمین شده، سپاسگزاری می گردد.

References

Afshar, A., Tavakoli, M.A., and Khodagholi, A., 2020. Multi-objective hydro-economic modeling for sustainable groundwater management. Water Resources Management 1-15.

Agricultural organization of South Khorasan., 2016. https://kj-agrijahad.ir/. (In Persian)

Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E. and Armin, M., 2019. A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in Khorramabad, Iran, based on emergy and economic analyses. Journal of Cleaner Production 226: 1051-1066.

Antonelli, M., and Ruini, L.F., 2015. Business engagement with sustainable water resource management through water footprint accounting: the case of the Barilla Company. Sustainability 7(6): 6742-6758.

Bazrafshan, O., Etedali, H.R., Moshizi, Z.G.N., and Shamili, M., 2019. Virtual water trade and water footprint accounting of Saffron production in Iran. Agricultural Water Management 213:368-374.

Berenger V., and Verdier-Chouchane, A., 2007. Multidimensional measures of well-being: Standard of living quality of life across countries. World Development 35: 1259- 76.

Chouchane, H., Krol, M.S., and Hoekstra, A.Y., 2020. Changing global cropping patterns to minimize national blue water scarcity. Hydrology and Earth System Sciences 24(6): 3015-3031.

Delpasand, M., Bozorg-Haddad, O., and Loáiciga, H.A., 2020. Integrated virtual water trade management considering self-sufficient production of strategic agricultural and industrial products. Science of the Total Environment 743:140797.

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.

Fader, M., Gerten, D., Thammer, M., Heinke, J., Lotze-Campen, H., Lucht, W., and Cramer W., 2011. Internal and external green–blue agricultural water footprints of nations, and related water and land savings through trade. Hydrol. Hydrology and Earth System Sciences 15(5): 1641-1660.

Falahat, S.E., Hadi, H., Moghaddam, S.S., and Aryanfar, A., 2019. Exploring cultivation site of saffron (*Crocus sativus* L.) by utilizing GIS linked to AHP. Spatial Information Research 27(3): 285-293.

Feng, B., Zhuo, L., Xie, D., Mao, Y., Gao, J., Xie, P., and Wu, P., 2020. A quantitative review of water footprint accounting and simulation for crop production based on publications during 2002–2018. Ecological Indicators 120: 106962.

GAMS/CONOPT3, 2010. Bagsvaerdvej 246A, DK-2880 Bagsvaerd, Denmark: ARKI Consulting and Development.

Gao, J., Zhuo, L., Liu, Y., Xie, P., Wang, W., Li, M., Gao, X., and Wu, P., 2020. Efficiency and sustainability of inter-provincial crop-related virtual water transfers in China. Advances in Water Resources 103560.

Golabi, M., Hasili, M.A., and Nasab, S.B., 2020. Study and evaluation of irrigation and drainage networks using

analytic hierarchy process in Khuzestan province: A virtual water approach. Agricultural Water Management 241: 106305.

Inas, E.G., Grigg, N., and Waskom, R., 2017. Water-food-energy: nexus and non-nexus approaches for optimal cropping pattern. Water Resources Management 31(15): 4971-4980.

Jones, D., and Barnes, E.M., 2000. Fuzzy composite programming to combine remote sensing and crop models for decision support in precision crop management. Agricultural Systems 65(3): 137-158.

Jónsson, J.O.G., and Davíðsdóttir, B., 2016. Classification and valuation of soil ecosystem services. Agricultural Systems 145: 24–38.

Li, M., Fu, Q., Singh, V.P., Liu, D., Li, T., and Zhou, Y., 2020. Managing agricultural water and land resources with tradeoff between economic, environmental, and social considerations: A multi-objective non-linear optimization model under uncertainty. Agricultural Systems 178: 102685.

Mardani-Najafabadi, M.M., Ziaee, S., Nikouei, A., and Borazjani, M.A., 2019. Mathematical programming model (MMP) for optimization of regional cropping patterns decisions: A case study. Agricultural Systems 173:218-232.

Marzban, Z., Asgharipour, M.R., Ghanbari, A., Ramroudi, M., and Seyedabadi, E., 2020a. Evaluation of environmental consequences affecting human health in the current and optimal cropping patterns in the eastern Lorestan province, Iran. Environmental Science and Pollution Research 1-16.

Marzban, Z., Asgharipour, M.R., Ganbari, A., Nikouei, A., Ramroudi, M., and Seyedabadi, E., 2020b. Reducing environmental impacts through redesigning cropping pattern using LCA and MOP (Case study: East Lorestan province). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 30(3): pp.311-330.

Mekonnen, M.M., and Gerbens-Leenes, W., 2020. The water footprint of global food production. Water 12(10): 2696.

Mesgaran, M.B., Madani, K., Hashemi, H., and Azadi, P., 2017. Iran’s land suitability for agriculture. Scientific Reports 7(1):1-12.

Meteorology of South Khorasan province., 2020. http://skhmet.ir/index.php. (In Persian)

Niu, G., Li, Y.P., Huang, G.H., Liu, J., and Fan, Y.R., 2016. Crop planning and water resource allocation for sustainable development of an irrigation region in China under multiple uncertainties. Agricultural Water Management 166:53-69.

Nouri, H., Stokvis, B., Borujeni, S.C., Galindo, A., Brugnach, M., Blatchford, M.L., Alaghmand, S., and Hoekstra, A.Y., 2020. Reduce blue water scarcity and increase nutritional and economic water productivity through changing the cropping pattern in a catchment. Journal of Hydrology 125086.

Paramjita, D., Panigrahi, B., and Paul, J.C., 2018. STEP method of multi objective programming: An operational research tool for efficient resource planning for minor irrigation command. Journal of Krishi Vigyan 7(special): 144-150.

Qasemipour, E., and Abbasi, A., 2019. Virtual water flow and water footprint assessment of an arid region: A case study of South Khorasan province, Iran. Water 11(9): 1755-1768.

Ren, C., Guo, P., Tan, Q., and Zhang, L., 2017. A multi-objective fuzzy programming model for optimal use of irrigation water and land resources under uncertainty in Gansu Province, China. Journal of Cleaner Production 164: 85-94.

Ren, C., Li, Z., and Zhang, H., 2019. Integrated multi-objective stochastic fuzzy programming and AHP method for agricultural water and land optimization allocation under multiple uncertainties. Journal of Cleaner Production 210: 12-24.

Rodriguez, C.I., De Galarreta, V.R., Kruse, E.E., 2015 Analysis of water footprint of potato production in the Pampean region of Argentina. Journal of Cleaner Production 90:91-96.

Sun, H., Zhang, X., Liu, X., Liu, X., Shao, L., Chen, S., Wang, J., and Dong, X., 2019. Impact of different cropping systems and irrigation schedules on evapotranspiration, grain yield and groundwater level in the North China plain. Agricultural Water Management 211: 202-209.

Vallino, E., Ridolfi, L., and Laio, F., 2020. Measuring economic water scarcity in agriculture: a cross-country empirical investigation. Environmental Science and Policy 114: 73-85.

Woolson, R.F., Bean, J.A., and Rojas, P.B., 1986. Sample size for case-control studies using Cochran's statistic. Biometrics 927-932.

Xie, Y.L., Xia, D.X., Ji, L., and Huang, G.H., 2018. An inexact stochastic-fuzzy optimization model for agricultural water allocation and land resources utilization management under considering effective rainfall. Ecological

Indicators 92: 301-311.
Zhang, T., Tan, Q., Zhang, S., Wang, S., and Gou, T., 2020. A robust multi-objective model for supporting agricultural water management with uncertain preferences. Journal of Cleaner Production 255: 120204.
Zhuo, L., Mekonnen, M.M., Hokestra, A.Y., and Wada, Y., 2016. Inter- and intra-annual variation of water footprint of crops and blue water scarcity in the Yellow River basin (1961-2009). Advances in Water Resources 87:29–41.

Contents

Assessing Agrobiodiversity in Home Garden Ecosystems of some Regions in Khorasan Razavi Province **1**
M. Nassiri Mahallati, A. Koocheki, A. Ghale Golab Behbahani and J. Shabahang

Effect of Phosphate Solubilizing Bacteria and Mycorrhizal Fungi on Agronomic Important Traits in Two Wheat (*Triticum aestivum* L.; *Triticum turgidum* var. durum) Cultivars under Dryland Conditions **19**
R. Naseri, M. Barary, M.J. Zarea, K. Khavazi and Z. Tahmasebi

Elimination of Irrigation Restriction in Spring Corn(*Zea mays*) Planting by Relay-Intercropping with Canola(*Brassica napus* L.) **35**
A. Koocheki, G.A. Asadi, B. Bicharanlou and M. Bagheri Shirvan

Effects of Organic Fertilizers on Essential Oil Composition and Yield in Sustainable Cultivation of Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) **53**
M.T. Darzi, B. Sadeghi Nekoo and M. Haj Seyed Hadi

Evaluation of Spatial Crop Water Use Efficiency in Khorasan Razavi Province **69**
A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati, S. Asadi, and H. Zare

Growth and Yield of Millet (*Panicum miliaceum* L.) as Affected by Different Levels of Organic Fertilizer and Zinc Sulfate **95**
M. Hasemi, M.A. Behdani, M. Jamialahmadi and H.R. Fallahi

Effect of Different Levels of Vermicompost and Copper Sulfate on Morphological Characteristics, Yield, and Yield Components of Basil (*Ocimum basilicum* L.) **115**
M.H. Aminifard, M. Asgarian, M. Khayyat and M. Jahani

An Evaluation of Sustainability Analysis of Rainfed Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Barley (*Hordeum vulgare* L.)Production Systems in Iran **133**
S.M.J. Esfahaniand H. Javadi

The Investigation of Plant Yield and Yield Components of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) and Weight and Length of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) as Affected by Application of Nitrogen Levels and Row Intercropping Ratios **159**
H. Mohammadipour, A. Nakhzari Moghaddam, M. Mollashahi and M. Naeemi

Use of Water Footprint and Virtual Water to Determine the Optimal Cropping Pattern; Case Study: Ghaenat and Zirkoh Counties **173**
H.R. Aboutorabi, M. Ramroudi, M.R. Asgharipour and M.S. Ghazanfari Moghadam

Ferdowsi University of Mashhad

Vol. 14 No. 1

Winter 2022

Journal of Agroecology (Quarterly)

ISSN: 2008-7713

Contents

Assessing Agrobiodiversity in Home Garden Ecosystems of some Regions in Khorasan Razavi Province 1
M. Nassiri Mahallati, A. Koocheki, A. Ghale Golab Behbahani and J. Shabahang

Effect of Phosphate Solubilizing Bacteria and Mycorrhizal Fungi on Agronomic Important Traits in Two Wheat (*Triticum aestivum* L.; *Triticum turgidum* var. durum) Cultivars under Dryland Conditions 19
R. Naseri, M. Barary, M.J. Zarea, K. Khavazi and Z. Tahmasebi

Elimination of Irrigation Restriction in Spring Corn(*Zea mays*) Planting by Relay-Intercropping with Canola(*Brassica napus* L.) 35
A. Koocheki, G.A. Asadi, B. Bicharanlou and M. Bagheri Shirvan

Effects of Organic Fertilizers on Essential Oil Composition and Yield in Sustainable Cultivation of Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) 53
M.T. Darzi, B. Sadeghi Nekoo and M. Haj Seyed Hadi

Evaluation of Spatial Crop Water Use Efficiency in Khorasan Razavi Province 69
A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati, S. Asadi, and H. Zare

Growth and Yield of Millet (*Panicum miliaceum* L.) as Affected by Different Levels of Organic Fertilizer and Zinc Sulfate 95
M. Hasemi, M.A. Behdani, M. Jamialahmadi and H.R. Fallahi

Effect of Different Levels of Vermicompost and Copper Sulfate on Morphological Characteristics, Yield, and Yield Components of Basil (*Ocimum basilicum* L.) 115
M.H. Aminifard, M. Asgarian, M. Khayyat and M. Jahani

An Evaluation of Sustainability Analysis of Rainfed Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Barley (*Hordeum vulgare* L.)Production Systems in Iran 133
S.M.J. Esfahaniand H. Javadi

The Investigation of Plant Yield and Yield Components of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) and Weight and Length of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) as Affected by Application of Nitrogen Levels and Row Intercropping Ratios 159
H. Mohammadipour, A. Nakhzari Moghaddam, M. Mollashahi and M. Naeemi

Use of Water Footprint and Virtual Water to Determine the Optimal Cropping Pattern; Case Study: Ghaenat and Zirkoh Counties 173
H.R. Aboutorabi, M. Ramroudi, M.R. Asgharipour and M.S. Ghazanfari Moghadam