نشریه علمی
بوم شناسی کشاورزی (فصلنامه)

جلد ۱۵ شماره ۲
تابستان ۱۴۰۲

۲۰۰۸-۷۷۱۳ :شاپا
(شماره پیاپی ۵۶)

عنوان مقالات

تحلیل فنولوژی و تولید خالص اکولوژیک زوفا (*Hyssopus officinalis*) با استفاده از مدل AEZ در شرایط نیمه‌گرمسیری جنوب استان کرمان ۲۱۱
نازیلا ابوسعیدی دولت‌آباد، مهرانگیز جوکار، احمد آین، جواد طائی سمیرمی و زینب رود پیکر

تأثیر نوع و میزان مصرف زئولیت طبیعی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.) ۲۲۵
زهرا رضائی، محمدعلی بهدانی، عباس خاشعی سیوکی و علیرضا صمدزاده

بررسی تعاملات بین‌گونه‌ای بخش بالایی در کشت مخلوط گیاه سویا (*Glycine max* (L.) Merrill) و دانِ‌سیاه (*Guizotia abyssinica* (L.f.) Cass) ۲۴۱
میثم نامداری، رحمت عباسی، همت اله پیردشتی و فائزه زعفریان

اثر روش کشت و کمپوست بقایای نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) و برخی خصوصیات خاک ۲۶۵
محمد ملهماسی، محمدحسین قرینه، علی مشتطی و آیدین خدایی جوقان

ارزیابی و کمّی‌سازی خدمات بوم‌سازگان در کشت‌بوم گندم (*Triticum aestivum.* L) ۲۷۹
مصطفی کوزه‌گر کالجی، حسین کاظمی، بهنام کامکار، حمید امیرنژاد و محسن حسینعلیزاده

برآورد عملکرد برخی از محصولات زراعی دیم در اراضی آبی زراعی و باغی فعلی کشور ۳۰۳
صغرا جافر نوده، افشین سلطانی، راشین جولایی، شهرزاد میرکریمی و ابراهیم زینلی

ارزیابی وضعیت پایداری در بوم‌نظام‌های زراعی کلزا (*Brassica napus* L.) با استفاده از تحلیل امرژی (مطالعه موردی: شهرستان کلاله، استان گلستان) ۳۲۱
سماله لطفی، حسین کاظمی، بهنام کامکار و حمید رضا شاه حسینی

اثر رقابت بر خصوصیات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بهره‌وری در کشت مخلوط سویا (*Glycine max* (L.) Merrill) و ارزن (*Panicum miliaceum* L.) ۳۳۹
میثم نامداری، رحمت عباسی، همت‌اله پیردشتی و فائزه زعفریان

بررسی اثر کاربرد سوپرجاذب رطوبتی و تلقیح با قارچ میکوریزا بر جذب عناصر غذایی، کارآیی مصرف آب و عملکرد گیاه سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) در شرایط کم‌آبیاری ۳۶۱
خسرو پرویزی، علیرضا یزدانپناه و بهروز مرادی عاشور

ارزیابی مؤلفه‌های زیست‌محیطی دو سامانه کشت مجدد و راتون برنج (*Oryza sativa* L.) بر مبنای ارزیابی چرخه حیات ۳۸۳
همت‌اله پیردشتی، زهرا صابر، فائزه محمدی کشکا، یاسر رحمتی و علی متولی

ارزیابی شاخص‌های رقابتی و عملکرد کشت مخلوط تریتیکاله (*× Triticosecale* Wittmack) و نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تأثیر کود زیستی- آلی در شرایط تنش آبی ۴۰۵
آیدا رشیدی‌پور، وحید براتی و احسان بیژن‌زاده

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.

جلد۱۵ شماره۲ تابستان ۱۴۰۲

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 (به ترتیب حروف الفبا)

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

دکتر مرتضی برمکی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی

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

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

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

دکتر مهدی راستگو، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

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

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

دکتر سعید زهتاب سلماسی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

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

دکتر منصور قربانپور، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک

دکتر علیرضا کوچکی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر محمد گلوی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

دکتر مهدی نصیری محلاتی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

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

تحلیل فنولوژی و تولید خالص اکولوژیک زوفا (*Hyssopus officinalis*) با استفاده از مدل AEZ در شرایط نیمه‌گرمسیری جنوب استان کرمان ۲۱۱

نازیلا ابوسعیدی دولت‌آباد، مهرانگیز جوکار، احمد آیین، جواد طایی سمیرمی و زینب روز پیکر

تأثیر نوع و میزان مصرف زئولیت طبیعی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارزن معمولی (*Panicum miliaceaum* L.) ۲۲۵

زهرا رضائی، محمدعلی بهدانی، عباس خاشعی سیوکی و علیرضا صمدزاده

بررسی تعاملات بین‌گونه‌ای بخش بالایی در کشت مخلوط گیاه سویا (*Glycine max* (L) Merrill) و دان‌سیاه (*Guizotia abyssinica* (L.f.) Cass) ۲۴۱

میثم نامداری، رحمت عباسی، همت الله پیردشتی و فائزه زعفریان

اثر روش کشت و کمپوست بقایای نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) و برخی خصوصیات خاک ۲۶۵

محمد طهماسبی، محمدحسین قرینه، علی مشتطی و آیدین خدایی جوقان

ارزیابی و کمّی‌سازی خدمات بوم‌سازگان در کشت‌بوم گندم (*Triticum aestivum* L.) ۲۷۹

مصطفی کوزه‌گر کالجی، حسین کاظمی، بهنام کامکار، حمید امیرنژاد و محسن حسینعلیزاده

برآورد عملکرد برخی از محصولات زراعی دیم در اراضی آبی زراعی و باغی فعلی کشور ۳۰۳

صفورا جافر نوده، افشین سلطانی، رامتین جولایی، شهرزاد میرکریمی و ابراهیم زینلی

ارزیابی وضعیت پایداری در بوم‌نظام‌های زراعی کلزا (*Brassica napus* L.) با استفاده از تحلیل امرژی (مطالعه موردی: شهرستان کلاله، استان گلستان) ۳۲۱

سمانه لطفی ، حسین کاظمی، بهنام کامکار و حمید رضا شاه حسینی

اثر رقابت بر خصوصیات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بهره‌وری در کشت مخلوط سویا (*Glycine max* (L) Merrill) و ارزن (*Panicum miliaceum* L.) ۳۳۹

میثم نامداری، رحمت عباسی، همت‌الله پیردشتی و فائزه زعفریان

بررسی اثر کاربرد سوپرجاذب رطوبتی و تلقیح با قارچ میکوریزا بر جذب عناصر غذایی، کارآیی مصرف آب و عملکرد گیاه سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) در شرایط کم‌آبیاری ۳۶۱

خسرو پرویزی، علیرضا یزدان‌پناه و بهروز مرادی عاشور

ارزیابی مؤلفه‌های زیست‌محیطی دو سامانه کشت مجدد و راتون برنج (*Oryza sativa* L.) بر مبنای ارزیابی چرخه حیات ۳۸۳

همت‌اله پیردشتی، زهرا صابر، فائزه محمدی کشکا، یاسر رحمتی و علی متولی

ارزیابی شاخص‌های رقابتی و عملکرد کشت مخلوط تریتیکاله (× *Triticosecale* Wittmack) و نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تأثیر کود زیستی- آلی در شرایط تنش آبی ۴۰۵

آیدا رشیدی‌پور، وحید براتی و احسان بیژن‌زاده

اسامی ارزیابان جلد ۱۵ شماره ۲ (تابستان ۱۴۰۲) نشریه بوم شناسی کشاورزی (به ترتیب الفبا)

دکتر علیرضا آستارائی	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر محمد آرمین	دانشگاه آزاد اسلامی- واحد سبزوار
دکتر امیر آینه بند	دانشگاه شهید چمران اهواز
دکتر محمدرضا اردکانی	دانشگاه آزاد اسلامی- کرج
دکتر بهروز اسماعیل پور	دانشگاه محقق اردبیلی
دکتر محمدرضا اصغری پور	دانشگاه زابل
دکتر حجت امامی	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر سیدرضا امیری	مجتمع آموزش عالی سراوان
دکتر بهاره پارسا مطلق	دانشگاه جیرفت
دکتر همت اله پیردشتی	دانشگاه ساری
دکتر سید مهدی جوادزاده	دانشگاه آزاد اسلامی- ایرانشهر
دکتر محسن جهان	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر سعید خاوری خراسانی	مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
دکتر سرور خرم دل	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر اسماعیل رضائی چیانه	دانشگاه ارومیه
دکتر سارا سنجانی	موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر
دکتر جواد سید محمدی	موسسه تحقیقات خاک و آب
دکتر رضا صدرآبادی حقیقی	دانشگاه آزاد اسلامی- واحد مشهد
دکتر یاسر علیزاده	دانشگاه ایلام
دکتر فرنوش فلاح پور	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر حسن فیضی	دانشگاه تربت حیدریه- پژوهشکده زعفران
دکتر حسین کاظمی	دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
دکتر بختیار لله گانی	دانشگاه پیام نور
دکتر علی ماهرخ	موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر
دکتر روح الله مرادی	دانشگاه شهید باهنر کرمان
دکتر حامد منصوری	مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان
دکتر سید یوسف موسوی طغانی	دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

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 بهره‌وری نهاده‌ها، جایگزینی عملیات و نهاده‌های بوم سازگار و در نهایت، مرحله تجدید ساختار بوم‌نظام را دربردارد. به نظر می‌رسد که پیمودن چنین راهی جز با تغییر نگرش‌ها و بازتعریف مفاهیم رایج در فرآیندی تدریجی میسر نخواهد بود.

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

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

با احترام، پرویز رضوانی مقدم

سردبیر نشریه بوم‌شناسی کشاورزی

به‌نام خدا

پذیرش مقاله برای چاپ در نشریه

مقدمه

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

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

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

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

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

راهنمای نحوه نگارش و تهیه مقالات

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

- کلیه واحدهای اندازه‌گیری بر اساس سیستم متریک باشند.
- کلیه سطرهای متن مقاله بصورت ادامه‌دار (Continuous) شماره‌گذاری (Line numbering) شوند.
- هر مقاله باید شامل بخشهای مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه گیری، سپاسگزاری، فهرست منابع و چکیده مبسوط کاملاً تفکیک و محتوای آنها متناسب با عنوان هر قسمت باشد.
- **عنوان مقاله** کوتاه و معرف کامل موضوع تحقیق بوده، حداکثر ۲۰ کلمه و با قلم بی میترا (B Mitra) اندازه ۱۴ نوشته شود.
- **صفحه مشخصات مقاله** شامل موارد: عنوان مقاله، مشخصات نویسنده یا نویسندگان شامل نام و نام‌خانوادگی، درجه علمی، آدرس پستی و الکترونیکی، تلفن تماس، نام نویسنده مسئول به زبان فارسی و سپس عنوان انگلیسی مقاله، نام و نام‌خانوادگی, درجه علمی و آدرس نویسندگان به زبان انگلیسی نوشته شوند (بدون شماره صفحه).
- **در صفحه نخست** عنوان مقاله به فارسی، چکیده مقاله و کلمات کلیدی (بدون ذکر نام نویسندگان) آورده شوند.
- **چکیده مبسوط باید بر مبنای دستورالعمل زیر تهیه شود:**
- این چکیده که جایگزین چکیده کوتاه است بایستی بین ۷۰۰-۶۰۰ واژه بوده و به تفکیک دارای اجزای زیر باشد:

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

- همچنین بین قسمتهای چکیده مبسوط تناسب منطقی برقرار باشد، بدین معنی که ۳۰٪ مربوط به مقدمه، ۲۰٪ مواد و روش‌ها و ۵۰٪ مربوط به نتایج و بحث باشد و در انتها هم یک نتیجه گیری کلی نوشته شود.
- **کلمات کلیدی** در انتهای چکیده و حداکثر شش کلمه آورده شوند. کلمات کلیدی در عنوان مقاله وجود نداشته باشند.
- **در متن مقاله** نحوه رجوع به منابع بصورت اسم نویسنده (نویسندگان) و تاریخ انتشار منبع باشد. در ارجاع به منابع باید تا حد ممکن از نام بردن افراد در شروع جمله خودداری و منابع در انتهای جمله و در پرانتز ارائه شوند مانند: (Mohamadi, 2007). برای جداسازی منابع در انتهای جمله از "؛" استفاده می‌شود
- مثال: (Smith, 1999; Samuel et al., 2008; Smith & Samuel, 2009).
- چنانچه در شروع جمله به منبعی استناد شود به صورت نام (سال) نوشته شود و اسامی فارسی نیز باید به لاتین و سال شمسی به میلادی برگردان شوند. نحوه ارجاع به منابع دارای یک نگارنده، دو نگارنده و چند نگارنده که در ابتدای جمله قرار گیرند به ترتیب زیر انجام گیرد:
- Smith (1999)، Smith & Samuel (2009) و Samuel et al. (2008)
- **جداول و شکل ها:** در تنظیم جداول از خطوط افقی و عمودی استفاده نشود مگر در بالا و پایین سطر اول جدول و پایین آخرین سطر آن. هر ستون جدول باید دارای عنوان و واحد مربوط باشد. ترجمه انگلیسی عنوان و زیر عنوان‌ها ی جداول در زیر نوشته فارسی آنها درج شوند. محتوای جداول (اعداد) تنها به انگلیسی نوشته شوند. شکلها کاملا انگلیسی تنظیم گردند. بطور کلی اطلاعات شکل‌ها و جداول قابل استفاده برای خوانندگان انگلیسی زبان باشد.
-
- **در مقایسه میانگین ها با استفاده از روش LSD نیاز به حروف گذاری نمی باشد، چرا که در این روش میانگین ها دو به دو با شاهد مقایسه می شوند .لذا در جدول های مقایسه میانگین ها یا شکل ها مقادیر LSD (5%) برای هر صفت آورده می شود تا امکان مقایسه دو به دو نیز وجود داشته باشد و حروف گذاری در جدول ها و شکل ها حذف شوند. همچنین در تمامی جدول ها و**

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

-

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

فهرست منابع:

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

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

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

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

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

مثال‌هایی از نحوه نوشتن فهرست منابع در ذیل آمده است:

۱- مجلات:

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

۲- کتاب تالیف شده:

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

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

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

۴- مقاله در نشریه برخط (On-line):

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

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

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

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

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

۷- رساله‌های تحصیلی:

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

۸- کنفرانس‌ها ی علمی:

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

۹- گزارش‌های علمی:

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

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

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

۱۰- نرم افزار های کامپیوتری:

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

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

از کلیه همکاران، پژوهشگران و دانشجویان تحصیلات تکمیلی که مایل به چاپ مقاله در این مجله می‌باشند، تقاضا می‌شود مقالات خود را با مشخصات فوق تهیه و از طریق سایت نشریه به صورت الکترونیکی برای دفتر نشریه ارسال فرمایند.

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

صندوق پستی: ۱۱۶۳-۹۱۷۷۵

تلفن: ۰۵۱-۳۸۸۰۴۶۵۴ نمابر: ۰۵۱ -۳۸۷۸۷۴۳۰ E-mail: **Agroecology@um.ac.ir**

http://jm.um.ac.ir/index.php/agroecology

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

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

Research Article
Vol. 15, No. 2, Summer 2023, p. 209-221

Analysis of Phenology and Net Ecological Production of *Hyssopus officinalis* using AEZ Model under Subtropical Conditions of Southern Kerman

Nazila Abousaeidi-Dolatabad[1], Mehrangiz Jowkar[2], Ahmad Aeen[3], Javad Taei-Semiromi[4*], Zeinab Roozpeikar[1]

Received: 17-07-2021 Revised: 15-12-2021 Accepted: 19-12-2021 Available Online: 19-12-2021	**How to cite this article:** Abousaeidi-Dolatabad, N., Jowkar, M., Aeen, A., Taei-Semiromi, J., & Roozpeikar, Z. (2023). Analysis of phenology and net ecological production of *Hyssopus officinalis* using AEZ model under subtropical conditions of Southern Kerman. *Journal of Agroecology*, *15*(2), 209-221. DOI: 10.22067/agry.2021.70648.1045

Introduction

Hyssop (*Hyssopus officinalis*) is a plant belonging to the genus Mint. The origin of this plant is reported to be Asia Minor, and it goes from the Caspian Sea to the Black Sea ndin the sandy areas of the Mediterranean. Usable parts of hyssop are flowering branches, leaves, and seeds. Nowadays, the simulation models of growth and development have been used as suitable tools for acknowledging and analyzing the effect of plant, soil, and atmosphere parameters on plant's growth and development. Over the last two decades, FAO (Food and Agriculture Organization) has developed and successfully applied the agroecological zones (AEZ) methodology and supporting software packages to analysis solutions to various problems of land resources for planning and management for sustainable agricultural development at regional, national and sub-national levels. The issues addressed include linking land-use outputs with other development goals in such areas as food production, food self-sufficiency, cash crop requirements, issues of soil fertility constraints, soil erosion risks, and land degradation. This procedure can calculate and present the potential biomass production of any crops under specific climatic conditions using climatology parameters. FAO has presented the procedure manual of the AEZ Package as a guideline to analyze land suitability for any crops. So, the current research is done to investigate the optimum planting date and forecast the biomass production of Hyssop using the AEZ model.

Materials and Methods

The experiment was conducted as a splitplot in a completely randomized block design with six planting dates and three replications in 2017-2018. The main factor was different levels of nitrogen fertilizer: 0, 50, 100, and 150 kg.ha^{-1}, and the sub-factor was planting dates between 30-day periods from 17 October to 25 March. The data from this experiment were used to calibrate the model of AEZ, and the data from two years of planting date experiments in the period 2016-2017 were used to evaluate the model so that the data collected in the first year were used for calibration and the data of the second year were used for evaluation. The index of Physiological Days (PDays) was used for analyzing the photoperiod response of hyssop during different planting dates. The procedure of Soltane et al. (2006) was used to calculate the PDays index.

1- M.Sc. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Iran.
2- Assistant professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Iran.
3- Associate professor, Department of agronomy and Horticulture sciences, South Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Jiroft, Iran.
4- Assistant professor, Department of Agricultural Science, Technical and Vocational University, Tehran, Iran.
(*-Corresponding author's Email: javadtaei.tvu@gmail.com; jtaei@tvu.ac.ir)

Results and Discussion

The AEZ model evaluation results showed that the RMSEn value of the predicted biomass was 10.81%, and the efficiency index (E), the Hyssop adaptation index (D) value, the coefficient of residual mass (CRM) value in the first year for the predicted value was 0.999, 0.98 and 0.06, respectively. The coefficient of determination (R2) was obtained by linear regression analysis of functions between the actual and simulated values in the first year (R2=0.98). The RMSEn, (E), (D), and (CRM) values for the predicted biomass in the second year were 5.96, 0.999, 0.0454, and 0.98%, respectively. These results indicate that the simulated and actual values are in good agreement. Consequently, the model simulated the biomass with high accuracy. The results of biomass and yield analyzing using the AEZ model indicated a limited growth period within a period in Jiroft station can be occurred from May to 21 September, at this period, the plant stops growing, and the yield decreases. Based on model estimation values for other related climatology stations: the highest biomass yield for Bam climatology station (2321.9 kg.ha^{-1} and 23550.2 kg.ha^{-1}, respectively) can be September to early October, the cold stress limitation can be occurred at the planting date from 1 December to 3 February 3rd, and the heat stress can occur on July planting date. In Kahnuj station, a limited growth period with high temperature can be occurred from Early May to 11 September, and the highest biomass performance can (19413.9 kg.ha^{-1} and 19764.3 kg.ha-^{1}, respectively) be obtained at the planting date from October to early November.

Conclusion

Given the ability of the AEZ model to analyze the hyssop plant production system, which can simulate the effect of different climatic, soil, managerial, and plant variables on plant growth and yield; this model can be widely used in different regions as it is used as an important decision-making and management tool in research and executive dimensions.

Keywords: AEZ mode, *Hyssopus officinalis* planting date, net ecological production

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۲۲۱-۲۰۹

تحلیل فنولوژی و تولید خالص اکولوژیک زوفا (*Hyssopus officinalis*) با استفاده از مدل AEZ در شرایط نیمه‌گرمسیری جنوب استان کرمان

نازیلا ابوسعیدی دولت‌آباد[1]، مهرانگیز جوکار[2]، احمد آیین[3]، جواد طایی سمیرمی[4*] و زینب روز پیکر[1]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۹/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۸

چکیده

کمّی‌سازی رشد و نمو در گیاهان ابزاری مهم جهت بهینه کردن عملیات زراعی و توسعه کشت و تولید گیاهان دارویی است. این پژوهش به‌منظور بررسی امکان پیش‌بینی تاریخ کاشت بهینه زوفا (*Hyssopus officinalis*) با استفاده از مدل AEZ انجام شد. پایگاه داده‌های ورودی مدل از داده‌های آب‌وهوا (تابش خورشیدی، دمای کمینه، دمای بیشینه و بارندگی)، داده‌های گیاه (مراحل و عملکرد زیست‌توده) و داده‌های خاک (ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک) ایجاد شد. آزمایش در مزرعه به‌صورت اسپیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ اجرا شد. عامل اصلی سطوح مختلف کود نیتروژن شامل صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و عامل فرعی تاریخ‌های مختلف کاشت به‌فاصله ۳۰ روزه از ۲۵ مهرماه تا ۲۵ اسفندماه در نظر گرفته شد، داده‌های این آزمایش برای واسنجی مدل و داده‌های دو سال آزمایش‌های تاریخ کاشت در دوره ۱۳۹۵-۹۷ برای ارزیابی مدل استفاده شد. نتایج ارزیابی مدل نشان داد مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (RMSEn) زیست‌توده پیش‌بینی شده ۱۰/۸۱ درصد بود، مقدار شاخص کارایی (E)، مقدار شاخص سازگاری (D) مدل، مقدار شاخص جرم باقی‌مانده (CRM) ، ضریب تبیین (R^2) برای سال اول به‌ترتیب ۰/۹۹۹، ۰/۹۸ ، ۰/۶۶ و ۹۸ درصد بود، مقدار RMSEn، (E)، (D) و (CRM) در سال دوم به‌ترتیب برابر با ۵/۹۶، ۰/۹۹۹، ۰/۹۸ و ۰/۰۴۵۴ و ۰/۹۸ درصد مشاهده شد. نتایج بیانگر تطابق خوب مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی بوده و مدل با دقت بالایی زیست‌توده را شبیه‌سازی نموده است. نتایج حاصل از تحلیل دوره‌ای تاریخ کاشت و تولید زیست‌توده خالص با استفاده از مدل AEZ در ایستگاه‌های هواشناسی منطقه نشان داد: در ایستگاه هواشناسی جیرفت به‌طور میانگین دوره رشد در بازه زمانی خردادماه تا ۳۱ شهریور با محدودیت تنش گرما مواجه است در این زمان، رشد گیاه متوقف می‌شود و تولید زیست‌توده کاهش پیدا می‌کند. در ایستگاه هواشناسی بم، بیشترین زیست‌توده (به‌ترتیب ۲۳۲۱۹/۹ و ۲۳۵۵۰/۲ کیلوگرم در هکتار) در تاریخ کاشت‌های اول مهرماه تا اوایل آبان‌ماه پیش‌بینی گردید در این منطقه، محدودیت تنش سرما در تاریخ کاشت‌های اول دی‌ماه تا ۱۵ بهمن‌ماه و محدودیت دمایی تنش گرما در تیرماه پیش‌بینی شد. در ایستگاه هواشناسی کهنوج دوره محدودکننده رشد از اوایل خردادماه تا اواخر شهریورماه پیش‌بینی گردید، بیشترین عملکرد زیست‌توده (به‌ترتیب ۱۹۴۱۳/۹ و ۱۹۷۶۴/۳ کیلوگرم در هکتار) برای این منطقه در تاریخ‌های کاشت اول آبان‌ماه تا اوایل آذرماه تخمین زده شد.

واژه‌های کلیدی: تولید اکولوژیک ناخالص، تاریخ کاشت، تخمین عملکرد، گیاهان دارویی

مقدمه

۱ - دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، ایران.

۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، ایران.

زوفا (*Hyssopus officinalis*) گیاهی متعلق به تیره نعناعیان[۱] است (Zawislak, 2013). منشاء این گیاه آسیای صغیر گزارش شده و از دریای خزر تا دریای سیاه و همچنین، در مناطق شنی مدیترانه می‌روید. بخش‌های قابل استفاده زوفا سرشاخه‌های گل‌دار، برگ‌ها و بذرها می‌باشد (Fathiazad & Hamedeyazdan, 2011; Tahir et al., 2018). زوفا شامل حدود ۱۰ تا ۱۲ گونه می‌باشد که به‌طور عمده در شرق مدیترانه تا آسیای مرکزی گسترش دارد (Fathiazad & Hamedeyazdan, 2011). زوفا گیاهی است متحمل به خشکی و در مناطق خشک و نیمه‌خشک و گرم و نواحی جنوبی تپه‌ها به‌خوبی رشد می‌کند و مکان‌های آفتابی را برای رشد ترجیح می‌دهد. بالاترین درصد جوانه‌زنی زوفا در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد انجام می‌شود (Mijani et al., 2013; Tahir et al., 2018). با توجه به اهمیت گیاه زوفا از لحاظ دارویی، صنعتی و تجاری به‌عنوان یک محصول اقتصادی سودآور می‌توان به برنامه‌ریزی توسعه کشت آن در استان کرمان اقدام نموده و جایگاه آن را از لحاظ اکولوژیک در نظام‌های زراعی منطقه مشخص کرد. در این راستا، بررسی متغیرهای تولید، تخمین تاریخ کاشت، پیش‌بینی عملکرد و تحلیل عوامل موثر آن به‌عنوان اولین و مهم‌ترین گام، ضروری می‌باشد.

مدل‌های شبیه‌سازی، به‌صورت قابل توجهی برای بهینه‌سازی مدیریت تولید گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرند (Rinaldy et al., 2003). این مدل‌ها اثرات کمّی منابع بیوفیزیکی، مانند خاک و ویژگی‌های آب و هوایی، ویژگی‌های گیاهی و فاکتورهای مدیریتی را بر روی عملکرد محصول و میزان آب مورد نیاز مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهند (Dua et al., 2014). در حال حاضر، مطالعات اندکی در مورد مدل‌سازی تولید زیست‌توده و تحلیل دوره فنولوژیک گیاه زوفا انجام شده است. در مورد کاربرد مدل AEZ روی این گیاه تا به حال گزارشی منتشر نشده است با این حال، برخی مطالعات انجام شده روی کارایی این مدل در گیاهان مورد بررسی قرار گرفته است.

در بررسی پیش‌بینی تاریخ کاشت بهینه گیاه خارمریم (*Silybum marianum*) در منطقه جیرفت برای اولین‌بار از مدل AEZ استفاده شد. نتایج بیانگر آن است که این مدل برای شبیه‌سازی اثر تاریخ کشت بر عملکرد خارمریم قابل اعتماد است. بر اساس نتایج این پژوهش مدل AEZ توانایی بالایی در تحلیل نظام تولید این گیاه دارویی داشت و قادر بود تأثیر متغیرهای مختلف آب و هوایی، اقلیمی، مدیریتی و گیاهی را بر رشد این گیاه و عملکرد آن شبیه‌سازی نماید (Esfandiari, 2016). تخمین عملکرد سیب‌زمینی در منطقه جیرفت با استفاده از مدل AEZ حاکی از کارآیی خوب این مدل در کشت پاییزه سیب‌زمینی بود(Taei-Semiromi et al., 2015)، همچنین این محققین کارایی مدل AEZ را برای گیاهان یونجه (*Medicago sativa*)، گندم (*Triricum aestivum*)، جو، چغندرقند (*Beta vulgaris*) و سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) در منطقه بروجن (استان چهارمحال و بختیاری) مورد بررسی قرار دادند و کارایی بالای این مدل را در تخمین توان بالقوه عملکرد این گیاهان تأیید نمودند (Taei et al., 2011). پیش‌بینی تولید خالص در شرایط اقلیمی خاص می‌تواند گام مهمی در جهت کمّی کردن اثر عوامل محیطی و اقلیمی بر تولید گیاهان دارویی در مناطق مختلف با شرایط اقلیمی متفاوت باشد. بنابراین، هدف از این پژوهش در گام اول بررسی کارایی مدل AEZ و ارزیابی دقت این مدل برای تخمین میزان زیست‌توده گیاه دارویی زوفا در شرایط اقلیمی نیمه‌گرمسیری جیرفت و در گام دوم پیش‌بینی تولید ماده خشک و تعیین تاریخ کشت بهینه این گیاه برای ایستگاه‌های هم اقلیم جنوب کرمان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در جنوب شهر جیرفت (واقع در جنوب استان کرمان) است که بر اساس روش دپائو و همکاران (De Pauw et al., 2008) دارای رژیم رطوبتی خشک[۲] با تابستان‌های بسیار گرم[۳] و زمستان‌های ملایم[۴] می باشد (Taei Semiromi et al., 2015). ارتفاع محل آزمایش از سطح دریا ۶۰۱ متر و موقعیت جغرافیایی آن

۳- دانشیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، جیرفت، ایران.
۴- استادیار گروه علوم کشاورزی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.
(*- نویسنده مسئول: (Email: tvu.ac.irjtaei@
DOI: 10.22067/agry.2021.70648.1045

1- Lamiaceae

2- Aridity index <0.2
3- Very warm summer, Tmean summer >30℃
4- Cool winter, Tmean winter >0℃

۵۷ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی، ۴۷ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی است.

آزمایش مزرعه

آزمایش مزرعه به‌منظور ایجاد پایگاه داده مورد نیاز مدل شامل زمان وقوع مراحل فنولوژیک، کل ماده خشک تولید شده در هر مرحله، وزن خشک سرشاخه گل‌دار و کل زیست‌توده نهایی اجرا شد. به‌طوری‌که داده‌های برداشت شده در سال نخست برای کالیبراسیون و داده‌های سال دوم برای ارزیابی استفاده شد. آزمایش کشت زوفا به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ی پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب استان کرمان واقع در جنوب جیرفت در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ اجرا شد. سطوح مختلف کود نیتروژن به‌عنوان عامل اصلی در چهار سطح: ۰ (N_1)، ۵۰ (N_2)، ۱۰۰ (N_3) و ۱۵۰ (N_4) کیلوگرم در هکتار و تاریخ‌های مختلف کاشت به‌عنوان عامل فرعی در شش سطح: ۲۵ مهرماه (T_1)، ۲۵ آبان‌ماه (T_2)، ۲۵ آذرماه (T_3)، ۲۵ دی‌ماه (T_4)، ۲۵ بهمن‌ماه (T_5) و ۲۵ اسفندماه (T_6) مورد بررسی قرار گرفتند. برای اجرای آزمایش ابتدا زمین مورد نظر آبیاری شده و بعد از گاورو شدن، شخم نیمه‌عمیق با گاوآهن برگرداندار انجام شد و قبل از کاشت دو دیسک عمود برهم و در نهایت، تسطیح لازم صورت گرفت، براساس نتایج تجزیه خاک، از کود سوپر فسفات تریپل (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) قبل از کاشت با خاک مخلوط گردید. سپس عملیات تسطیح و کرت‌بندی زمین صورت گرفت، سپس سیستم آبیاری قطره‌ای نصب گردید. ابعاد هر کرت آزمایشی ۲×۲ مترمربع متشکل از پنج ردیف کاشت در نظر گرفته شد. سپس بذر زوفا در عمق تقریبی دو سانتی‌متری خاک با فاصله ردیف ۴۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف پنج سانتی‌متر کشت شد.

شاخص روز فیزیولوژیک[1] (P-Days): شاخص روز فیزیولوژیک بیانگر نیاز دمایی و فتوپریودی گیاه است که در آن تمام آستانه‌های مربوط به دمای حداقل، بهینه و حداکثر لحاظ شده است. برای محاسبه این شاخص از معادله اصلاح شده سلطانی و همکاران (Soltani, et al., 2006) استفاده شد.

معادله (۱)

PDt = f (T) × f (PP)
f (T) = (T – Tb)/ (To1 – Tb) if Tb < T < To1
f(T) = (Tc – T)/ (Tc – To2) if To2 < T < Tc
f(T) = 1 if To1 < T < To2
f(T) = 0 if T _ Tb or T _ Tc f (PP) = 1 if PP _ Pc
f (PP) = 1– PS × (Pc – PP) if PP < Pc

که در آن، PDt: روزهای فیزیولوژیک تجمع یافته، f (T): تابع دما، f (PP): تابع فتوپریود، T:دما، Tb: دمای پایه، To: دمای بهینه، To1: حد پایینی دمای بهینه، To2: حد بالایی دمای بهینه، Tc: حداکثر دمای قابل تحمل یا دمای بحرانی قابل تحمل، PP: فتوپریود بر اساس ساعت در روز، Pc: فتوپریود بحرانی که در مقادیر بیشتر از آن غده‌زایی سیب‌زمینی به تعویق می‌افتد و PS: ضریب حساسیت به فتوپریود است.

مدل شبیه‌سازی AEZ[2]

این مدل اولین بار توسط فائو به‌منظور محاسبه تولید بالقوه (ظرفیت تولید تابشی- گرمایی) در شرایط اقلیمی مختلف برای گیاهان زراعی پیشنهاد شد (FAO, 1979). این روش با استفاده از ظرفیت ژنتیکی گیاه و ویژگی‌های گیاهی آن با بهره گیری از داده-های اقلیمی مانند تابش خورشید و دما، میزان تولید زیست‌توده محصول برآورد شده است. پارامترهایی که در این مدل باید بر اساس آزمایشات مزرعه‌ای اندازه‌گیری شوند عبارتند از نرخ تولید ماده خشک، ضریب طول دوره رشد، نرخ تنفس و شاخص ضریب تنفس. در نهایت، با استفاده از مدل AEZ عملکرد بالقوه[3] اقلیمی (عملکرد قابل حصول در شرایط اقلیمی یک منطقه) تخمین زده شد و دقت مدل نیز بر اساس شاخص‌های آماری مختلف ارزیابی گردید. معادلات اصلی در مدل فائو به‌صورت زیر است (FAO, 1996):

معادله (۲) Bn=0.36bgm × KLAI/((1/L)+0.25Ct

که در آن، Bn: تولید زیست‌توده خالص ($kg.day^{-1}.ha^{-1}$)، bgm: حداکثر میزان تولید زیست‌توده ناخالص ($kg.day^{-1}.ha^{-1}$)، L: تعداد روزهای لازم در طول فصل رشد، Ct: میزان تنفس و KLAI: ضریب سطح برگ می‌باشند.

معادله (۳) Bgm=f.bo(1+0.002y)+(1-f)bc(1+0.005y)

1- Physiological Days

2- Agro Ecological Zonning
3- Climatic potential yield

کـه در آن، Bgm: حـداکثر نـرخ تولیـد زیسـتتـوده ناخـالص ($kg.day^{-1}.ha^{-1}$)، F: بخشـی از روز کـه آسـمان ابـری اسـت، bo: حداکثر تولید زیستتـوده ناخـالص در روزهـای ابـری و غیـر آفتـابی ($kg.day^{-1}.ha^{-1}$)، 1-f: بخشی از روز کـه آسـمان آفتـابی اسـت، bc: حـداکثر تولیـد زیسـتتـوده ناخـالص در روزهـای روشـن و آفتـابی ($kg.day^{-1}.ha^{-1}$) و y: شاخص ضریب فتوسنتز میباشند.

معادله (۴) $F=1- n/N$

که در آن، n = ساعات آفتابی که اتفاق افتاده است و N: ساعات آفتابی بالقوه (بر اساس عرض جغرافیایی) میباشد.

معادله (۵) $Ct=0.0108\times(0.044+0.0019)\times t+0.001\times(t^2)$

که در آن، C_t: نرخ تنفس و t: متوسـط درجـه حـرارت در طـول فصل رشد میباشند.

دادههای مورد نیـاز مـدل AEZ: ۱- دادههـای هواشناسـی (اقلیمی): دادههای مربوط به حداقل و حـداکثر دمـای روزانـه، بـارش روزانه، رطوبت نسبی هوا، ساعات آفتابی روزانه در سـالهـای اجـرای آزمایش (جدول ۱) و دادههای هواشناسی بلندمدت ایستگاههای مـورد مطالعه استان استفاده گردید (جدول ۲). ۲- دادههـای مزرعـه: بـرای جمعآوری دادههـای مزرعـه (بـهعنـوان دادههـای مشـاهده شـده) از دادههای سال اجرای آزمایش و سـایر آزمـایشهـای انجـام شـده در دانشـگاه جیرفـت و دادههـای مرکـز تحقیقـات اسـتفاده گردیـد. ۳- دادههای خاک: برای ارزیابی مدل به دادههای مربـوط بـه آزمایشـات خاک مزرعه (جدول ۳) شامل بافت خاک، ماده آلی، شوری خاک، pH و سایر ویژگیهای شیمیایی مورد نیاز است.

ارزیابی مدل

ارزیابی مدل AEZ در برآورد عملکرد زیستتوده زوفا در مراحـل رشد با استفاده از بهکـارگیری شـاخصهـای آمـاری شـامل شـاخص $RMSE_n$[۱]، شاخص سازگاری[۲] (D)، ضریب کـارایی[۳] (E) و شـاخص جرم بـاقیمانـده[۴] (CRM) کـه بـهصـورت زیـر محاسـبه مـیشـوند (Willmott, 1982) ارزیابی شد.

شاخص $RMSE_n$ از معادله زیر محاسبه میگـردد (Rinaldy et al., 2003):

معادله (۶) $$RMSEn=\left(\sum_{i=1}^{n}(S_i-M_i)^2/n\right)^{0.5}/\overline{M}_{avr}$$

کـه در آن، S_i و M_i: بـهترتیـب مقـادیر شـبیهسـازی شـده و اندازهگیری شده، n: شمار مشاهدههـا و M_{avr}: میـانگین کـل مقـادیر واقعی است. توان پیشبینی مدل در صورتی که میزان $RMSE_n$ کمتر از ۱۰ درصد باشد، عالی، اگر بین ۱۰ تا ۲۰ درصد باشد، خوب، اگر بین ۲۰ تا ۳۰ درصد باشد، متوسط و اگر بالاتر از ۳۰ درصد باشد، ضـعیف برآورد میگردد (Rinaldy et al., 2003). میتوان این شاخص را بـا استفاده از معادله ۶ بر پایه کیلوگرم در هکتار نیز گزارش نمود. در این صورت، RMSE[۵] با استفاده از معادله زیر محاسبه میشود.

معادله (۷) $$RMSE=\left(\sum_{i=1}^{n}(S_i-M_i)^2/n\right)^{0.5}$$

شاخص سازگاری[۶] (D): یک فراسنجه توصیفی است کـه میـزان آن $-\infty$ تا ۱+ تغییر میکند (Eitzinger et al., 2004). هر چه میزان D به یک نزدیکتر باشد، مدل کاراتر است و شبیهسازی موفقتر بوده است (Eitzinger et al., 2004; Singh et al., 2008).

معادله (۸) $$D=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i-M_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(\left|S_i-\overline{M}\right|+\left|M-\overline{M}\right|\right)^2}$$

ضریب کارایی[۷] (E) بیانگر نسبت انحراف مقادیر شبیهسازی شده از اندازهگیری شده به انحراف مقـادیر انـدازهگیـری شـده از میـانگین است. میزان E بین $-\infty$ تا ۱+ متغیر است. هر چه میزان آن بـه یـک نزدیکتر باشد، مدل کاراتر اسـت و مقـادیر شـبیهسـازی شـده قابـل اطمینانتر است (Willmot, 1982).

معادله (۹) $$E=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(M_i-S_i)}{\sum_{i=1}^{n}\left(M_i-\overline{M}\right)^2}$$

شاخص جرم باقیمانده (CRM): نشانگر مدل برای برآورد بـیش از حد و یا کمتر از حد در مقایسـه بـا انـدازهگیـریهاسـت. در حالـت مطلوب که مقادیر شبیهسازی و اندازهگیری شده بـا هـم برابـر باشـند مقادیر عددی CRM، ME، RMSE برابر بـا صـفر و میـزان E و d

1- Normalized mean root of error squares
2- Index of agreement
3- Coefficient of efficiency
4- Coefficient of residual mass

5- Root mean square error
6- Index of agreement
7- Coefficient of efficiency

برابر یک خواهند بود (Walpole et al., 1998; Willmott, 1982)

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i - \sum_{i=1}^{n} s_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i} \quad \text{معادله (۱۰)}$$

برای ارزیابی شاخص‌های اقلیمی، آگرواکولوژیک و رسم نمودارهای مختلف همچون نمودارهای دمایی، ضرایب حرارتی، طول دوره رشد و شاخص‌های اقلیمی- کشاورزی با اتکا بر آمارهای بلند مدت ایستگاه‌های مورد مطالعه از نرم‌افزار Excel استفاده شد. تحلیل‌های آماری آزمایشات انجام شده در مزرعه با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام گرفت، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال آماری پنج درصد مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند.

نتایج

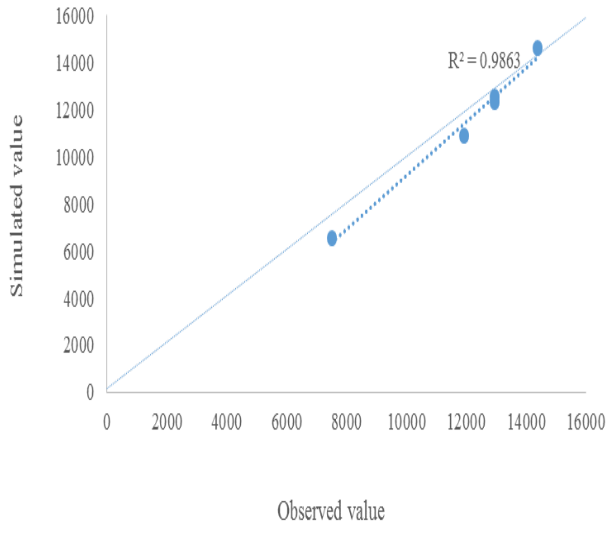
ارزیابی مدل: ارزیابی مدل واسنجی‌شده بر پایه پارامترهای مدل، داده‌های اقلیمی در سال‌های آزمایش و متغیر عملکرد زیست‌توده در تاریخ‌های کاشت متفاوت انجام شد و نتایج در جدول ۱ ارائه شده است. این نتایج ارائه‌دهنده شاخص‌های آماری محاسبه شده برای تعیین دقت مدل برای واسنجی مدل در سال اول است. دقت و درستی مدل به‌ترتیب با مقادیر RMSEn = 10.81، D= 0.98، E= 0.999، CRM= 0.066 در سال اول به‌دست آمد. میزان ضریب تباین (R^2) از تجزیه رگرسیون خطی توابع بین مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده در سال اول ($R2 = 0.98$) به‌دست آمد (شکل ۱).

نتایج جدول ۱ نشان داد مقدار RMSEn برای مقدار زیست‌توده پیش‌بینی شده در سال دوم برابر با ۵/۹۶ درصد، مقدار شاخص کارایی ۰/۹۹۹ درصد، مقدار شاخص سازگاری ۰/۹۸ درصد و مقدار شاخص جرم باقی‌مانده ۰/۰۴۵۴ درصد بود (جدول ۱)، نتایج نشان‌دهنده هم‌خوانی خوب بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده است. مقادیر شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب کارایی (E)، شاخص سازگاری (D)، و ضریب باقی‌مانده (CRM)، بیانگر توانایی بالای مدل جهت پیش‌بینی تولید زیست‌توده در گیاه زوفا برای تاریخ‌های کاشت مختلف می‌باشد. نتایج تحلیل خط یک به یک (شکل ۲). نیز تأییدکننده کارایی بالای مدل AEZ برای پیش‌بینی زیست‌توده گیاه زوفا می‌باشد، به‌طوری‌که ضریب R^2 بیش از ۰/۹۸ است.

جدول ۱- نتایج ارزیابی مدل واسنجی شده برای عملکرد و مراحل فنولوژیک زوفا در سال اول و دوم در شرایط اقلیمی نیمه‌گرمسیری جیرفت

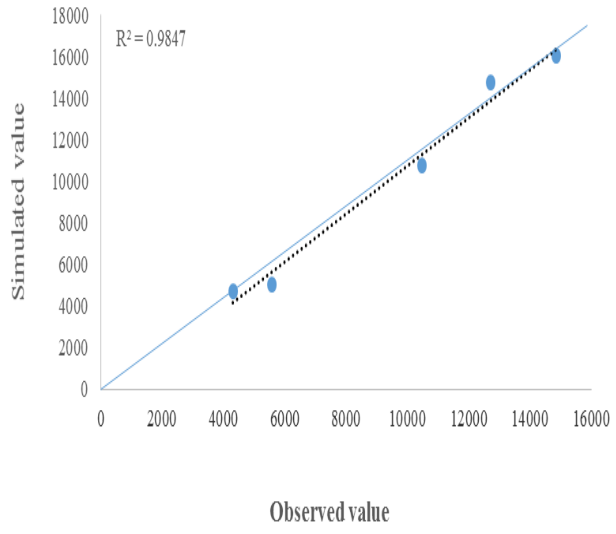
Table 1- Results of evaluation and efficiency of calibrated model for performance and phenological stages of hyssop in the first and second year under subtropical climatic conditions in Jiroft, Iran

سال دوم Second year		سال اول First year	
صفت عملکرد زیست‌توده Biomass yield trait	میزان Level	صفت عملکرد زیست‌توده Biomass yield trait	میزان Level
میانگین واقعی Actual average (kg.ha^{-1})	10279	میانگین واقعی Actual average (kg.ha^{-1})	11933.7
میانگین شبیه‌سازی Average simulation (kg.ha^{-1})	9593.6	میانگین شبیه‌سازی Average simulation (kg.ha^{-1})	11391.5
ریشه میانگین مربعات خطا RMSE (kg)	1111.49	ریشه میانگین مربعات خطا RMSE (kg)	712.41
میانگین مربعات خطای نرمال شده RMSEn (%)	10.81326	میانگین مربعات خطای نرمال شده RMSEn (%)	5.969718
ضریب کارایی مدل E	0.9999695	ضریب کارایی مدل E	0.9999019
شاخص سازگاری D	0.98406	شاخص سازگاری D	0.980317
جرم باقی‌مانده CRM	0.066676	جرم باقی‌مانده CRM	0.045438



شکل ۱- خط ۱:۱ (یک به یک) بین مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی زیست‌توده زوفا در سال اول در شرایط اقلیمی نیمه‌گرمسیری جیرفت

Fig. 1- 1: 1 Line diagram (one by one) between simulated and actual values of hyssop biomass in the first year under subtropical climatic condition in Jiroft, Iran



شکل ۲- خط ۱:۱ (یک به یک) بین مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی زیست‌توده زوفا در سال دوم در شرایط اقلیمی نیمه‌گرمسیری جیرفت

Fig. 2- 1: 1 Line diagram (one by one) between simulated and actual values of hyssop biomass in the second year under subtropical climatic condition in Jiroft, Iran

در صورتی که میزان R^2 بیش از ۶۰ درصد باشد مدل از کارایی قابل قبولی برخوردار است (Hammer & Nuchow, 1994)، لذا با توجه اینکه ضریب تباین بیش از ۰/۹۸ است نیز می‌توان از کارایی این مدل برای پیش‌بینی زیست‌توده زوفا اعتماد نمود. باتوجه به اینکه تاکنون آزمایشی مبنی بر استفاده از این مدل برای گیاه زوفا گزارش نشده است، نتایج این پژوهش اهمیت زیادی دارد. در مورد کارایی و محدودیت‌های این مدل برای سایر محصولات اصلی زراعی نظیر گندم و ذرت مطالعات بیشتری در سطح جهان صورت گرفته است. توان بالقوه عملکرد گندم (عملکرد پتانسیل دانه) در منطقه‌ای واقع در شمال دامغان در استان سمنان را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی بر مبنای روش فائو برای کاشت گندم بررسی شد (Ashraf, 2011) نتایج نشات داد توان بالقوه عملکرد گندم در اراضی این منطقه بین ۳۸۰ و ۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. پایین بودن توان بالقوه عملکرد گندم در برخی واحدهای آگرواکولوژیک به‌علت محدودیت شوری و قلیائیت تشخیص داده شد. همچنین در گزارشی دیگر (Ashraf et al., 2011) توان بالقوه عملکرد گیاه جو (*Hordeum vulgar*) در این منطقه بین ۳۵۳ و ۵۲۷۸ کیلوگرم در هکتار گزارش شد.

تحلیل عملکرد زیست‌توده زوفا با استفاده از مدل AEZ

نتایج حاصل از شبیه‌سازی عملکرد زیست‌توده برای طیف گسترده‌ای از تاریخ‌های کاشت در شهرستان‌های جیرفت، بم و کهنوج شبیه‌سازی شده است. نتایج شبیه‌سازی برای شهرستان جیرفت نشان داد در شرایط کاشت به‌موقع زوفا (اول مهرماه تا اوایل آذرماه) عملکرد به‌طور قابل توجهی بالا است و هر چقدر از این تاریخ دور می‌شویم، عملکرد گیاه کاهش پیدا می‌کند (جدول ۲). در شهرستان بم، در تاریخ کاشت اول مهرماه تا اول آبان‌ماه (به‌ترتیب ۲۳۲۱۹/۹ و ۲۳۵۵۰/۲ کیلوگرم) بیشترین عملکرد زیست‌توده حاصل شد (جدول ۳) و بیشترین عملکرد زیست‌توده زوفا در شهرستان کهنوج در تاریخ کاشت‌های اول آبان‌ماه تا اوایل آذرماه (به‌ترتیب ۱۹۴۱۳/۹ و ۱۹۷۶۴/۳ کیلوگرم) به‌دست آمد (جدول ۴).

منحنی مدل تاریخ کشت جیرفت در تاریخ ۴/۸± ۳۷روز بعد از اول مهرماه بیشترین عملکرد زیست‌توده را نشان می‌دهد. تاریخ کاشت‌های بعد از آذرماه نیز با یک کاهش نمایی (شیب منحنی عملکرد یک تابع درجه دوم است) مواجه شده است. تاریخ کاشت‌های فروردین‌ماه و اردیبهشت‌ماه به‌دلیل مواجه شدن با تنش گرما و عدم تطابق دوره گل‌دهی گیاه با شرایط مناسب اقلیمی (خروج از دوره رشد مناسب پیش‌بینی شده طبق چارچوب فائو) عملکرد بسیار پایینی (به‌ترتیب ۵۶۱۳/۷ و ۹۸۵ کیلوگرم) حاصل نمودند (شکل (3a) و جدول ۲).

جدول ۲- تخمین عملکرد زیست‌توده گیاه زوفا در تاریخ کاشت مختلف برای ایستگاه جیرفت

Table 2- Estimation of biomass yield of hyssop plant (biomass) at different planting dates for Jiroft station

تاریخ کاشت Planting date	تاریخ برداشت Harvesting date	طول دوره رشد Growth period (days)	عملکرد زیست‌توده Biomass yield ($kg.ha^{-1}$)
23 September	23 April	213	20835.3
23 October	21 May	211	20467.8
22 November	8 June	199	20656.0
22 December	19 June	180	19521.6
21 January	27 June	158	17332.8
20 February	6 July	137	12386.2
21 March	18 July	120	5613.7
21 April	5 August	107	985

جدول ۳-تخمین عملکرد زیست‌توده گیاه زوفا در تاریخ کاشت مختلف برای ایستگاه بم

Table 3- Estimation of biomass yield of hyssop plant (biomass) at different planting dates for Bam station

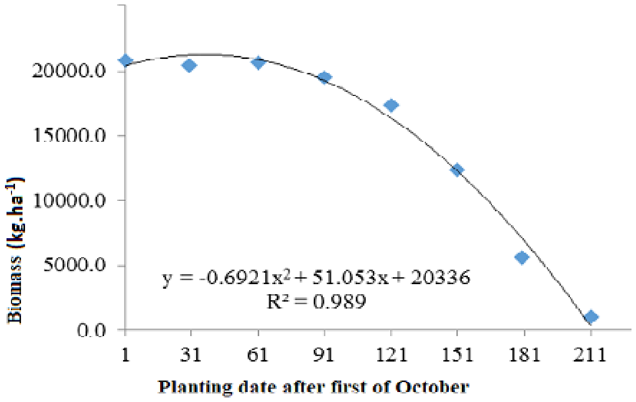
تاریخ کاشت Planting date	تاریخ برداشت Harvesting date	طول دوره رشد Growth period (days)	عملکرد زیست‌توده Biomass yield ($kg.ha^{-1}$)
23 September	11 May	231	23219.9
23 October	4 June	225	23550.2
22 November	20 June	211	22557.4
22 December	30 June	191	21893.3
21 January	5 July	166	18646.6
20 February	13 July	144	15611.6
21 March	25 July	127	9222.2
21 April	12 August	114	5081.4

جدول ٤- تخمین عملکرد زیست‌توده گیاه زوفا در تاریخ کاشت مختلف برای ایستگاه کهنوج

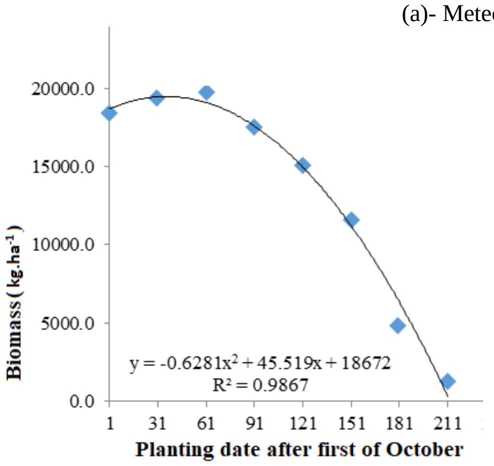
Table 4- Estimation of biomass yield of hyssop plant (biomass) at different planting dates for Kahnooj station

تاریخ کاشت Planting date	تاریخ برداشت Harvesting date	طول دوره رشد Growth period (days)	عملکرد زیست‌توده Biomass yield ($kg.ha^{-1}$)
23 September	4 April	194	18437
23 October	6 May	196	19413.9
22 November	26 May	186	19764.3
22 December	8 June	169	17529.5
21 January	17 June	148	15098.1
20 February	27 June	128	11629
21 March	10 July	112	4792.4
21 April	30 July	101	1283.4

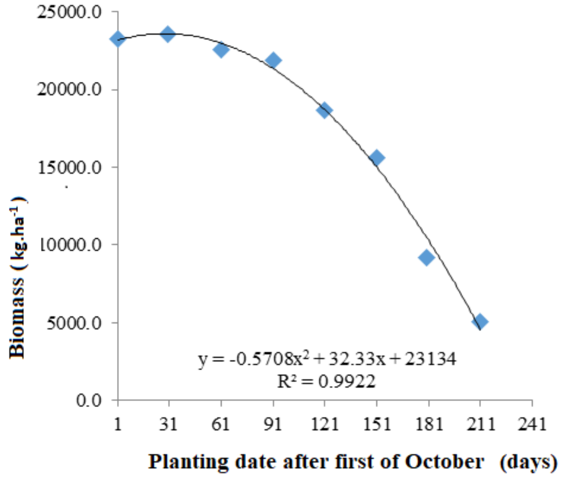
در شهرستان بم بیشترین عملکرد در تاریخ۵/۳ ± ۲۸روز بعد از اول مهرماه به‌دست آمد و تأخیر در کشت بعد از اول مهرماه تا تقریباً ۴۰ روز بعد از آن (۱۰ آبان‌ماه) منجر به افزایش عملکرد شده است به‌طوری‌که شیب تابع در این دامنه منطبق با یک تابع درجه دوم است. تاریخ کاشت‌های بعد از آذرماه نیز با یک کاهش نمایی (مواجه شده است. تاریخ کاشت‌های فروردین‌ماه و اردیبهشت‌ماه به‌دلیل مواجه شدن با تنش گرما و عدم تطابق دوره گل‌دهی گیاه با شرایط مناسب اقلیمی (خروج از دوره رشد مناسب پیش‌بینی شده طبق چارچوب فائو) عملکرد بسیار پایینی (به‌ترتیب ۹۲۲۲/۲ و ۵۰۸۱/۴ کیلوگرم) حاصل نمودند (شکل (۳b) و جدول ۳). منحنی مدل تاریخ کشت کهنوج در۴/۳ ±۳۶ روز بعد از اول مهرماه بیشترین عملکرد را نشان می‌دهد. تاریخ کاشت‌های بعد از ۱۰ آذرماه نیز با یک کاهش نمایی مواجه شده است. تاریخ کاشت‌های فروردین‌ماه و اردیبهشت‌ماه به‌دلیل مواجه شدن با تنش گرما و عدم تطابق دوره گل‌دهی گیاه با شرایط مناسب اقلیمی (خروج از دوره رشد مناسب پیش‌بینی شده طبق چارچوب فائو) عملکرد بسیار پایینی (به‌ترتیب ۴۷۹۲/۴ و ۱۲۸۳/۴ کیلوگرم) حاصل نمودند (شکل (۳c) و جدول ۴).



(a)- ایستگاه هواشناسی جیرفت
(a)- Meteorological station of Jiroft



(c)- ایستگاه هواشناسی کهنوج
(c)- Meteorological station of Kahnouj



(b)- ایستگاه هواشناسی بم
(b)- Meteorological station of Bam

شکل ۳- عملکرد شبیه‌سازی شده زیست‌توده گیاه زوفا در تاریخ کاشت‌های مختلف با استفاده مدل AEZ به‌ترتیب برای ایستگاه‌های هواشناسی جیرفت بم و کهنوج

Fig. 3- Simulated biomass yield of hyssop plant in different planting dates using AEZ model respectively for meteorological stations of Jiroft (a), Bam (b) and Kahnouj (c), (these stations being in southern of Kerman, Iran)

محور افقی نمودارهای بالا روز تاریخ کاشت بعد از اولین تاریخ کشت (اول اکتبر) را نشان می‌دهد.

The horizontal axis from the above curves indicates the planting date (days) after the first planting date (1 October).

درجه روز رشد: درجه روز رشد یکی از مهم‌ترین شاخص‌های حرارتی برای تعیین مراحل مختلف رشد و نمو در گیاهان می‌باشد (Dwyer et al., 1999). درجه روز رشد واحدهای مورد استفاده در اندازه‌گیری تجمع حرارت در طول زمان است که اگر برای گیاهی در یک منطقه محاسبه گردد تقریباً قابل تعمیم برای سایر نقاط خواهد بود (به‌شرط عدم حساسیت به طول روز یا سایر فاکتورهای اقلیمی). مراحل فنولوژیک دوره رشد برای گیاه زوفا در مناطق مورد مطالعه به‌صورت سبزشدن، گل‌دهی و برداشت ثبت گردید. نتایج ارائه شده در جدول ۵ نیاز حرارتی مورد نیاز گیاه زوفا (روش P-Days) را در تغییرات فتوپریودی نشان می‌دهد. نیاز حرارتی گیاه در طول مرحله سبزشدن در روش P-Days در تاریخ‌های کاشت ۲۵ مهرماه تا ۲۵ اسفندماه سال ۱۳۹۶ به‌ترتیب ۰/۷۵ درجه سانتی‌گراد با طول دوره ۱۲ روز، ۳/۴۱ درجه سانتی‌گراد با طول دوره ۱۴ روز، ۴/۶۹ درجه سانتی‌گراد با طول دوره ۱۵ روز، ۰/۱۸ درجه سانتی‌گراد با طول دوره

۱۵ روز و ۰/۸ درجه سانتی‌گراد با طول دوره ۱۱ روز و ۲ درجه سانتی‌گراد با طول دوره هشت روز به‌دست آمد (جدول ۵). درجه روز رشد در تاریخ کاشت‌های مختلف برای روش P-Days به‌ترتیب برابر با ۳۵/۰۷، ۳۲/۴، ۳۶/۴، ۲۶/۳، ۲۱/۹ و ۳۹/۱ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. نتایج نشان داد که زمان شروع گل‌دهی در تاریخ‌های مختلف کاشت متفاوت بود، به‌طوری‌که با تأخیر در تاریخ کاشت زمان شروع گل‌دهی زودتر آغاز و به پایان رسید در نتیجه، میزان طول دوره گل‌دهی کاهش یافت (جدول ۵). نیاز حرارتی گیاه زوفا در مرحله برداشت در روش P-Days به‌ترتیب تاریخ کاشت‌ها معادل ۵۴/۳۸، ۵۳/۳۹، ۵۲/۸۸، ۲۶/۳۸، ۲۱/۹۹ و ۳۹/۲۹ درجه سانتی‌گراد با طول دوره به‌ترتیب ۳۰، ۳۶، ۵۳، ۶۱، ۴۵ و ۴۴ روز بود (جدول ۵).

جدول ۵- مراحل فنولوژیک بر اساس مشاهدات آزمایش مزرعه برای روش P-Days در منطقه جیرفت

Table 5- Phenological stages based on field experiment observations for the P-Days method in the Jiroft region

مراحل فنولوژیک Phenological stages	تاریخ کاشت Planting date	زمان شروع Start time	زمان پایان End time	دوره رشد (روز) Growth period (days)	درجه روز رشد روش P-Days Growth Degree Day (GDD)
کاشت تا سبز شدن Planting to emergence	2017.10.17	2017.10.17	2017.10.29	12	0.75
	2017.11.16	2017.11.16	2017.11.30	14	3.41
	2017.12.16	2017.12.16	2017.12.31	15	4.69
	2018.01.15	2018.01.15	2018.01.30	15	0.18
	2018.02.14	2018.02.14	2018.02.25	11	0.8
	2018.03.16	2018.03.16	2018.03.23	8	2
گل‌دهی Flowering	2017.10.17	2017.10.29	2018.04.05	158	35.07
	2017.11.16	2017.11.30	2018.04.06	127	32.4
	2017.12.16	2017.12.31	2018.04.19	109	36.4
	2018.01.15	2018.01.30	2018.05.29	119	26.3
	2018.02.14	2018.02.25	2018.07.04	129	21.9
	2018.03.16	2018.03.23	2018.07.21	120	39.1
برداشت Harvest	2017.10.17	2018.04.05	2018.05.05	30	54.38
	2017.11.16	2018.04.06	2018.05.12	36	53.39
	2017.12.16	2018.04.19	2018.06.11	53	52.88
	2018.01.15	2018.05.29	2018.07.29	61	26.38
	2018.02.14	2018.07.04	2018.08.18	45	21.99
	2018.03.16	2018.07.21	2018.09.03	44	39.29

با توجه به مشاهدات ثبت شده اختلاف بین زمان کاشت و اختلاف زمان برداشت در تاریخ کاشت‌های مختلف، شاخص مطالعه شده P-Days بهترین شاخص برای پیش‌بینی مراحل فنولوژیک برای گیاه زوفا می‌باشد. به‌عنوان مثال، فاصله زمانی کاشت در تاریخ کشت اول و دوم نزدیک به ۳۰ روز بود، امّا فاصله زمانی برداشت آن‌ها کمتر از ۱۰ روز بود. این نتایج بیانگر این است که اولاً این گیاه دارای ویژگی روز بلندی است (تقریباً ۱۲/۱ ساعت) و دما تأمین نیاز فتوپریودی در تاریخ کشت آبان‌ماه در این ماه باعث کاهش نیاز حرارتی مورد نیاز شده است. با این حال، بر اساس مشاهدات ثبت شده مرحله رشد رویشی حساسیتی به فتوپریود نشان نداد.

شاخص P-Days برای اولین بار در یک مدل آگروکلیماتیک استفاده شد (Radatz, 1979) و نتایج نشان داد که نمو سبزمینی را می‌توان از طریق میزان تجمع P-Days تخمین زد، به‌طوری‌که میزان P-Days معادل ۰-۱۶۰ نشان‌دهنده کاشت تا گل‌دهی است، ۳۳۰-۱۶۰ نشان‌دهنده مرحله رشد رویشی، ۴۴۰-۳۳۰ نشان‌دهنده مرحله غده‌زایی و از ۴۴۰ تا اولین یخبندان یا ظهور دماهای بالاتر از حد آستانه تحمل (در کشت زمستانه مناطق گرمسیری) نشان‌دهنده مرحله حجیم شدن غده‌ها می‌باشد. طائی و همکاران (Taei Semiromi et al., 2015) از شاخص P-Days برای پیش‌بینی فنولوژی سیب‌زمینی در الگوهای کشت بهاره– پاییزه و زمستانه در منطقه جیرفت بررسی نمودند و گزارش کردند این شاخص می‌تواند مراحل فنولوژی سیب‌زمینی را با دقت بالایی تخمین بزند.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پـژوهش مـدل AEZ کـارایی بـالایی بـرای شبیه‌سازی زیست‌توده زوفا در شرایط اقلیمی نیمه‌گرمسـیری جیرفـت نشان داده است. بنابراین، با استفاده از این مدل میزان زیست‌توده زوفا برای طیف متنوعی از تاریخ‌های کشت برای ایستگاه‌های جیرفت بـم و کهنوج در استان کرمان پیش‌بینی گردید و بر اساس خروجـی‌هـای مـدل AEZ مـدل‌هـای رگرسـیونی مناسـب بـرای تخمـین میـزان زیست‌توده در تاریخ‌های کاشت مختلف در شرایط اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی استان برازش داده شد. مدل‌های برازش داده شده با دقـت قابل قبولی بهترین تاریخ‌های کاشت و مناسب ترین زمان کشت زوفـا را بر اساس میزان زیست‌توده تولید شده نشان دادند. بر اسـاس نتـایج مدل AEZ تاریخ کشت مناسب زوفا برای شرایط اقلیمـی جیرفـت در تاریخ ۴/۸± ۳۷ روز در شرایط اقلیمی بـم ۵/۳± ۲۸ روز و در شـرایط اقلیمی کهنوج در۴/۳ ±۳۶ روز بعد از اول مهرماه پیش‌بینی گردید.

References

1. Ashraf, S. (2011). Estimating the land production potential for wheat, using GIS method. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, *5*(8), 118-122. http://ajbasweb.com/old/ajbas/2011/August-2011/118-122.pdf
2. Ashrafv, S., Ashraf, V., & Abbaspour, H. (2011). Assessment of land production potential for barley using geographic information system (GIS) method. *Indian Journal of Science and Technology*, *4*(12), 1775-1777. DOI:10.17485/ijst/2011/v4i12.32
3. De Pauw, E., Mirghasemi, A., Ghaffari, A., and Nseir, B. (2008). *Agro ecological zones of Karkheh River Basin: A reconnaissance assessment of climatic and edaphic patterns and their similarity to areas inside and outside the basin*. Technical Report, Syrian Arab Republic: International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). https://hdl.handle.net/20.500.11766/9711 .
4. Dua, V.K., Govindakrishnan, P.M., & Singh, B.P. (2014). Calibration of WOFOST model for potato. *India. Potato Research*, *41*(2), 105-112. http://epubs.icar.org.in/.../PotatoJ
5. Dwyer, L.M., Stewart, D.M., Carrigan, L., Neave, B.L., Ma, P., & Bichin, D. (1999). A general thermal index for maize. *Agronomy Journal*, 91, 940-946. //doi.org/10.2134/agronj1999.916940x
6. Eitzinger, J., Trnka, M., Hosch, J., Zalud, Z., & Dubrovsky, M. (2004). Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. *Ecological Modelling*, 171, 223-246. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.08.012
7. Esfandiari, F. (1996). Optimum plant date prediction of milk thistle (*Silybum marianum*) in the Jiroft region using crop growth simulation models. MSc Dissertation, Faculty of Agriculture, Jiroft, University of Jiroft. (In Persian)
8. FAO.(1976).*A framework for land evaluation*. Rome. FAO Soils Bulletin32.https://www.fao.org/3/x5310e/x5310e00.htm
9. FAO. (1996). *Guidelines: Agroecological zoning*. Rome. FAO Soils Bultin73. https://www.fao.org/3/w2962e/w2962e00.htm.
10. Fathiazad, F., & Hamedeyazdan. S. (2011). A review on Hyssopus officinalis L.: Composition and biological activities. African Journal of Pharmacy and Pharmacology, 5, 1959–1966. DOI:10.5897/AJPP11.527
11. Hammer, G.L., & Muchow, R.C. (1994). Assessing climatic risk to sorghum production in water limited subtropical environments. I. Development and testing of a simulation model. *Field Crops Research* 36, 221-234. *Field Crops Research* 36, 221-234. https://doi.org/10.1016/0378-4290(94)90114-7
12. Mijani, S., Eskandarinasrbadi, S., Zarghani, H., & Ghiasabadi, M. (2013). Seed Germination and early growth responses of hyssop, sweet basil and oregano to temperature levels. Notulae Scientia Biologicae, 5(4): 462-467. DOI: https://doi.org/10.15835/nsb549164
13. Pourmeidani, A., Ghamghami M., Olya H., & Ghahreman, N. (2020). Determination of suitable regions for cultivation of three medicinal plants under a changing climate. *Environmental Processes* 7, 89-108. https://doi.org/10.1007/s40710-020-00423-w
14. Radatz, H. (1979). Error analysis in the mathematics education. *Journal for Research in Mathematics Education*, 9, 163-172. https://doi.org/10.2307/748804
15. Rinaldy, M., Losavio, N., & Flagella, Z. (2003). Evaluation of OILCROP-SUN model for sunflower in southern Italy. *Agricultural Systems*, 78, 17-30. https://doi.org/10.1016/S0308-521X(03)00030-1
16. Singh, A.K., Tripathy, R., & Chopra, U.K. (2008). Evaluation of CERES wheat and CropSyst models for water-

nitrogen interactions in wheat crop. *Agricultural Water Management*, 95, 776-786. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.02.006

17. Soltani, A., Hammer, G.L., Torabi, M.J., Robertson, B., & Zeinali, E. (2006). Modeling chickpea growth and development: phenological development. *Field Crops Research*, 99, 1-13. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.02.004 .
18. Taei, J., Ghanbari, A., Ghaffari, A., Siahsar, B., Amiri, E., & Ayoubi, S. (2011). New landscape planning concepts to management strategies for developing agricultural regions. *Notulae Scientia Biologicae, 3*(4): 51-57. http://dx.doi.org/10.15835/nsb.3.4.6361.
19. Taei Semiromi, J., Mirbagheri. V., & Amiri, A. (2015). *Agroclimatic zoning of Kerman province for production potato*. Final Report: Jiroft, University of Jiroft. (In Persian)
20. Tahir, M., Khushtar, M., Fahad, M., & Rahman, M. A. (2018). Phytochemistry and pharmacological profile of traditionally used medicinal plant Hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, *8*(7), 132-140.
21. Walpole, R.E., Myers, R.M., & Myers, S.L. (1998). *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*. Sixth Edition, New Jersey: Prentice Hall International. https://spada.uns.ac.id/pluginfile.php/221008/mod_resource/content/1/ProbabilityStatistics_for_EngineersScientists%289th_Edition%29_Walpole.pdf
22. Willmott, C.J. (1982). Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 63, 1309-1313. https://doi.org/10.1175/1520-0477(1982)063%3C1309:SCOTEO%3E2.0.CO;2.
23. Zawislak, G. (2013). The chemical composition of essential hyssop oil depending on plant growth stage. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, *12*(3): 161-170. https://www.researchgate.net/journal/Acta-scientiarum-Polonorum-Hortorum-cultus-Ogrodnictwo-1644-0692

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

Research Article
Vol. 15, No. 2, Summer 2023, p. 223-238

CC BY

The Effect of Type and Amount of Natural Zeolite on Yield and Yield Components of Millet (*Panicum miliaceaum* L.)

Zahra Rezaei[1], Mohammad Ali Behdani[2]*, Abbas Khashiei Siuki[3] and Alireza Samadzadeh[4]

Received: 01-06-2021
Revised: 18-12-2021
Accepted: 05-03-2022
Available Online: 05-03-2022

How to cite this article:
Rezaei, Z., Behdani, M.A., Khashiei Siuki, A., and Samadzadeh, A., 2023. The effect of type and amount of natural zeolite on yield and yield components of millet (*Panicum miliaceaum* L.). *Journal of Agroecology*, *15*(2), 223-238.
DOI: 10.22067/agry.2022.70664.1046

Introduction

In recent years, due to the excessive consumption of agricultural inputs, especially chemical fertilizers and common methods of crop production, problems have arisen that have led to more attention to sustainable agriculture. Zeolite is a natural mineral with nutritional value and can be considered a step toward achieving sustainable agriculture.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of type and amount of zeolite on the yield of common millet, an experiment was conducted in the crop year of 2017-17 at the research farm of the Faculty of Agriculture of Birjand University. This factorial experiment was performed using a randomized complete block design with three replications. Experimental treatments included two types of calcium and potash zeolites in two forms of powder and granules, which were considered at two levels (5 and 10 tons per hectare) with a control treatment without zeolite. In this study, common millet (Pursu) was used for cultivation.

Results and Discussion

The number of clusters per plant: Analysis of variance of data showed that the effect of treatment on this trait was not statistically significant at the level of 5% probability. However, the control treatment had fewer clusters than the potassium powder and granular treatments of 10 tons per hectare and the calcic powder and granule treatments of 10 tons per hectare. Also, the control treatment had more clusters than the calcium granular and powder treatments of 5 tons per hectare and the potassium granular and powder treatments of 5 tons per hectare. A comparison of the average effect of zeolite content on the number of clusters per plant showed increasing the application of zeolite from 5 tons per hectare to 10 tons per hectare caused a significant increase in the number of clusters per millet plant at a probability level of 5%.

Thousand-grain weight: Analysis of variance of 1000-grain weight data as a treatment, to compare with the zeolite control treatment, showed that the effect of zeolite treatment on millet 1000-grain weight was significant at 5% probability level. The factorial variance analysis results showed that the simple effect of zeolite type on 1000-grain weight was significant at 5% probability level. But the simple effect of zeolite content as well as the interaction effect of type and amount of zeolite on this trait was not significant.

Grain yield: The results of analysis of variance of grain yield data to compare treatments containing zeolite with control treatment without zeolite showed that the effect of zeolite treatment on grain yield was significant at

1- M.Sc. of Agroecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran.
2- Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran
3- Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran
4- Teacher, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran
(*- Corresponding author's Email: mabehdani@birjand.ac.ir)

the level of 1% probability. The factorial analysis of variance showed that the simple effect of zeolite content at 1% probability level and the effect of type and amount of zeolite at 5% probability level on grain yield were significant. Nevertheless, the simple effect of zeolite type had no significant effect on this factor. Comparing the average amount of zeolite on grain yield showed that increasing the amount of zeolite increased millet grain yield at a probability level of 5%.

Water use efficiency: The results showed a significant effect of zeolite treatment on water use efficiency at a probability level of 1%. The results of variance for water use efficiency showed that this trait was significantly affected by the simple effect of zeolite content and the interaction between type and amount of zeolite at 5% level, but the effect of zeolite type on it was not significant. Comparing the average amount of zeolite on water use efficiency showed a statistically significant difference between the application of 5 and 10 tons per hectare of zeolite at the level of one percent.

Conclusion

The results showed that the application of different types of zeolite caused a significant increase in 1000-grain weight and number of grains per panicle at a probability level of 5% and grain yield, water use efficiency at a probability level of one percent compared to control treatment (no application of zeolite). Increasing the application of zeolite from 5 to 10 tons per hectare significantly increased the number of spikes per plant, number of seeds per spike, 1000-seed weight, biological yield, grain yield, and water use efficiency. Therefore, with the optimal use of this fertilizer, the effects of drought stress on plants are somewhat reduced, and it is recommended for using in dry areas.

Keywords: Cereals, Sustainable agriculture, Zeolite size

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

مقاله پژوهشی
جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۲۳۸-۲۲۳

تأثیر نوع و میزان مصرف زئولیت طبیعی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارزن معمولی (*Panicum miliaceaum* L.)

زهرا رضائی[۱]، محمدعلی بهدانی[۲]*، عباس خاشعی سیوکی[۳] و علیرضا صمدزاده[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۹/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۴

چکیده

در سال‌های اخیر، مصرف بی‌رویه نهاده‌های کشاورزی به‌ویژه کودهای شیمیایی و روش‌های رایج تولید محصولات زراعی مشکلاتی را به‌وجود آورده که موجب توجه بیشتری به کشاورزی پایدار شده است. زئولیت‌ها از جمله کانی‌های طبیعی هستند که دارای ارزش غذایی نیز بوده و می‌تواند گامی در راستای دستیابی به کشاورزی پایدار محسوب شود. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تأثیر نوع و مقدار زئولیت طبیعی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارزن معمولی (رقم پورسو) (با هدف برداشت دانه) در سال زراعی ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار نوع زئولیت (کلسیک گرانول، کلسیک پودری، پتاسیک گرانول و پتاسیک پودری) در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) بودند. نتایج نشان داد، کاربرد انواع مختلف زئولیت سبب افزایش معنی‌دار صفات وزن هزار دانه و تعداد دانه در خوشه در سطح احتمال پنج درصد و عملکرد دانه، کارایی مصرف آب در سطح احتمال یک درصد در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد زئولیت) شد. افزایش کاربرد زئولیت از ۵ به ۱۰ تن در هکتار موجب افزایش معنی‌دار تعداد خوشه در هر بوته، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب شد، لذا با کاربرد بهینه این کود تا حدودی از اثرات تنش خشکی بر گیاهان کاسته می‌گردد و جهت معرفی در مناطق خشک توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: اندازه زئولیت، غلات، کشاورزی پایدار

مقدمه

یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین شیوه‌های افزایش تولید در واحد سطح که بعد از سال ۱۹۵۰ میلادی و در طی انقلاب سبز به مرحله اجرا گذاشته شد، استفاده از کودهای شیمیایی برای افزایش محصولات کشاورزی بوده است. استفاده از این کودها، تحولی بزرگ و شگرف در صنعت کشاورزی به‌وجود آورد به‌نحوی‌که تولیدات زراعی در کشورهای اجراکننده این پروژه تا چندین برابر افزایش یافت (Kazemi Nasab & Pishkar, 2013). انقلاب سبز در زمان وقوع خود برای چندین سال به‌عنوان راه‌حلی قطعی برای مسئله گرسنگی و تأمین غذای مورد نیاز بشر تصور می‌شد. با وجود اینکه کودهای شیمیایی در دهه‌های اخیر، باعث افزایش چشمگیر درآمد کشاورزان شده است، امّا استفاده بی‌رویه از این کودها طی سال‌های اخیر، باعث ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی شده که طی زنجیره غذایی به منابع تغذیه‌ای انسان راه یافته است و تهدیدی برای سلامتی جامعه بشری

۱- کارشناس ارشد، رشته اگرواکولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲- استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۳- استاد، گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۴- مربی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: mabehdani@birjand.ac.ir)
DOI: 10.22067/agry.2022.70664.1046

می‌باشد (Omidi et al., 2009)، لذا توجه به کشاورزی پایدار یا کشاورزی با مصرف بهینه نهاده‌ها از اواسط دهه ۱۹۸۰ به‌دلیل فشارهای اقتصادی و حساسیت نسبت به کیفیت محیط‌زیست و جلوگیری از فرسایش زمین‌های زراعی آغاز شد (Koocheki et al., 2008). استفاده حداقل از نهاده‌های شیمیایی و آلاینده محیط‌زیست و افزایش دانش فنی لازم برای دستیابی به حداکثر بهره‌وری، جایگزین کردن مواد و روش‌های همسو با طبیعت نظیر استفاده از مواد طبیعی همچون زئولیت‌ها است که به‌کمک ساختار مولکولی و بلورین خاص خود، امکان بهره‌برداری بیشتر از نهاده‌های شیمیایی را فراهم می‌سازد (Sahary et al., 2009).

زئولیت‌ها، آلومینوسیلیکات‌های معدنی کریستالی و با شبکه سه‌بعدی می‌باشند. اسکلت باز آن‌ها شامل کانال‌ها و حفراتی حاوی کاتیون‌ها و مولکول‌های آب است و به‌علت تحرک این کاتیون‌ها، پدیده تبادل یون که یکی از ویژگی‌های زئولیت‌ها است، ایجاد می‌شود. این کانی‌ها می‌توانند نقش بسزایی در رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار ایفا کنند. از خصوصیات بارز زئولیت‌ها قابلیت آن‌ها در دهیدراسیون برگشت‌پذیر و نیز تبادل کاتیون‌ها بدون تغییر ساختمانی است (Kazemian & Rahimi, 2003). با توجه به این ویژگی‌ها و فراوانی زئولیت‌های طبیعی در کشور و همچنین با توجه به استخراج آسان و قیمت اقتصادی مناسب آن‌ها، کاربرد این مواد در بخش کشاورزی می‌تواند گامی مؤثر در پیشرفت این بخش باشد (Kazemian, 2000). زئولیت‌ها گروهی از آلومینوسیلیکات‌های آبدار با ساختمان بلوری ویژه‌ای هستند که قابلیت فراوان آن‌ها در جذب و ذخیره‌سازی آب سبب می‌شود که آب مصرفی گیاه ذخیره شود تا در هنگام لزوم از آب ذخیره شده در زئولیت استفاده شود و همچنین به‌دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و قرار گرفتن بعضی کاتیون‌ها از جمله آمونیوم در شبکه خود، علاوه‌بر نقش اصلاح‌کنندگی در خاک، می‌توانند نقش تغذیه‌ای داشته و باعث بهبود رشد گیاه به‌خصوص در اراضی با قابلیت تبادل کاتیونی پایین شوند (Harb & Mahmoud, 2009). جذب انتخابی و آزادسازی کنترل شده عناصر غذایی از زئولیت باعث می‌شود، در صورت انتخاب نوع صحیح زئولیت مصرفی، هنگامی‌که این مواد به‌عنوان اصلاح‌کننده به خاک اضافه می‌شوند، از طریق افزایش فراهمی طولانی‌مدت آب و عناصر غذایی به بهبود رشد گیاه کمک کنند (Tohidi-Moghaddam et al., 2009). در آزمایشی که توسط رحیمی (Rahimi, 2006) بر گیاه کلزا (Brassica napus) انجام گرفت، به این نتیجه رسیدند که مصرف زئولیت به میزان ۱۰ تن در هکتار باعث بهبود رشد گیاه از طریق افزایش تعداد شاخه‌های فرعی، طول خورجین، تعداد خورجین بارور در بوته و همچنین کاهش تعداد خورجین غیر بارور در بوته، گردید. زئولیت‌ها از طریق افزایش تبادل کاتیونی خاک و با ایجاد یک حالت پیوستگی انتخابی، موجب بهبود ساختمان خاک می‌شوند. زئولیت‌ها با ساختاری بسیار متخلخل و با سطح داخلی بسیار گسترده موجب تثبیت عناصر غذایی در بین ساختار خود شده و از طریق رهاسازی تدریجی آن‌ها، فراهمی درازمدت این عناصر را برای گیاه ایجاد نموده و در نهایت، سبب افزایش توانایی گیاه در مصرف عناصر و در نتیجه، افزایش عملکرد می‌شوند. کشور ایران علی‌رغم گستردگی زمین و تنوع گیاهان، از دیرباز با مشکل کمبود آب برای کشاورزی روبرو بوده است. ایران در منطقه خشک و نیمه خشک دنیا واقع شده است که میانگین بارش بسیار پایینی دارد که منجر به بی‌ثباتی بخش کشاورزی شده است (Jajarmi et al., 2013). به‌دلیل این شرایط، گیاهان دائماً در شرایط تنش به سر می‌برند و برای سازگاری با این شرایط، تغییرات مورفولوژیک و فیزیولوژیک در ساختار و ترکیب‌ها و فرایندهای شیمیایی خود ایجاد می‌کنند، تا با این تنش‌ها مقابله نمایند، لذا درک بهتر مکانیسم‌های مورفو- فیزیولوژیکی دخیل در تحمل به خشکی، کلیدی برای توسعه راهکارهای شناخت گونه‌های مقاوم به خشکی است و می‌تواند راه‌حل مناسبی برای افزایش تولید گیاهانی باشند که بتوانند با صرف آب کمتر، عملکرد بیشتری داشته باشند (Modir-Shanehchi, 1992).

ارزن (*Panicum miliaceaum* L.) از جمله مهم‌ترین گیاهان علوفه‌ای است که به‌دلیل داشتن فصل رشد کوتاه، مقاومت نسبی بالا در مقابل خشکی و شوری، میزان بالای پروتئین، پربرگی و خوش‌خوراکی و عدم دارا بودن اسید پروسیک، چهار کربنه بودن، توانایی بالای تولید آن در نواحی گرم و خشک و کارایی بالای مصرف آب آن نسبت به گونه‌های سه کربنه (Kusaka et al., 2005) و همچنین سازگاری بالا با شرایط نامساعد محیطی و فقر خاک، که از خصوصیات مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله خراسان جنوبی می‌باشد، می‌تواند از مهم‌ترین محصولات این مناطق برای تغذیه دام و تولید محصول باشد (Azari Nasrabadi &Mirzaei, 2012)، بنابراین با توجه به فواید فراوان کاربرد زئولیت در کشاورزی و با توجه به اینکه کشت گیاه ارزن در منطقه بیرجند مرسوم است، هدف از

اجرای این آزمایش بررسی تـأثیر نـوع و میـزان مصـرف زئولیـت بـر عملکرد و اجزای عملکرد ارزن با هدف تولید دانه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسـی تـأثیر نـوع و میـزان زئولیـت بـر عملکـرد ارزن معمولی، آزمایشـی در سـال زراعـی ۹۷-۱۳۹۶ در مزرعـه تحقیقـاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند واقع در کیلومتر ۵ جـاده بیرجنـد-کرمان با عـرض جغرافیـایی ۳۲ درجـه و ۵۶ دقیقـه شـمالی و طـول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۴۸۰ متری از سـطح دریا انجام شد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلـوک-های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل دو نوع زئولیت کلسیک و پتاسیک در دو شکل پودری و گرانول بودند که در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) در نظر گرفته شـد. در ایـن پژوهش، از گیاه ارزن معمولی (رقم پورسو) برای کشت استفاده گردید. بذر مورد نیاز از مرکز تحقیقـات کشـاورزی و منـابع طبیعـی خراسـان جنوبی تأمین شد. زئولیت‌های مورد استفاده از معادن سمنان و شرکت افرازند تهیه شد (قیمت هر کیلو زئولیت در زمان اجرای طـرح ۱۱۰۰۰ ریال بوده است). مشخصات زئولیت‌های کلسیک و پتاسیک به‌ترتیـب در جدول ۱ نشان داده شده اسـت (Khashei Siouki & Ahmadi, 2015).

جدول ۱- ترکیبات زئولیت کلسیک مورد استفاده

Table 1- Calcium zeolite compounds used

نوع ماده Type of materials	فسفر(درصد) P_2O_5 (%)	منگنز(درصد) Mno (%)	تیتانیوم(درصد) TiO_2 (%)	منیزیوم(درصد) MgO (%)	پتاسیم(درصد) K_2O (%)	سدیم(درصد) Na_2O (%)	کلسیم(درصد) CaO (%)	آهن(درصد) Fe_2O_3 (%)	آلومینیوم(درصد) Al_2O_3 (%)	سیلیس(درصد) SiO_2 (%)
مقدار Amount	**0.013**	**0.023**	**0.162**	**0.63**	**3.68**	**3**	**2.21**	**1.31**	**7.88**	**70.95**
نوع ماده Type of materials	کروم Cr (mg.kg^{-1})	نیکل Ni (mg.kg^{-1})	فسفر P (mg.kg^{-1})	روی Zn (mg.kg^{-1})	مس Cu (mg.kg^{-1})	استرانسیم Sr (mg.kg^{-1})	باریم Ba (mg.kg^{-1})	کلر Cl (mg.kg^{-1})	گوگرد SO_3 (%)	تعیین مقدار مواد آلی در خاک به روش افت حرارتی L.O.I (%)
مقدار Amount	7	12	39	5	54	399	1154	3504	1.34	8.12
ترکیبات زئولیت پتاسیک مورد استفاده Potassium zeolite compositions										
نوع ماده Type of materials مقدار Amount	0.006	0.017	0.15	0.39	3.43	3.1	1.12	0.91	7.68	70.25
نوع ماده Type of materials مقدار Amount	6	5	27	2	56	666	1158	2049	0.6	11.84

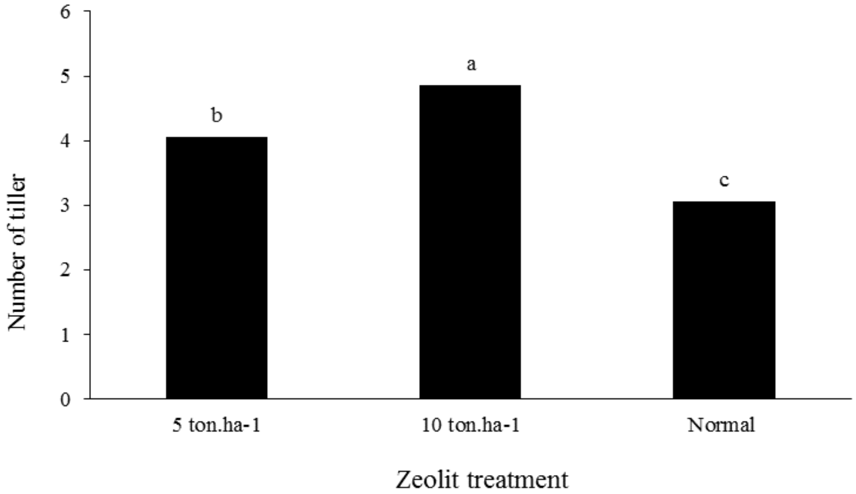
جهت آماده‌سازی زمین در نیمه اول خردادماه سال ۱۳۹۶، ابتدا بـا استفاده از گاوآهن برگردان‌دار یک شـخم عمیـق زده شـد. کودهـای مورد نیاز زمین به‌میزان ۹۰ کیلوگرم در هکتـار سـولفات پتاسـیم، ۹۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفره به‌صورت سـوپر فسـفات تریپـل و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره بر اساس آزمایش خاک به زمین داده شد. لازم به ذکر است که کودهای پتاس و فسفات به‌صورت کودهای پایه و قبل از کشت گیاه زراعی به زمین اضافه شدند و مقدار نیتروژن مورد نیاز گیاه در دو مرحله (قبل از کشت و بعد از تنک کردن در مرحله سه تا چهار برگی) و به نسبت مساوی در اختیار گیاه قرار داده شد. در این آزمایش، کرت‌هایی با طول پنج متر و عرض دو متـر ایجـاد شـد کـه فاصله بین کرت‌ها یک متر و فواصل بین بلوک‌ها نیز سه متر در نظر گرفته شد. هر کرت آزمایش مشتمل بر چهار ردیف کاشت بـه‌فاصله

۴۵ سانتی‌متر از هم بود. در هر کرت دو خط کناری و ۰/۵ متر از طرفین طولی کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای در نظر گرفته شد. مقدار زئولیت برای هر کرت مشخص و با توجه به نقشه طرح، توسط نیروی کارگری و با استفاده از بیل تا عمق ۳۰ سانتی‌متری به خاک اضافه و سپس مخلوط گردید و سپس عملیات کاشت صورت گرفت. عملیات کاشت در تاریخ ۱۳ خردادماه ۱۳۹۶ به‌صورت دستی و با تراکم ۴۰ بوته در مترمربع و در عمق ۱/۵ تا دو سانتی‌متری خاک انجام شد. دو آبیاری اولیه مزرعه به‌علت جلوگیری از سله بستن خاک با فاصله سه روز انجام گرفت. بعد از جوانه‌زنی بذور، مزرعه به‌فاصله هر هفت روز یک‌بار آبیاری شد. برای تنظیم و اندازه‌گیری حجم دقیق آب آبیاری کرت‌ها، از پمپ و کنتور حجمی استفاده و توزیع آب بین کرت‌ها با استفاده از شبکه لوله‌کشی صورت گرفت. حجم آب مورد نیاز آبیاری بر اساس تبخیر- تعرق پتانسیل (ET_C) و باران مؤثر در منطقه و نیاز خالص آبیاری گیاه موردنظر که توسط نرم‌افزار NETWAT محاسبه و تعیین گردید. میزان آبیاری در هر مرحله ۴۴ میلی‌متر بود که با توجه به ابعاد هر کرت (۱۰ مترمربع)، ۴۴۰ لیتر، محاسبه شد. تنک بوته‌های ارزن در مرحله سه تا چهار برگی انجام گرفت. عملیات وجین علف‌های هرز نیز در طی دو مرحله و به‌صورت دستی انجام گرفت. برداشت ارزن در تاریخ ۲۵ مهرماه ۱۳۹۶ پس از رسیدگی فیزیولوژیک و کاهش رطوبت دانه به‌حدود ۱۴ درصد، از سطحی معادل دو مترمربع (از دو خط کشت میانی به‌طول ۲۲۲ سانتی‌متر) از هر کرت صورت گرفت. صفات اندازه‌گیری شده شامل تعداد خوشه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب بود. درنهایت، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS v.9.4 تجزیه و تحلیل آماری شدند. برای دیگر محاسبات و رسم شکل نیز از نرم‌افزار Excel *v*.2013 استفاده شد. همچنین در این آزمایش کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف آزمایشی با محاسبه عملکرد اقتصادی تولید شده به حجم آب مصرفی تعیین شد معادله شماره یک (Wakarim et al., 2005).

(1) WUE: Grain yield/Water use

نتایج و بحث

تعداد پنجه در بوته: نتایج آنالیز واریانس داده‌های مورد بررسی نشان‌دهنده اثر معنی‌دار مقدار زئولیت در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد پنجه در بوته بود، امّا اثر نوع زئولیت و اثر متقابل نوع در مقدار زئولیت بر میزان این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی مقدار زئولیت نشان داد که بین سطوح ۵ و ۱۰ تن در هکتار زئولیت اختلاف آماری معنی‌داری وجود دارد، به‌گونه‌ای که بیشترین تعداد پنجه از تیمار ۱۰ تن در هکتار زئولیت به‌دست آمد و کمترین تعداد پنجه در بوته از شاهد (بدون کاربرد کود) به‌دست آمد (شکل ۱).



شکل ۱- اثر مقدار زئولیت (برحسب تن) بر تعداد پنجه در بوته در مقایسه با شاهد

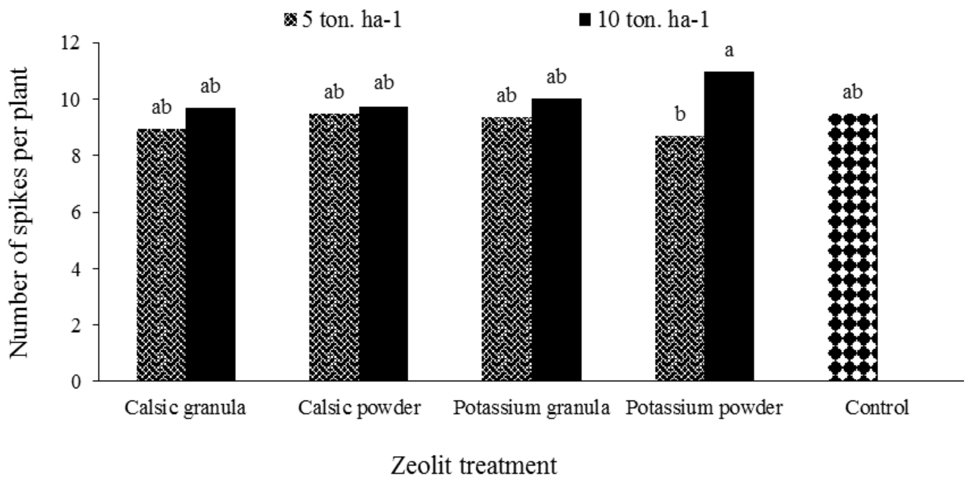
Fig. 1- Effect of zeolite treatment on the number of tiller per millet plant (comparison with control)

زئولیت قادر است توانایی تبادل کاتیونی و نگهداری آب و مواد غذایی را در گیاه افزایش داده و همچنین جذب عناصر غذایی را بهبود

بخشد (Ayan et al., 2005). معمولاً مقادیر بالای Na^{+} در خاک تعادل مواد غذایی موجود در خاک را به هم می‌ریزد و موجب اختلال در تعادل اسمزی گیاه خواهد شد (Pessarakli, 1994) که همین امر می‌تواند باعث کاهش اجزای عملکرد گیاه شود. زئولیت موجب انتقال بهتر Ca^{2+} بین خاک و گیاه را فراهم می‌آورد و در نهایت، نسبت Na^{+}/Ca^{2+} کاهش می‌یابد. در واقع، افزایش مقادیر Ca^{2+} در محیط اطراف ریشه موجب کاهش تجمع یون‌های سمی Na^{+} می‌شود که این امر به افزایش جذب آب و مواد غذایی کمک می‌کند و در نهایت، رشد گیاه افزایش پیدا می‌کند (Ghoreishiasl et al., 2017).

همچنین در بررسی رژیم‌های مختلف آبیاری و سوپرجاذب زئولیت بر عملکرد و اجزای عملکرد سورگوم علوفه‌ای گزارش شده است که کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار زئولیت در مقایسه با شاهد (عدم کاربرد زئولیت) بر تعداد پنجه در این گیاه تأثیر معنی‌داری نداشت، ولی افزایش مقدار زئولیت مصرفی از ۱۵۰ به ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار موجب افزایش ۱۷/۵۸ درصدی تعداد پنجه در بوته نسبت به شاهد شده است (Torabi et al., 2013). در این پژوهش، کاربرد سطوح مختلف زئولیت در هر سه شرایط رطوبتی خاک مورد آزمایش (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) سبب بهبود معنی‌دار بسیاری از صفات مورد بررسی ازجمله تعداد شاخه جانبی در گیاه پنیرک گردید.

تعداد خوشه در هر بوته: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده اثر معنی‌دار مقدار زئولیت و اثر متقابل مقدار در نوع کود بر تعداد خوشه در بوته می‌باشد، امّا اثر اصلی نوع کود بر میزان این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۲). افزایش کاربرد زئولیت از پنج تن در هکتار به ۱۰ تن در هکتار موجب افزایش معنی‌دار تعداد خوشه در بوته ارزن در سطح احتمال پنج درصد گردید. به‌طوری‌که مصرف مقدار ۱۰ تن در هکتار زئولیت موجب افزایش ۱۰/۷۹ درصد تعداد خوشه در بوته ارزن نسبت به تیمار پنج تن در هکتار زئولیت گردید (شکل ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع در مقدار کود نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار بین سطوح مختلف کودی و همچنین بین انواع کودهای مورد مطالعه می‌باشد، به‌طوری‌که بیشترین تعداد خوشه در بوته از تیمار کاربرد کود پتاسیم پودری به‌میزان ۱۰ تن در هکتار به‌دست آمد. به‌طور کلی، نتایج نشان‌دهنده برتری کاربرد ۱۰ تن کود زئولیت در هکتار بر کاربرد پنج تن در هکتار بود، امّا از نظر کاربرد نوع کود و مقایسه آن‌ها با شرایط شاهد اختلاف آماری معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۲).



شکل ۲- اثر تیمار زئولیت بر تعداد خوشه در بوته ارزن (مقایسه با شاهد)

Fig. 2- Effect of zeolite treatment on the number of spikes per millet plant (comparison with control)

صفت تعداد خوشه در بوته با صفات تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه همبستگی قوی دارد و به همین دلیل بسیار حائز اهمیت است. از طرف دیگر، مشخص شده است که زئولیت‌ها با ساختاری بسیار متخلخل و با سطح داخلی بسیار گسترده موجب تثبیت عناصر غذایی در بین ساختار خود شده و از طریق رهاسازی تدریجی آن‌ها، فراهمی درازمدت این عناصر را برای گیاه ایجاد نموده و در نهایت، سبب افزایش توانایی گیاه در مصرف عناصر و درنتیجه، افزایش عملکرد و اجزا عملکرد می‌شوند (Nommik & Vahtras, 1982). در این راستا قیاسی و همکاران (Ghiasi et al., 2014) به بررسی اثر زئولیت روی خصوصیات گیاه کلزا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که زئولیت اثر

معنی‌داری روی تعداد خورجین در بوته کلزا داشته است. در این تحقیق تعداد خورجین در بوته در تیمار کاربرد زئولیت (۱۰ تن در هکتار) در مقایسه با شاهد ۱۳/۷ افزایش داشت. سبی و همکاران (Sibi et al., 2011) نیز نشان دادند که تعداد غوزه در بوته تحت تأثیر تیمار کاربرد زئولیت قرار گرفت و با مصرف زئولیت در سطوح چهار و هشت تن در هکتار موجب افزایش معنی‌دار تعداد غوزه در بوته گردید. به نظر آنان تأمین نیاز رطوبتی گیاه و کاهش تبخیر و تعرق در گیاه، توانایی تولید و رشد گیاه افزایش یافته و تعداد غوزه و به‌تبع آن عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد که با نتایج حاصل از پژوهش حاضر مطابقت دارد. با توجه به نتایج ذکر شده در مورد اثرات متعدد عناصر بر رشد گیاه و همچنین اثرات مثبت زئولیت بر نگاهداشت این عناصر و به‌خصوص نیتروژن می‌توان گفت که در پژوهش حاضر زئولیت با ایفای نقش در تأمین نیازهای تغذیه‌ای گیاه می‌تواند در بهبود رشد گیاه اثرات بسزایی داشته باشد.

تعداد دانه در خوشه: این صفت تحت تأثیر اثر معنی‌دار مقدار زئولیت در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت، امّا اثر اصلی نوع زئولیت و اثر متقابل نوع در مقدار کود بر میزان این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر اصلی مقدار نشان‌دهنده بیشتر بودن تعداد دانه در خوشه در شرایط کاربرد ۱۰ تن در هکتار زئولیت نسبت به شرایط پنج تن و عدم کاربرد زئولیت (شاهد) بود (شکل ۳).

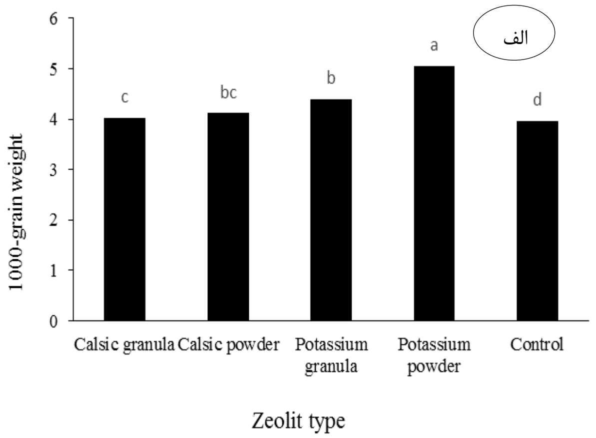
شکل ۳- اثر مقدار زئولیت (برحسب تن) بر تعداد دانه در خوشه در مقایسه با شاهد

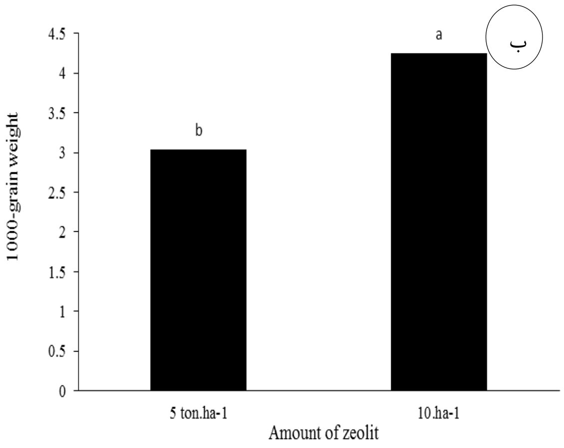
Fig. 3- Effect of zeolite treatment on the number of grain per millet spikes (comparison with control).

یکی از فاکتورهای مهم و تأثیرگذار بر صفت عملکرد دانه، صفت تعداد دانه در خوشه است. با افزایش تعداد دانه در خوشه، تعداد دانه در تک بوته و در نهایت، عملکرد دانه در هکتار افزایش می‌یابد. نتایج پژوهش زاهدی و همکاران (Zahedi et al., 2009) که بر مطالعه اثرات کاربرد زئولیت بر عملکرد گیاه کلزا انجام گرفت، نشان داد که تعداد دانه در غلاف بوته کلزا تحت تأثیر تیمار حاوی زئولیت (۱۰ تن در هکتار) قرار گرفت که از نظر آماری معنی‌دار بود. همچنین ابوسعیدی و همکاران (Al-Busaidi et al., 2008) در مطالعه‌ای تحت شرایط نرمال و تنش شوری به بررسی اثر زئولیت بر واکنش گیاه جو (*Hordeum vulgare*) پرداختند و گزارش کردند که در شرایط نرمال آبیاری و همچنین در شرایط تنش آبیاری با آب شور، تعداد دانه در خوشه جو تحت تأثیر تیمار زئولیت قرار گرفته و صفت مذکور در تیمار حاوی زئولیت در مقایسه با تیمار بدون زئولیت (شاهد) افزایش معنی‌داری داشته است. آن‌ها همچنین بیان کردند که بین تیمارهای شاهد، مصرف ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار زئولیت اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده نشد. در پژوهش میرزاخانی (Mirzakhani, 2013) نیز افزایش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله گیاه گندم تحت تأثیر کاربرد زئولیت گزارش شده است. همچنین با کاربرد زئولیت در خاک عملکرد و اجزای عملکرد گیاه سویا افزایش چشمگیری را نشان داد (Butorac et al., 2002).

وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثرات اصلی نوع و مقدار زئولیت در سطح احتمال پنج درصد

بود، امّا اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نگردید (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر اصلی مقدار کود نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه از تیمار ۱۰ تن در هکتار کود به‌دست آمد (شکل ۴ ب). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر نوع زئولیت نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار زئولیت پتاسیک پودری با میانگین ۵/۱۳ گرم بود که از نظر آماری با سایر تیمارها به‌جز تیمار زئولیت کلسیک گرانول اختلاف معنی‌داری نداشت و همچنین کمترین میزان وزن هزار دانه از تیمار زئولیت کلسیک گرانول با میانگین ۴/۷۳ گرم به‌دست آمد. در مجموع، کاربرد زئولیت در کشت ارزن به‌شکل پودری موجب برتری نسبی این تیمار نسبت به تیمار مصرف زئولیت به‌شکل گرانول در هر دو نوع زئولیت کلسیک و پتاسیک شد. با این‌حال، این برتری نسبی در زئولیت نوع کلسیک از نظر آماری معنی‌دار نبود. بین تیمارهای زئولیت کلسیک گرانول، کلسیک پودری و پتاسیک گرانول نیز اختلاف معنی‌داری از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد مشاهده نشد (شکل ۴– الف).





شکل ٤– اثر نوع (الف) و مقدار زئولیت (ب) بر وزن هزار دانه ارزن

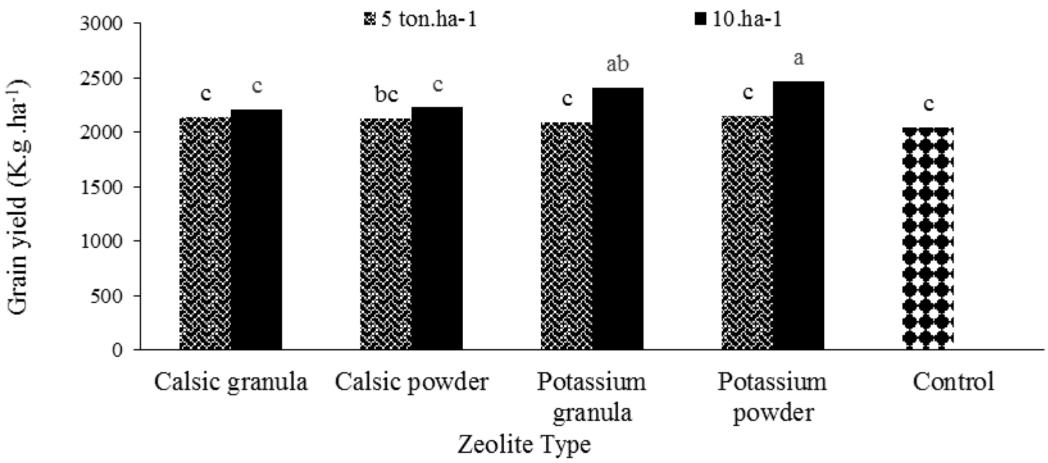
Fig. 4- Effect of type (a) and amount (b) of zeolite on 1000-grain weight of millet

تعداد و وزن دانه، از جمله اجزای مهم عملکرد دانه در گیاهان می‌باشد و تابع فرایند فیزیولوژیک رشد و نمو گیاه می‌باشد (Sarmadnia & Kochaki, 1997). اندازه نهایی دانه بسته به ژنوتیپ و همچنین شرایط محیطی متفاوت است (Azizi et al., 1999). به‌طور کلی، وزن دانه تابعی از سرعت و طول دوره پر شدن آن است. وجود تنش‌های محیطی مانند کمبود آب به‌خصوص در مرحله تشکیل و پر شدن دانه موجب کاهش میزان فتوسنتز جاری، سرعت و طول دوره پر شدن دانه می‌شود و در نتیجه، وزن آن کاهش می‌یابد (Mohammadi et al., 2006). زئولیت‌ها به‌دلیل داشتن خلل و فرج و فضای مولکولی باز، می‌توانند بیش از ۶۰ درصد وزن خود آب جذب کنند. مولکول‌های آب قادرند بدون اینکه به ساختار زئولیت آسیب وارد نمایند، داخل منافذ این مواد قرار بگیرند و یا تبخیر شوند (Kocakusak et al., 2001) و این امر در فراهمی رطوبت مورد نیاز گیاه به‌ویژه در خاک‌های شنی مؤثر می‌باشد. وقتی آب کم می‌شود در نتیجه، فرایند چرخه فتوسنتز ضعیف می‌شود و کربوهیدرات که محصول این فرایند می‌باشد، کم می‌شود؛ لذا کربوهیدرات و مواد معدنی دیگری که برای پر شدن دانه است، کاهش می‌یابد. همه این عوامل تأثیر مستقیمی بر وزن هزار دانه دارند که در نهایت، موجب کاهش عملکرد می‌شوند (Sibi et al., 2011). گزارش شده است که استفاده زئولیت به‌ویژه در سطوح بالای مصرف، تا حدود زیادی می‌تواند از کاهش وزن ۱۰۰ دانه به‌دلیل شستشوی عناصر غذایی از بافت شنی خاک نسبت به تیمار شاهد بکاهد (Hosseini Abri et al., 2010). نتایج مطالعه پازکی (Pazaki, 2010) بر گیاه کلزا حاکی از افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه در اثر مصرف زئولیت بوده، به‌طوری‌که کاربرد میزان ۱۲ تن در هکتار زئولیت بیشترین وزن هزار دانه با میانگین ۳/۹۶ گرم و عدم کاربرد آن کمترین وزن هزار دانه را با میانگین ۳/۶۰ گرم داشت که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. در سایر پژوهش‌های انجام شده بر گیاه کلزا، اثرات مثبت و معنی‌دار زئولیت بر وزن هزار دانه با مصرف ۱۰ تن در هکتار زئولیت نیز گزارش شده است (Zahedi et al., 2009 Rahimi, 2006;). بخش

قابل توجهی از وزن دانه‌ها در دوره پر شدن دانه از فتوسنتز جاری حاصل می‌شود (Imam & Niknejad, 2011) و کاهش رطوبت در دوره پر شدن باعث کاهش فتوسنتز جاری در این دوره رشد شده و در نتیجه، وزن دانه‌ها کاهش می‌یابد. وزن هزار دانه آخرین جزء از عملکرد است که تعیین می‌شود و تنها جزء از اجزای عملکرد است که به شرایط محیطی دوره پس از گل‌دهی بستگی دارد (Evans et al., 1975). گزارش شده است که کمبود رطوبت در مراحل بعد از گل‌دهی موجب کاهش فتوسنتز جاری گیاه شده و روند انتقال مجدد گیاه تحت تأثیر آن قرار خواهد گرفت که بر وزن دانه تأثیرگذار خواهند بود (Miri, 2010). همچنین مشاهده شده است که کمبود آب بعد از گل‌دهی باعث کاهش معنی‌دار آسیمیلاسیون کربن می‌شود و از این رو، موجب کاهش فراهمی فتوسنتز جاری برای دانه در حال رشد می‌شود (Nicolas et al., 1985). با توجه به بررسی‌های فوق در رابطه با خصوصیات زئولیت و اثرات آن، به نظر می‌رسد مصرف زئولیت در پژوهش حاضر موجب بهبود شرایط تهویه خاک، حفظ رطوبت در زمان ازدیاد آن و آزادسازی آن در زمان کمبود رطوبت، کاهش آب‌شویی عناصر مغذی برای گیاه و اثرات مفید دیگری شده است که در نهایت، تمامی این اثرات موجب بهتر شدن شرایط رشد گیاه شده است و رشد بهتر گیاه نیز منجر به افزایش عملکرد نهایی و همچنین اجزای عملکرد و از جمله وزن هزار دانه خواهد شد. از طرفی، با توجه به حساسیت دوره بعد از گل‌دهی به رطوبت در رابطه با وزن دانه، تأثیر مثبت مصرف زئولیت بر تأمین نیاز رطوبتی ارزن در این دوره و افزایش وزن هزار دانه قابل مشاهده می‌باشد.

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که عملکرد دانه تحت تأثیر اثر متقابل نوع زئولیت در مقدار زئولیت و اثر ساده مقدار زئولیت به‌ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد قرار گرفت، امّا اثر ساده نوع زئولیت بر وقدار این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که شاهد با میانگین عملکرد دانه ۲۰۵۰/۳۳ کیلوگرم در هکتار از عملکرد کمتری نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی برخوردار بود، ولی فقط با تیمار پتاسیک پودری ۱۰ تن در هکتار و پتاسیک گرانول ۱۰ تن در هکتار اختلاف معنی‌داری داشت. شاهد نسبت به تیمار پتاسیک پودری ۱۰ تن در هکتار و پتاسیک گرانول ۱۰ تن در هکتار به‌ترتیب ۱۴/۸۲ و ۱۷/۱ درصد کاهش داشت (شکل ۵). همچنین نتایج نشان داد که افزایش میزان زئولیت موجب افزایش عملکرد دانه ارزن در سطح احتمال پنج درصد گردید. به‌طوری‌که مصرف مقدار ۱۰ تن در هکتار زئولیت موجب افزایش ۱۴۹/۷۵ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه ارزن نسبت به تیمار پنج تن در هکتار زئولیت گردید که این افزایش ۶/۹۴ درصد به دست آمد (شکل ۵). به‌طور کلی، در همه تیمارها به‌جز کلسیک پودری، مقدار ۱۰ تن در هکتار زئولیت دارای عملکرد بیشتری نسبت به مقدار پنج تن در هکتار زئولیت بوده است. در تیمار زئولیت کلسیک بین کلسیک پودری و گرانول اختلاف معنی‌داری بین تیمار ۵ و ۱۰ تن در هکتار وجود نداشت، امّا این اختلاف در تیمار زئولیت پتاسیک از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. همچنین بین انواع مختلف زئولیت پنج تن در هکتار از نظر آماری اختلاف معنی-داری مشاهده نشد. تیمار پتاسیک پودری ۱۰ تن در هکتار دارای بیشترین عملکرد با میانگین ۲۴۷۳/۳۳ کیلوگرم در هکتار بوده که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با پتاسیک گرانول ۱۰ تن در هکتار با میانگین ۲۴۰۷/۳۳ کیلوگرم در هکتار نداشت، ولی با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد داشته است (شکل ۵). کمترین میزان عملکرد دانه نیز مربوط به تیمار پتاسیک گرانول پنج تن در هکتار با میانگین ۲۰۹۸/۶۶ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۵).

عملکرد دانه مهم‌ترین فاکتور مورد بررسی گیاهان زراعی خانواده غلات محسوب می‌شود. در پژوهشی که جهت تعیین اثرات زئولیت بر شاخص‌های گیاه کلزا در رژیم‌های مختلف آبیاری انجام گرفته بود، نتایج نشان داد که در آبیاری معمول (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) استفاده از زئولیت (۱۵ تن در هکتار) موجب افزایش معنی‌دار و ۲۳/۸۳ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد (عدم کاربرد زئولیت) شده (Bagheri et al., 2015). نتایج تحقیقات سیبی و همکاران (Sibi et al., 2011) نیز نشان داد که مصرف زئولیت هم در شرایط مطلوب رطوبتی و هم در شرایط تنش رطوبتی موجب افزایش عملکرد دانه گردید. ایپولیتو و همکاران (Ippolito et al., 2011) نیز افزایش عملکرد ذرت در شرایط گلخانه را در اثر افزودن زئولیت نسبت به عدم مصرف آن گزارش کردند. عملکرد دانه در همه گیاهان زراعی به‌عنوان یک عامل مهم اقتصادی مطرح می‌باشد و عوامل محیطی موجب کاهش یا افزایش آن خواهد شد.



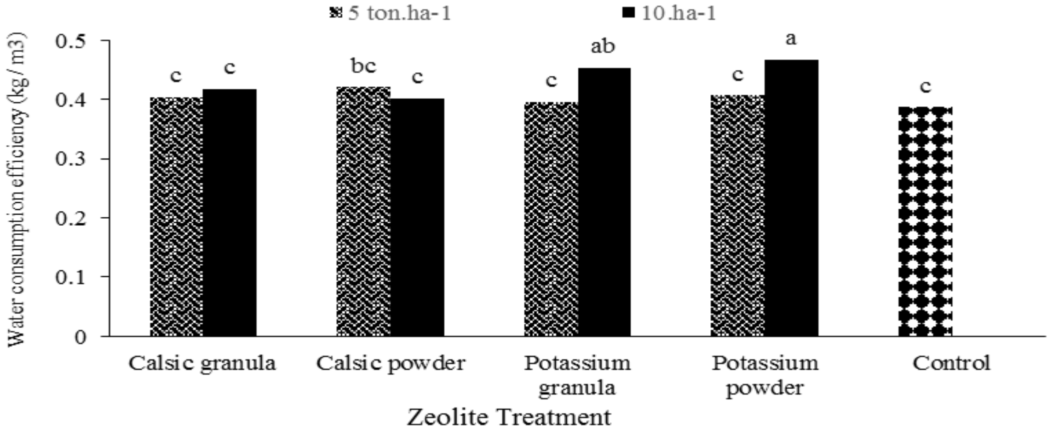
شکل ۵- اثر تیمار زئولیت بر عملکرد دانه ارزن (مقایسه با شاهد)

Fig. 5- Effect of zeolite treatment on millet grain yield (comparison with control)

از جمله این عوامل می‌توان به تنش کم‌آبی اشاره کرد. کمبود آب بر روی رشد کلی گیاه، فتوسنتز گیاه و سایر عوامل که در نهایت، بر عملکرد دانه تأثیر می‌گذارد مؤثر است، ولی در چنین شرایطی مصرف زئولیت می‌تواند رطوبت مورد نیاز گیاه را تا حد قابل قبولی جبران کند و موجب بهبود عملکرد دانه گیاه نسبت به حالتی که بدون زئولیت کشت می‌شود تأمین کند (Sibi et al., 2011). پازکی (Pazaki, 2010) در بررسی اثر مقادیر مختلف زئولیت بر عملکرد دانه گیاه کلزا گزارش کرد که کاربرد ۱۲ تن در هکتار زئولیت با میانگین ۲۸۵۳/۵۳ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با تیمار عدم کاربرد زئولیت با میانگین ۲۳۸۸/۵۰ کیلوگرم در هکتار بر عملکرد دانه اختلاف معنی‌دار آماری داشت. اُم و همکاران (Um et al., 1987) نیز اظهار داشتند که استفاده از زئولیت موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه برنج گردید. همچنین تحت شرایط آبیاری طبیعی (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) زئولیت سبب افزایش عملکرد دانه سویا شد (Nozari et al., 2013). بهادر و تدین (Bahador & Tadayon, 2017) در پژوهش خود به نقش مثبت زئولیت در بهبود عملکرد گیاهان زراعی اشاره کردند و بیان کردند، در صورتی زئولیت قادر است خسارت را از طریق سطح برگ، دوام سطح برگ، سرعت رشد محصول، ماده خشک و دوام زیست‌توده جبران کند که تنها ۲۰ درصد از نیاز آبی گیاه در هر آبیاری تأمین نشود. چرا که با کمبود آب آبیاری به ۴۰ درصد و بیشتر از آن نسبت به آبیاری کامل در هر مرتبه از آبیاری، چون احتمال خسارت-های غیرقابل برگشت در بافت‌های تولیدکننده بیشتر می‌شود زئولیت نیز در این شرایط قادر به تأمین نیاز رطوبتی گیاه نخواهد بود و در نتیجه، نقش مفیدی نخواهد داشت. در خاک‌های شنی با قابلیت نگهداری آب پایین، برخی از گیاهان مثل ذرت در طی دوره رشد خود با شرایط کم آبیاری مواجه شده و سطح برگ خود را به‌منظور کاهش سطح تعرق کم می‌نمایند و از این طریق، موجب استفاده بهینه از آب و مواد غذایی در جهت تولید می‌شوند که این خود سبب کاهش شاخص سطح برگ خواهد گردید. با مصرف زئولیت به‌ویژه در مقادیر بالا، به دلیل خاصیت ویژه این مواد در نگهداری طولانی‌مدت رطوبت در محیط توسعه ریشه به‌ویژه در خاک‌های شنی، امکان رشد رویشی بیشتر و توسعه سطح برگ‌ها برای گیاه فراهم می‌گردد. با توجه به رابطه مستقیمی که بین شاخص توسعه برگ و توان فتوسنتزی گیاه وجود دارد، می‌توان انتظار داشت که مصرف زئولیت با تأمین آب و نیتروژن مورد نیاز گیاه موجب افزایش عملکرد نهایی گیاه گردد (Pansini, 1996).

کارایی مصرف آب: نتایج تجزیه واریانس نشان از معنی‌دار بودن اثر متقابل و اثر ساده مقدار بر کارایی مصرف آب در سطح احتمال پنج و یک درصد بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که شاهد بدون کاربرد زئولیت با سایر تیمارهای آزمایشی حاوی نوع و مقدار زئولیت، با میانگین ۰/۳۸۷ کیلوگرم بر مترمکعب نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی از کارایی مصرف آب پایین‌تری برخوردار بود، امّا این اختلاف تنها با تیمارهای پتاسیک گرانول ۱۰ تن در هکتار و پتاسیک پودری ۱۰ تن در هکتار از نظر

آماری معنی‌دار و با سایر تیمارها غیرمعنی‌دار بود (شکل ۶). کارایی مصرف آب در تیمارهای پتاسیک گرانول ۱۰ تن در هکتار و پتاسیک پودری ۱۰ تن در هکتار به‌ترتیب با میانگین ۰/۴۵۴ و ۰/۴۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب نسبت به شاهد ۱۷/۳۱ و ۲۰/۶۳ درصد افزایش داشت (شکل ۶). همچنین نتایج بیانگر اختلاف معنی‌دار آماری بین کاربرد سطح ۵ و ۱۰ تن در هکتار زئولیت در سطح یک درصد بود. افزایش مقدار زئولیت مصرفی از ۵ به ۱۰ تن در هکتار موجب افزایش ۶/۹۵ درصدی کارایی مصرف آب در سطح پنج درصد شد (شکل ۶). میانگین کارایی مصرف آب برای تیمار ۵ و ۱۰ تن در هکتار زئولیت به‌ترتیب برابر با ۰/۴۰۷ و ۰/۴۳۵ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شد. مقایسه میانگین اثر متقابل نوع و مقدار زئولیت بر کارایی مصرف آب نشان داد که افزایش مصرف زئولیت از ۵ به ۱۰ تن در هکتار موجب افزایش کارایی مصرف آب در ارزن در تیمارهای کلسیک گرانول، پتاسیک گرانول و پتاسیک پودری گردید، امّا این افزایش در تیمار کلسیک گرانول معنی‌دار نشد. همچنین بین انواع مختلف زئولیت در سطح ۵ تن در هکتار اختلاف آماری ازنظر کارایی مصرف آب مشاهده نشد. بیشترین میزان افزایش کارایی مصرف آب در اثر افزایش مصرف زئولیت از ۵ به ۱۰ تن در هکتار از تیمار پتاسیک پودری به‌میزان ۱۴/۷۴ درصد به‌دست آمد. افزایش مصرف زئولیت از ۵ به ۱۰ تن در هکتار موجب کاهش کارایی مصرف آب در تیمار زئولیت کلسیک پودری شد، امّا این کاهش ازنظر آماری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نبود و بیشترین و کمترین میزان کارایی مصرف آب نیز به ترتیب در تیمارهای پتاسیک پودری ۱۰ تن در هکتار با میانگین ۰/۴۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب و پتاسیک گرانول پنج تن در هکتار با میانگین ۰/۳۹۶ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد (شکل ۶).



شکل ٦- اثر تیمار زئولیت بر کارایی مصرف آب ارزن (مقایسه با شاهد)

Fig. 6- Effect of zeolite treatment on millet water use efficiency (comparison with control)

زئولیت‌ها یک مخزن قابل اعتماد از آب هستند که در طی دوره رشد گیاه، تأمین طولانی‌مدت رطوبت خاک را تضمین می‌کنند و از سوی دیگر این مواد، موجب خیس شدن و رسیدن سریع رطوبت به محیط ریشه در آبیاری مجدد می‌شوند، این امر در کاهش مصرف آب در هر وعده آبیاری بسیار مؤثر خواهد بود. میرزاخانی (Mirzakhani, 2013) نیز اظهار کرد که مصرف مقادیر بیشتر زئولیت می‌تواند با توانایی که در جذب و نگهداری رطوبت مازاد در خاک دارد، دامنه نوسانات پرآبی خاک (۲۴ تا ۴۸ ساعت بعد از هر بار آبیاری مزرعه که شرایط غرقابی و کمبود اکسیژن در محیط ریشه گیاه حاکم است) و کم‌آبی (با توجه به بافت خاک، درجه حرارت، نحوه کاشت و مقدار ماده آلی موجود در خاک، در فاصله پنج تا شش روز پس از هر آبیاری) که هر دو حالت برای رشد و نمو گیاه نامطلوب هستند را کاهش داده و با ایفای این نقش مهم، باعث فراهم شدن شرایط یکنواخت‌تری از نظر دسترسی گیاه به رطوبت مورد نیاز، در خاک - شود. همچنین گزارش شده است که استفاده از زئولیت کارایی مصرف آب و کود را بالا می‌برد و می‌تواند باعث افزایش رشد گیاه شود. استفاده از زئولیت کلسیک سبب افزایش کارایی مصرف آب در گیاه تربچه و به‌کارگیری زئولیت پتاسیک سبب افزایش کارایی مصرف آب در شاهی شده است (Ahmadi et al., 2013)، به‌دلیل توانایی بالایی که زئولیت در جذب و نگهداری رطوبت اضافی موجود در خاک دارد، می‌تواند مقدار قابل‌توجهی آب را پس از هر بار آبیاری مزرعه در داخل خلل و فرج خود جذب و نگهداری نماید و به‌مرور در روزهای بعد از آبیاری که رطوبت خاک مزرعه کاهش می‌یابد، آب جذب‌شده توسط زئولیت به مصرف ریشه گیاه می‌رسد. میرزاخانی (Mirzakhani,

و تدین و کریم‌زاده سروشجانی (Tadayon & Karimzadeh Sourshajani 2013) در بررسی اثرات زئولیت بر ویژگی های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارزن پرسو در شرایط کم آبیاری در شهرکرد نشان دادند که افزایش مصرف زئولیت موجب افزایش کارایی مصرف آب جهت افزایش عملکرد دانه ارزن در تمامی سطوح آبیاری شد. در واقع، کارایی مصرف آب تنها در سطوح بالای آبیاری برای عملکرد بیولوژیک معنی‌دار شد و در تیمار آبیاری ۲۵ درصد نیاز آبی، شاهد بدون زئولیت از کارایی مصرف آب بالاتری جهت تولید ماده خشک برخوردار بود. آن‌ها همچنین اظهار کردند که استفاده از زئولیت در شرایط کمبود آب، باعث شد تا گیاه ارزن تنش خشکی کمتری را درک کند. در واقع استفاده از زئولیت باعث کاهش تأثیر زیان‌بار تنش خشکی در گیاه ارزن می‌شود و از این رو، در شرایط محدودیت آبی و تنش خشکی استفاده از ۱۰ تن زئولیت را در هکتار را مقرون‌به‌صرفه و توصیه نمودند.

نتیجه‌گیری: نتایج پژوهش حاضر نشان داد کاربرد انواع مختلف زئولیت سبب افزایش معنی‌دار صفات وزن هزار دانه و تعداد دانه در خوشه در سطح احتمال پنج درصد و عملکرد دانه، کارایی مصرف آب در سطح احتمال یک درصد در مقایسه با تیمار شاهد (عدم کاربرد زئولیت) شد. همچنین با افزایش کاربرد زئولیت از ۵ به ۱۰ تن در هکتار افزایش معنی‌داری در تعداد خوشه در هر بوته، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب مشاهده شد. از آن‌جایی که تیمار ۱۰ تن در هکتار زئولیت موجب افزایش کارایی مصرف آب شد و از آن جا که منطقه بیرجند با مشکلات ناشی از خشکسالی و کمبود آب مواجه است و همچنین با توجه به هزینه پایین استخراج، تولید و مصرف زئولیت، استفاده از تیمار زئولیت در جهت بهبود کارایی مصرف آب در کشاورزی و همچنین بهبود شرایط رشدی گیاه در منطقه بیرجند و مناطق با شرایط آب و هوایی مشابه قابل توصیه می‌باشد.

جدول ۲- تجزیه واریانس تعداد پنجه در بوته، تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در ارزن معمولی تحت تأثیر نوع و مقدار زئولیت (به‌صورت فاکتوریل)

Table 2- Analysis of variance of the number of tiller per plant, number of spikes per plant, number of grains per panicle, 1000-grain weight, grain weight, and water use efficiency in common millet under the influence of type and amount of zeolite (As a factorial)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares					
		تعداد پنجه در بوته Number of tillers per plant	تعداد خوشه در بوته Number of spikes per plant	تعداد دانه در خوشه Number of grains per spike	وزن هزار دانه Weight of one thousand seeds	عملکرد دانه Grain yield	کارایی مصرف آب Water consumption efficiency
بلوک Block	2	191.79 ns	0.60 ns	0.046 ns	0.0059 ns	11969.54 ns	0.0004 ns
نوع زئولیتA Type of zeolite	3	153.99 ns	0.26 ns	0.077 ns	0.21*	26237.7 ns	0.0009 ns
مقدار زئولیتB Amount of zeolite	1	1221.35**	5.81**	0.1066*	0.36*	134550.37**	0.0047**
نوع ×مقدارAB Type and amount	3	43.48 ns	1.18 *	0.0311 ns	0.021 ns	60430.37*	0.0021*
خطا Error	14	124.82	0.79	0.0529	0.059	12017.44	0.0004
ضریب تغییرات CV	-	18.01	9.28	15.57	5.89	14.91	4.91

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

References

1. Ahmadi, M., Khashei Siouki, A., & Shahidi, A. (2013). The effect of natural zeolite on growth indices of Lemongrass (*Melissa officinalis* L.). The First National Conference on Medicinal Plants and Sustainable Agriculture. Shahid Mofteh University, Hamedan, Iran. (In Persian)
2. Al-Busaidi, A., Yamamoto, T., Inoue, M., Eneji, A.E., Mori, Y., & Irshad, M. (2008). Effects of zeolite on soil nutrients and growth of barley following irrigation with saline water. *Journal of Plant Nutrition*, *31*(7), 1159-1173. https://doi.org/10.1080/01904160802134434
3. Azari Nasrabadi, A., & Mirzaei, M.R. (2012). Effect of sowing date on yield and grain yield components of promising fox tail millet lines (*Setaria italica* L.). *Journal of Seedling and Seed Crop*, *2*(28), 105-95. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110458
4. Ayan, S., Yahyaoglu, Z., Gercek, V., & Şahin, A. (2005). Utilization of zeolite as a substrate for containerized oriental spruce (*Picea orientalis* L. (Link.)) seedlings propagation. *In International Symposium on Growing Media*, *779*, 583-590. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.779.75
5. Azizi, M., Soltani, A., & East Khorasani, S. (1378). Rapeseed (physiology, agriculture, breed, biotechnology). (Translation). *Mashhad University Jihad Publications*, Iran. 232p. (In Persian)
6. Bagheri, H., Farahvash, F., Sam Daliri, M., Yarnia, M., & Shirani Rad, A.H. (2015). Investigation of the application of zeolite and manganese on yield, oil content and glucosinolate of rapeseed cultivars in different irrigation regimes. *Journal of Plant Ecophysiology*, 23(7), 44-29. (In Persian with English Summary)
7. Bahador, M., & Tadayon, M.R. (2017). Study of the effect of application of zeolite on the modulation of under-irrigation stress and improvement of cannabis plant functions. *Plant Process and Function*, 21(6), 141-128. (In Persian with English Summary)
8. Butorac, A., Filipan, T., Basic, F., Butorac, J., Mesic, M., & Kisic, I. (2002). Crop response to the application of special natural amendments based on zeolite tuff. *Rostlinna vyroba*, 48(3), 118-124.
9. Eshghi, S., Mahmoodabadi, M.R., Abdi, G.R., & Jamali, B. (2010). Zeolite ameliorates the adverse effect of cadmium contamination on growth and nodulation of soybean plant (*Glycine max* L.). *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 4(10), 43-50.
10. Evans, L.T., Wardlaw, I.F., & Fischer, R.A. (1975). Wheat. In L.T. Evans (Ed.). Crop physiology. Cambridge University. Press, New York. Pp. 101–149.
11. Ghiasi, A.G., Akbari, G.A., Shirani Rad, A., Dadi, A., & Naimi, M. (2014). The effect of zeolite and nitrogen fertilizer application under water stress conditions on agronomic and physiological characteristics of rapeseed. *Journal of Production and Processing of Crops and Horticultural Products*, 12(4), 85-73. (In Persian with English Summary)
12. Ghoreishiasl, S.S., Zahedi, H., Sharghi, Y., Modarres Sanavy, S.A.M., & Moradi Ghahderijani, M. (2017). Effect of zeolite and calcium silicate on salt stress tolerance of two canola varieties. *Iranian Journal of Soil Resource*, 31(3), 354-362.
13. Habibpour Kashefi, A., Qareineh, M.H., Shafeinia, A., & Rosrokh, M. (2017). Effect of different levels of zeolite on yield and yield components of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress in Kermanshah climatic conditions. *Plant Production Technology*, 1(9), 151-141. (In Persian with English Summary)
14. Harb, E.M.Z., & Mahmoud, M.A. (2009). Enhancing of growth, essential oil yield and components of yarrow plant (*Achillea millefolium* L.) growth under safe agriculture conditions using zeolite and compost. *4th Conference on Recent Technologies in Agriculture*, Giza. Egypt.
15. Hosseini Abri, S.A., Parhizkar, M.S., Eradatmand Asli, D., & Moradi, P. (2011). The effect of different levels of zeolite on the yield and yield components of safflower plant. Second National Conference on Agriculture and Sustainable Development, Opportunities and Challenges Ahead. Islamic Azad University of Shiraz. Shiraz.2011. (In Persian).
16. Ippolito, J.A., Tarkelson, D.D., & Lehrsch, G. (2011). Zeolite soil application method affects inorganic nitrogen, moisture and corn growth. *Soil Science*, 176, 136-142.
17. Jajarmi, K., Pishgahifard, Z., & Mehkoui, H. (2013). Environmental Threats Assessment in Iran's National Security. *Strategy Quarterly*, 67, 22.

18. Kazemian, H., & Rahimi. M. (2003). Effect of zeolite application on rice yield. Proceedings of the 8th International Congress of Soil Sciences. University of Guilan, Iran. (In Persian)
19. Kazemi Nasab, A., & Pishkar, Y. (2013). Effects of fertilizer on human health. National Conference on Agricultural Pollutants and Food Health, Challenges and Solutions, March 28-27, Khuzestan, Iran. 46-43. (In Persian)
20. Kazemian, H. (2000). Recent research on the Iranian natural zeolite resource (A review). Access in Nanoporous Materials-II, Banff. Alberta, Canada. May. 25-28.
21. Khashei Siouki, A., & Ahmadi, M. (2015). Zeolites: Introduction, properties and application. First Edition. Birjand University Press, Iran. pp. 130. (In Persian)
22. Kocakusak, S., Savascı, O.T., & Ayok, T. (2001). Dogal zeolitler ve uygulama alanları. Turkiye Bilimsel ve Teknik Arastırma Kurumu Marmara Arastırma Merkezi, Malzeme ve Kimya Teknolojileri Arastırma Enstitusu. Report No: KM. 362.
23. Koocheki, A., Jahan, M., & Nassiri Mahallati, M. (2008). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and free-living nitrogen-fixing bacteria on growth characteristics of corn (*Zea mays* L.) under organic and conventional cropping systems.
24. Kusaka, M., Lalusin, A.G., & Fujimura, T. (2005). The maintenance of growth and turgor in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) cultivars with different root structures and osmo-regulation under drought stress. *Plant Science*, 168(1), 1-14.
25. Mirzakhani, M. (2013). Response of wheat yield components to water stress and zeolite consumption in Farahan region. *Agricultural Research on the Edge of the Desert*, 3(10), 294-279. (In Persian with English Summary)
26. Miri, H. (2010). The effect of drought stress after flowering on the share of stem reserves in grain yield of wheat cultivars. *Electronic Journal of Crop Production*, 1(3), 19-1. (In Persian with English Summary))
27. Modir-Shanehchi, M. (1992). Production and Management of Forage Crops. 2nd edition Astan-e-Ghods Press, Iran. pp. 448.
28. Mohammadi, G.H., Ghasemi Golezani, K., Javanshir, A., & Moghaddam, M. (2006). The Influence of water limitation on the yield of three chickpea cultivars. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 10 (2), 109-116.
29. Mumpton, F.A. (1999). La Roca magica: uses of natural zeolites in agriculture and industry. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(7), 3463-3470.
30. Nazari, F., Khoshkhooi, M., & Eshghi, S. (2007). Effects of natural zeolite on physiological characteristics of parsley. Abstracts of the 5th Iranian Congress of Horticultural Sciences. Shiraz University, Iran. (In Persian)
31. Nicolas, M.E., Gleadow, R.M., & Dalling, M.J. (1985). Effect of post-anthesis drought on cell division and starch accumulation in developing wheat grains. *Annals of Botany*, 553, 433-444.
32. Niknejad, V., & Imam, Y. (2011). Introduction to the physiology of crop yield. Translation. Shiraz University Press, Iran. pp. 594. (In Persian)
33. Nommik, H., & Vahtras, K. (1982). Retention and fixation of ammonium and ammonia in soils. *Nitrogen in Agricultural Soils (Nitrogeninagrics)*, 22, 123-171. https://doi.org/10.2134/agronmonogr22.c4.
34. Nozari, R., TohidiMoghadam, H.R., & Zahedi, H. (2013). Effect of cattle manure and zeolite application on physiological and biochemical changes in soybean (*Glycine max* L.) Merr. Grown under water deficit stress. *Revista Científica UDO Agrícola*, 13(1), 76-84.
35. Omidi, H., Naqdi Badi, H.A., Golzad, A., Torabi, H., & Fotokian, M.H. (2009). The effect of chemical and biological nitrogen fertilizers on the quantitative and qualitative yield of saffron (*Crocus sativa* L.). *Journal of Medicinal Plants*, 30(9), 109-98. (In Persian with English Summary)
36. Pansini, M. (1996). Natural zeolite as cation exchangers for environment protection. *Mineralium Deposita*, 31(6), 563-575.
37. Pazaki, A. (2010). Effect of zeolite content and dehydration stress on yield, yield components and rapeseed harvest index (*Brassica napus* L.) in Rey city. *Journal of Agriculture and Plant Breeding*, 1(6), 16-1. (In Persian with English Summary)
38. Pessarakli, M. (1994). Handbook of Plant and Crop Stress. 1245p. 3rd Edition. Environment & Agriculture Botany. Handbook of Plant and Crop Stress. https://doi.org/10.1201/b10329.
39. Polat, E., Karaca, M., Demir, H., & Onus, A.N. (2004). Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. Journal

of Fruit and Ornamental Plant Research 12(1): 183-189.

40. Rahimi, M. (2006). Investigation of the effect of zeolite application on optimal nitrogen consumption in rapeseed cultivation. M.Sc. Thesis, Islamic Azad University, Middle Branch, Iran. (In Persian)
41. Sahari, M., Feyz Asl, A., & Valizadeh, G.R. (2009). Investigation of the effect of urea foliar application time on quantitative and qualitative characteristics of Sardari wheat in rainfed conditions. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 3(52), 2011-1998. (In Persian with English Summary)
42. Sibi, M., Mirzakhani, M., & Gomarian, M. (2011). Effect of water stress, zeolite and salicylic acid consumption on yield and yield components of spring safflower. *Journal of New Agricultural Findings*, 3(5), 290-276. (In Persian with English Summary)
43. Sarmadnia, G., & Kouchaki, A. (1997). Physiological aspects of rainfed agriculture (translation). Mashhad University Jihad Publications, Iran. (In Persian)
44. Supapron, J., Pitayakon, L., Kamalapa, W., & Touchamon, P. (2002). Effect of zeolite and chemical fertilizer on the change of physical and chemical properties on Lat Ya soil series for sugar cane. In: Proceedings of the 17th WCSS Symposium, August 14-21.
45. Tadayon, M.R., & Karimzadeh Sourshajani, H. (2017). Effect of zeolite on physiological and biochemical properties of *Panicum miliacum* under low irrigation conditions. *Iranian Crop Science*, 2(48), 452-443. (In Persian with English Summary)
46. Tohidi-Moghaddam, H.R., Shirani-Rad, A.H., Noormohammadi, G., Habibi, D., & Boojar, M.M.A. (2009). Effect of super absorbent application on antioxidant enzyme activities in canola (*Brassica napus* L.) cultivars under water stress conditions. *American Journal Agriculture Biology Science*, 4, 215-223.
47. Torabi, A., Farahbakhsh, H., & Khajoueinejad, G. (2013). The effect of different levels of water stress and zeolit on yield and yield components in *Sorghum bicolor* L. *Journal of Crops Improvement*, 15(3), 1-14.
48. Um, M.H., Jung, P.K., Im, J.N., & Um, K.T. (1987). Effect of zeolite application on rice yields by soil texture. Research Reports of the Rural Development Administration-Plant Environment. Mycology and Farm Products Utilization (Korea).
49. Wakarim, A. Aganchich, H. Tahi, H. Serraj, R. & Wahabi, S. (2005). Comparative effects of PRD and regulated deficit irrigation on water relation and water use efficiency in common bean. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 106, 275-287.
50. Zahedi, H., Noormohammadi, G., Rad, A.S., Habibi, D., & Boojar, M.M.A. (2009). The effects of zeolite and foliar applications of selenium on growth yield and yield components of three canola cultivars under drought stress. *World Applied Sciences Journal*, 7(2), 255-262.

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

CC BY

Research Article
Vol. 15, No. 2, Summer 2023, p. 239-261

Investigation of Aboveground Interspecific Interaction in the Intercropping Culture of Soybean (*Glycine max* (L) Merrill) and Niger (*Guizotia abyssinica* Cass)

Meisam Namdari [1], Rahmat Abbasi [2]*, Hematollah Pirdashti [3], and Faeze Zaefarian [2]

Received: 30-05-2021
Revised: 02-11-2021
Accepted: 16-11-2021
Available Online: 16-11-2021

How to cite this article:
Namdari, M., Abbasi, R., Pirdashti, H., & Zaefarian, F. (2023). Investigation of aboveground interspecific interaction in the intercropping culture of soybean (*Glycine max* (L) Merrill) and niger (*Guizotia abyssinica* Cass). *Journal of Agroecology*, *15*(2), 239-261
DOI: 10.22067/agry.2021.70705.1047

Introduction

Today, increasing sustainability in agriculture is essential to meet future food needs. In this regard, the intercropping culture has been considered as a viable and environmentally friendly approach to sustainable agriculture. Further, the investigation of complementary species relationships in annual cropping systems could be addressed to achieve sustainability and development. In order to fully understand the inter-specific interactions between crops, it is crucial to know how to react to neighboring species. The selection of species with different spatial structures in the intercropping culture pattern can be helpful in this regard. The differences in crop canopy in intercropping cultivation increase the efficiency of using water, light, and nutrients, as well as facilitating inter-species competition. Therefore, this study investigated the competition between soybean and Niger seed on yield and yield components, radiation efficiency, and yield advantage in the intercropping cultivation system.

Material and Methods

A field experiment was conducted for two years (2018-19) at the Research Farm of Sari Agricultural Science and Natural Resources University, Iran (33º, 36′ N, 53º, 03′ E with 43 m altitude). The experiment was done based on a randomized complete block with four replications. The experimental treatment was 75% soybean + 25% Niger, 50% soybean + 50% Niger, 25% soybean+75% Niger based on the replacement method and soybean monoculture (100:0) and Niger monoculture (0:100). For example, a 25:75 combination included around three rows consisting of sowing a soybean and one row of Niger, along with vice versa in the 75:25 combinations. The 50:50 combinations also included planting two rows of each studied crop. The seed was sown directly on the 5th of May with a density of 28 plants per square meter. This study was investigated agronomic traits, radiation use efficiency, and the impact of competition on intercropping using Hill and Shimumoto models.

Results and Discussion

Based on the results, different planting ratios significantly affected plant height, dry weight, radiation use efficiency, yield, and yield components of both crops. The highest shoot heights of soybean and Niger, with an average of 76.3 and 189.7 cm, were related to a planting ratio of 75:25, respectively. Also, the number of pods per soybean plant and the number of capitule per plant of Niger in intercropping cultivation increased compared

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.
2- Assistant Professor and Associate Professor, Department of Agronomy, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran, respectively.
3- Professor, Department of Genetic & Agricultural Biotechnologhy Institute of Tabarestan, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran
(*- Corresponding author's Email: r.abasi@sanru.ac.ir)

to monoculture. The reduction in the share of soybean and Niger sowing rows in different intercropping ratios increased the crop yield components. Also, both crops' shoot' dry weight increased in different planting ratios compared to the expected values. The highest percentage of dry shoot weight in soybean and Niger was related to 25:75 and 75:25 planting ratios, respectively. Besides, during different stages of growth, the radiation use efficiency of Niger in planting ratio was 50:50 and 25:75 higher than soybean. Also, the radiation use efficiency in intercropping cultivation was more elevated than in monoculture. Due to the growing trend in its amount compared to the expected values, the effect of competition on radiation use efficiency during different growth stages was the type of mutual cooperation. According to the results, soybean (100:0) and Niger monoculture (0:100) had the highest and lowest grain yield, with an average of 4965.7 and 462.4 kg. ha^{-1}, respectively. Among the different intercropping, the combination 75:25 with an average of 4173.73 kg. ha^{-1} had the highest grain yield. Finally, the average land equivalent ratio in all different intercropping ratios was more than one, and the planting ratio 50:50 had the highest average yield (LER = 1.28).

Conclusion

Increasing resource utilization efficiency and establishing a mutual co-operation relationship is essential in improving the usefulness of Soybean and Niger intercropping cultivation compared to monoculture. Furthermore, the selection of Niger in intercropping systems can be beneficial due to their morphological features and facilitation of competition.

Keywords: Agronomic traits, LER, Mutual co-operation, Radiation use efficiency

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱٤٠۲، ص ۲٦۱-۲۳۹

بررسی تعاملات بین‌گونه‌ای بخش بالایی در کشت مخلوط گیاه سویا

(*Glycine max* (L) Merrill) و دان‌سیاه (*Guizotia abyssinica* (L.f.) Cass)

میثم نامداری[۱]، رحمت عباسی[۲]*، همت الله پیردشتی[۳] و فائزه زعفریان[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۸/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۵

چکیده

انتخاب گونه و الگوی کشت مناسب نقش مهمی در تعیین نوع رقابت و بهره‌وری در سیستم کشت مخلوط دارد، لذا به‌منظور بررسی رقابت سویا (*Glycine max* (L.) Merrill) و دان‌سیاه (*Guizotia abyssinica* (L.f.) Cass) در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر خصوصیات زراعی و کارایی مصرف نور، آزمایشی در دو سال زراعی (۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷) و به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل نسبت‌های کاشت ۰:۱۰۰، ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰، ۷۵:۲۵ و ۱۰۰:۰ (به‌ترتیب دان‌سیاه- سویا) به‌روش جایگزینی بودند. صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته، کارایی مصرف نور، عملکرد و اجزای عملکرد سویا و دان‌سیاه بود. نتایج نشان داد، بیشترین ارتفاع بوته سویا و دان‌سیاه به‌ترتیب با میانگین ۷۶/۳ و ۱۸۹/۷ سانتی‌متر مربوطه‌به نسبت کاشت ۷۵:۲۵ بود. همچنین تعداد غلاف در بوته سویا و تعداد کاپیتول در بوته دان‌سیاه در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص افزایش یافت. به‌طور کلی، تأثیر رقابت بر کارایی مصرف نور در طی مراحل مختلف رشد از نوع همیاری دو جانبه بود. همچنین کشت خالص سویا (۱۰۰:۰) و دان‌سیاه (۰:۱۰۰) به‌ترتیب با ۴۹۶۵/۲۴ و ۴۶۲/۳۹ کیلوگرم در هکتار بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه را در اختیار داشتند. بیشترین میانگین بهره‌وری در کشت مخلوط (LER=۱/۲۸) نیز از نسبت کاشت ۵۰:۵۰ حاصل شد. در نهایت، افزایش کارایی استفاده از منابع و ایجاد رابطه همیاری دوجانبه نقش مهمی در افزایش سودمندی کشت مخلوط سویا و دان‌سیاه در مقایسه با کشت خالص دارد و انتخاب نسبت کاشت ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه- سویا) گزینه مناسبی برای دستیابی به هدف مذکور می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات زراعی، کارایی مصرف نور، نسبت برابری زمین، همیاری دو جانبه

مقدمه

افزایش پایداری در کشاورزی برای رفع نیاز غذایی در آینده و کاهش ردپای زیست محیطی کشاورزی ضروری است. در این میان کشت مخلوط یک استراتژی مناسب برای افزایش بهره‌وری کشاورزی در واحد سطح است، زیرا برای جذب منابع مبتنی بر ساز و کارهای زیست محیطی می‌باشد (Yu et al., 2015). انتخاب گیاهان زراعی با قابلیت متفاوت از نظر استفاده از منابع برای ایجاد رابطه مکملی در سیستم کشت مخلوط ضروری به نظر می‌رسد و برای دستیابی به آن توجه به نوع گیاه، تراکم و الگوی کاشت بسیار مهم است (Stomph et al., 2020). در این بین، استفاده از گیاهان فراموش‌شده که دارای پتانسیل سازگاری و قدرت رقابت بالاتری می‌باشند، می‌تواند به‌عنوان

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۲- به‌ترتیب استادیار و دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۳- استاد، پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: r.abasi@sanru.ac.ir)
DOI: 10.22067/agry.2021.70705.1047

گیاه همراه، نقش مهمی در ایجاد روابط متقابل در کشت مخلوط داشته باشد. از جمله گیاهان مذکور می‌توان به دان‌سیاه (*Guizotia abyssinica* (L.f.) Cass) اشاره کرد که نسبت به سایر دانه‌های روغنی آسیب‌پذیری کمتری به تنش‌های زنده و غیر زنده دارد. این گیاه زراعی در شرایط حاصلخیزی کم خاک، تنش خشکی و مدیریت معقول گیاه زراعی قادر به تولید عملکرد مطلوب است. علاوه‌بر آن، از پتانسیل خوبی برای حفظ خاک و احیای اراضی برخوردار بوده و قابلیت استفاده به‌عنوان کود بیولوژیک را نیز دارد. این بدان معنی است که گیاهان زراعی در تناوب پس از دان‌سیاه، همیشه از رشد مناسبی برخوردارند (Ranganatha et al., 2016). علاوه‌بر مطالب مذکور، کاربرد گیاه لگوم در کشت مخلوط نیز می‌تواند ضمن قابلیت تثبیت بیولوژیک رویکردی پایدار برای کاهش کاربرد نهاده‌های خارج از مزرعه باشد (Machado, 2009) و منجر به ثبات بیشتر عملکرد در محیط‌های محدودکننده و در سیستم‌های کم‌نهاده شود (Jamont et al., 2013). در بین گیاهان دانه‌روغنی نیز، سویا (*Glycine max* (L) Merrill) با در اختیار داشتن بیشترین سطح زیرکشت اراضی ارگانیک در سطح جهان از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است (Willer & Lernoud, 2017) و همچنین به‌دلیل وجود سازوکار جبرانی قدرتمند، قابلیت تحمل اثر سایه‌دهی و سازگاری، قابلیت افزایش عملکرد را در سیستم کشت مخلوط دارد (Luca & Hungria, 2014; Corassa et al., 2018; Khalid et al., 2018).

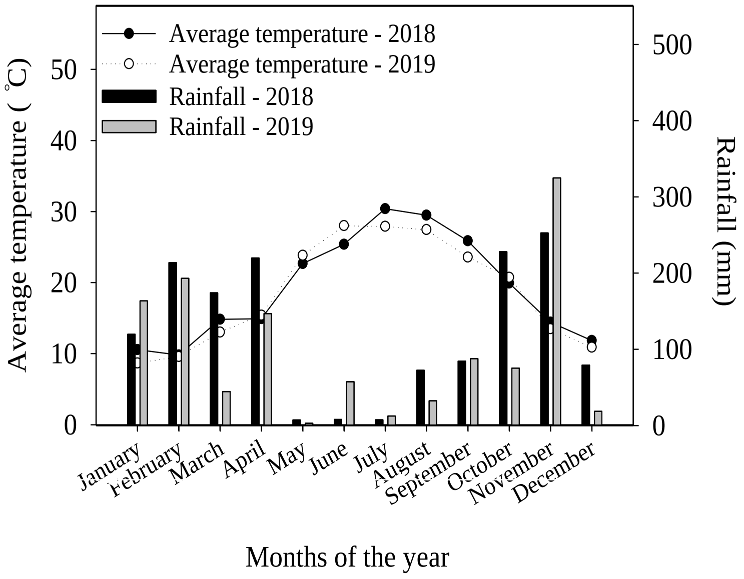
استفاده از گیاه لگوم در کشت مخلوط می‌تواند باعث افزایش کارایی استفاده از نور و در نتیجه، افزایش راندمان تولید شود (Chimonyo et al., 2018, Stomph et al., 2020). برخی پژوهشگران ایجاد رابطه مکملی پویا و افزایش ۱۰ درصدی کارایی مصرف نور را در کشت مخلوط بر پایه گیاه لگوم و تحت شرایط کمبود نیتروژن گزارش کردند (Bedoussac & Justec, 2010). در همین راستا، بررسی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط سویا و ذرت (*Zea mays* L.) نشان داد در مرحله گل‌دهی گیاه سویا، میزان تشعشع فعال فتوسنتزی و کسری از نور دریافت شده در نسبت کاشت ۱:۱ در مقایسه با نسبت کاشت ۲:۲ کاهش یافت و این موضوع باعث کاهش راندمان مصرف نور در نسبت کاشت مذکور شد (Liu et al., 2017). به‌طور کلی، کشت مخلوط می‌تواند بهره‌وری در هر واحد تابش خورشید را از طریق نفوذ بیشتر و یا حفظ میزان بالاتر کارایی استفاده از نور افزایش دهد (Wang et al., 2015; Alizadeh et al., 2010). برخی دیگر از محققان به افزایش بهره‌وری و عملکرد در کشت مخلوط اشاره کرده و بیان داشتند الگوی کاشت ۱:۱ عدس (*Lens culinaris* L.) – زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) (Rezaie Chiyaneh et al., 2013) و ۲:۲ لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) – گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) (Koocheki et al., 2012) دارای بیشترین نسبت برابری زمین و ضریب نسبی تراکم بودند. همچنین تأثیر الگوی کاشت در افزایش رابطه مکملی، میزان ماده خشک و نسبت برابری زمین در کشت مخلوط سویا– ذرت نیز مشاهده شده است (Ren et al., 2018). در همین راستا، برخی از پژوهشگران دریافتند، با تغییر الگوی کشت از مخلوط ردیفی به مخلوط نواری، بهره‌وری در سیستم کشت مخلوط به‌دلیل کاهش اثرات تسهیل و تکمیل‌کنندگی دو گونه کاهش می‌یابد (Rezaie Chiyaneh et al., 2013). سایر مطالعات نیز افزایش ۲۰ درصدی کارایی استفاده از منابع را در نسبت کاشت ۵۰:۵۰ نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) و جو (*Hordeum vulgaris* L.) در مقایسه با کشت خالص نشان داد (Hauggaard-Nielsen & Jensen, 2001). اثر معنی‌دار نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر افزایش وزن خشک کل، تعداد و توزیع غلاف و همچنین عملکرد دانه گیاه سویا در برخی دیگر از مطالعات نیز گزارش شده است (Namdari et al., 2010; Zaefarian et al., 2014). به‌طور کلی، یکی از مهم‌ترین دلایل استفاده بیشتر سویا از منابع طبیعی مانند نور و مواد غذایی در الگوی کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص، برتری در قدرت رقابت با گیاه همراه است (Yang et al., 2013).

در نهایت، انتخاب گیاهان زراعی متفاوت از منظر فنولوژی و ساختار رشد رویشی از طریق تعاملات بین‌گونه‌ای می‌توانند باعث افزایش بهره‌وری در الگوی کشت مخلوط شود. لذا، هدف از این مطالعه بررسی تعاملات در بخش بالایی گیاه سویا و دان‌سیاه بر کارایی استفاده از منابع و تأثیر رقابت بر روابط مکملی دو گیاه مذکور در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و در سیستم کشاورزی کم‌نهاده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در طی دو سال زراعی (۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷) در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با عرض جغرافیایی ۳۳′، ۳۶° شمالی و طول جغرافیایی ۰۳′، ۵۳° شرقی

و ارتفاع ۴۳ متر از سطح دریا انجام شد. تغییرات میانگین درجه‌حرارت و بارندگی ماهانه محل انجام آزمایش در سال‌های مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. آزمایش به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در پنج تیمار و چهار تکرار انجام و تیمارهای آزمایش شامل نسبت‌های مختلف کاشت به‌روش جایگزینی بر اساس درصد شامل ۰:۱۰۰، ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰، ۷۵:۲۵ و ۱۰۰:۰ (به‌ترتیب دان‌سیاه- سویا) بودند. ترکیب‌های ۰:۱۰۰ و ۱۰۰:۰ به‌ترتیب کشت خالص گیاه دان‌سیاه و سویا را تشکیل دادند. در ترکیب‌های ۲۵:۷۵ و ۷۵:۲۵ نیز به‌ترتیب سه ردیف گیاه دان‌سیاه- یک ردیف سویا و یک ردیف گیاه دان‌سیاه- سه ردیف سویا منظور شد. ترکیب ۵۰:۵۰ نیز شامل کشت متوالی دو ردیف از گیاه دان‌سیاه و سویا بود. بذر سویا رقم ساری (J.K. 695، پاکوتاه و از گروه رسیدگی ۵) از مرکز تحقیقات شرکت توسعه کشت دانه‌های روغنی شهرستان ساری و بذر گیاه دان‌سیاه از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید. عملیات کاشت در تاریخ ۱۵ اردیبهشت به‌صورت هیرم‌کاری و به‌طریقه دستی انجام شد. بذور سویا پیش از کاشت با باکتری *Bradyrhizobium japonicum* (با تراکم سلولی 2×10^7 CFU.ml^{-1}) تلقیح گردید. تعداد خطوط کاشت در هر کرت ۱۲، فاصله بین خطوط ۳۵ سانتی‌متر، طول خطوط چهار متر و تراکم نهایی برای هر دو گیاه به‌طور ثابت ۲۸ بوته در مترمربع بود (Carciochi et al., 2019; Kasle et al., 2020). قبل از کاشت، کود مورد نیاز با توجه به نتایج تجزیه و تحلیل آزمون خاک (جدول ۱) در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ به‌میزان ۹۰ کیلوگرم فسفر و ۶۶ کیلوگرم پتاس و در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ به‌میزان ۳۳ کیلوگرم فسفر به‌ترتیب از منبع سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم تأمین شد. آبیاری گیاهان به‌صورت قطره‌ای به‌کمک دستگاه تانسیومتر در پتانسیل ماتریک ۰/۴- بار و عملیات وجین به‌صورت دستی در چهار مرحله و با فاصله زمانی ۱۴ روز انجام شد.



شکل ۱- مقدار بارندگی و میانگین دمای ماهانه شهر ساری در دو سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

Fig. 1- Monthly rainfall and mean air temperature during the two growing seasons at the Sari, 2018-2019

عملیات برداشت در تاریخ پنجم آبان ماه و پس از حذف ردیف‌های طرفین و ۰/۵ متر از دو طرف هر کرت به‌عنوان اثرات حاشیه، با دست و به‌وسیله قیچی باغبانی از چهار ردیف میانی و سطحی معادل ۴/۲ مترمربع انجام شد. همزمان با عملیات برداشت تعداد پنج بوته از هر یک از گیاهان مورد مطالعه به‌طور تصادفی انتخاب و برای تعیین اجزای عملکرد و اندازه‌گیری خصوصیات مورفولوژیکی گیاه برداشت شد. همچنین جهت تعیین وزن خشک نهایی ساقه نیز، ابتدا پس از جداسازی اندام‌های زایشی از ساقه و قرار دادن آن‌ها به‌صورت جداگانه در پاکت‌های مخصوص، نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون الکتریکی تهویه‌دار با درجه‌حرارت ۷۰ درجه‌سانتی‌گراد قرار داده شد و سپس بلافاصله پس از خروج از آون، با ترازوی دیجیتال با دقت یک‌هزارم توزین و وزن خشک نهایی هر نمونه ثبت شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک محل آزمایش

Table 1- Result of soil analysis of experimental field

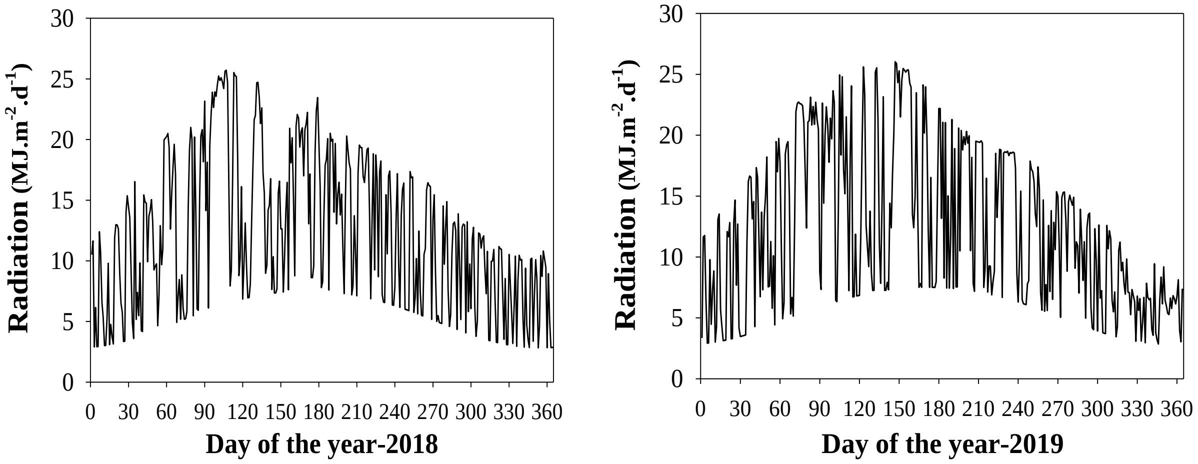
سال Year	عمق نمونه‌برداری Depth (cm)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	بافت Texture	ماده آلی O.M. (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P_2O_5 (mg.kg^{-1})	پتاسیم (K_2O) (mg.kg^{-1})	هدایت الکتریکی EC×10^{-3} (dS.m^{-1})	اسیدیته pH
2018	0-30	28	39	33	لوم رسی Clay loam	1.21	0.06	1.3	95	0.51	8.04
2019	0-30	26	40	34		1.83	0.09	4	163	0.61	7.74

جهت اندازه‌گیری کسری از نور دریافت شده توسط تاج‌پوشش گیاهان در نسبت‌های مختلف کاشت از دستگاه تشعشع‌سنج (LX 1108 light meter, LT Lutron) استفاده شد. بدین منظور جهت ثبت میزان نور عبور یافته در تیمارهای مورد مطالعه با رعایت اثر حاشیه، به‌فاصله هر ۱۵ سانتی‌متر یک قرائت به‌کمک سنسور در سطح بالا و پایین تاج‌پوشش در روزهای آفتابی و در ظهر خورشیدی (ساعت ۱۲:۰۰ الی ۱۴:۰۰) طی پنج مرحله از ۴۵ روز پس از کاشت و با فاصله زمانی ۱۵ روز انجام و ثبت شد.

میزان تشعشع روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی شهرستان ساری بر اساس تعداد ساعات آفتابی اخذ شده از ایستگاه مرکزی هواشناسی شهرستان ساری (واقع در پنج کیلومتری محل انجام آزمایش) اندازه‌گیری و از طریق معادله آنگستروم (معادله ۱) تصحیح گردید (Ambas & Baltas, 2014).

$$\frac{Rs}{Ra} = a_s + b_s \frac{n}{N} \quad (۱) \text{ معادله}$$

که در آن، R_S: میزان شدت تابش روزانه با توجه به ساعات آفتابی، R_a: تابش روزانه خارج از جو، N و n: به‌ترتیب حداکثر ساعات آفتابی ممکن و واقعی در دوره زمانی و a_s و b_s: ضرایب آنگستروم می‌باشند. این ضرایب برای شهرستان ساری به‌ترتیب معادل ۰/۱۸ و ۰/۵۵ در نظر گرفته شد (Janbazghobadi, 2018). میزان شدت تابش روزانه در سال‌های مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- روند فصلی برآورد روزانه تشعشع خورشیدی در شهرستان ساری و در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

Fig. 1- Seasonal trends in estimated daily global radiation at Sari city, in 2018 and 2019

همچنین تشعشع فعال فتوسنتزی[۱] (PAR) از حاصل‌ضرب میزان شدت تابش روزانه در ضریب ۰/۵۰ به‌دست آمد (Zhang et al., 2008; Liu et al., 2017). میزان نور جذب شده توسط هر یک از گیاهان در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط نیز از طریق مدل پیشنهادی وانگ و همکاران (Wang et al., 2015) و به‌کمک معادله‌های زیر طی شش مرحله از ۴۵ روز پس از کاشت و با فاصله زمانی ۱۵ روز محاسبه گردید.

۱ Photosynthetically Active Radiation

معادله (۲)

$$Fim = f_m\Big[\Big(\frac{\sqrt{(hm-hs)^2+Wm^2}-(h_m-h_s)}{Wm}\Big)\times \exp\Big(-k_m\frac{\frac{hm-hs}{hm}\times Lm}{f_m}\Big)\Big] + f_m\Big[\Big(1-\frac{\sqrt{(hm-hs)^2+Wm^2}-(h_m-h_s)}{Wm}\Big)\times \exp\Big(-k_m\frac{\frac{hm-hs}{hm}\times Lm}{f_m}\Big)\Big] + f_m f_s[\Big(1-\frac{\sqrt{(hm-hs)^2+Ws^2}-(h_m-h_s)}{Ws}\Big)\times \exp\Big(-k_m\frac{hm-hs}{hm}\times Lm\Big)]$$

معادله (۳)

$$Fib = fs\Big[\Big(\frac{\sqrt{(hm-hs)^2+Ws^2}-(h_m-h_s)}{Ws}\Big) + f_s\Big(1-\frac{\sqrt{(hm-hs)^2+Ws^2}-(h_m-h_s)}{Ws}\Big)\exp\Big(-k_m\frac{hm-hs}{hm}\times Lm\Big)\Big] + f_m f_s\Big[\Big(1-\frac{\sqrt{(hm-hs)^2+Wm^2}-(h_m-h_s)}{Wm}\Big)\times\Big(-k_m\frac{hm-hs}{hm}\times Lm\Big)\Big]$$

معادله (۴)

$$F1 = f_m\Big(\frac{\sqrt{(hm-hs)^2+Wm^2}-(h_m-h_s)}{Wm}\Big)[1-\exp\Big(-k_m\Big(\frac{\frac{hm-hs}{hm}\times Lm}{f_m}\Big)\Big)\Big]$$

معادله (۵)

$$F2 = f_m\{\Big(1-\frac{\sqrt{(hm-hs)^2+Wm^2}-(h_m-h_s)}{Wm}\Big)\Big[1-\exp\Big(-k_m\frac{hm-hs}{hm}\times Lm\Big)]\}$$

معادله (۶)

$$F3 = fs\Big\{\Big(1-\frac{\sqrt{(hm-hs)^2+Ws^2}-(h_m-h_s)}{Ws}\Big)\Big[1-\exp\Big(k_m\frac{hm-hs}{hm}\times Lm\Big)\Big]\Big\}$$

معادله (۷)

$$F4 = \Big(\frac{\sqrt{hs^2+Wm^2}-h_s}{Wm}\times\frac{\sqrt{(hm-hs)^2+Wm^2}-(h_m-h_s)}{Wm}\Big)\Big[\frac{1-\exp\big(-k_m\frac{hs}{hm}\times Lm\big)}{f_m}\Big]$$

معادله (۸)

$$F5 = Fim\{\Big(1-\frac{\sqrt{(hm-hs)^2+Wm^2}-(h_m-h_s)}{Wm}\Big)\Big[1-\exp\Big(-k_m\Big(\frac{hs}{hm}\times Lm\Big)-K_sL_s\Big)\Big]\frac{k_m\big(\frac{hs}{hm}\times Lm\big)}{k_m\big(\frac{hs}{hm}\times Lm\big)+K_sL_s}$$

معادله (۹)

$$F6 = Fim\{\Big(1-\frac{\sqrt{(hm-hs)^2+Wm^2}-(h_m-h_s)}{Wm}\Big)\Big[1-\exp\Big(-k_m\Big(\frac{hs}{hm}\times Lm\Big)-K_sL_s\Big)\Big]\frac{K_sL_s}{k_m\big(\frac{hs}{hm}\times Lm\big)+K_sL_s}$$

معادله (۱۰)

$$F7 = Fib\Big(\frac{\sqrt{hs^2+Ws^2}-h_s}{Ws}\Big)\Big[1-\exp\Big(\frac{-k_sL_s}{f_s}\Big)\Big]$$

معادله (۱۱)

$$F8 = Fib\{\Big(1-\frac{\sqrt{(hm-hs)^2+Ws^2}-(h_m-h_s)}{Ws}\Big)\Big[1-\exp\Big(-k_m\Big(\frac{hs}{hm}\times Lm\Big)-K_sL_s\Big)\Big]\frac{K_sL_s}{k_m\big(\frac{hs}{hm}\times Lm\big)+K_sL_s}\}$$

معادله (۱۲)

$$F9 = Fib\{\Big(1-\frac{\sqrt{(hm-hs)^2+Ws^2}-(h_m-h_s)}{Ws}\Big)\Big[1-\exp\Big(-k_m\Big(\frac{hs}{hm}\times Lm\Big)-K_sL_s\Big)\Big]\frac{K_m\big(\frac{hs}{hm}\times Lm\big)}{k_m\big(\frac{hs}{hm}\times Lm\big)+K_sL_s}$$

معادله (۱۳) $F_{a(m)}=F1+F2+F3+F4+F5+$

معادله (۱۴) $F_{b(s)}=F6+F7+$

معادله (۱۵) $F_{PAR} = Fa+$

که در این معادله‌ها، m و s: به‌ترتیب گیاه بلندتر و کوتاه‌تـر، h_m و h_s: ارتفـاع گیـاه، L_m و L_s: شـاخص سـطح بـرگ گیـاه، W_m و W_s: عرض نوار کاشت، K_m و K_s: ضریب خاموشی گیـاه، f_m و f_s: نسـبت مساحت نوار کاشت گیاهان و $F_{a(m)}$ و $F_{b(s)}$: کسری از تشعشـع فعـال فتوسنتزی دریافت شده است.

ضریب خاموشی نور از طریق بـرازش رابطـه ۱۶ کـه برگرفتـه از مـدل بیـر- لامبـرت مـی‌باشد (Lunagaria & Shekh, 2006) در کشت خالص گیاهان محاسـبه و بـرای گیـاه دان‌سـیاه ۰/۷۳ و سـویا ۰/۶۸ منظور گردید. سطح برگ نیز در طی دوره رشد و از مرحلـه ۴۵ روز پس از کاشت با فاصله زمانی ۱۵ روز طی شش مرحله بـه‌کمـک نرم‌افزار Digimizer (v.5.4) و پس از انجـام کالیبراسـیون ثبـت و مقادیر شاخص سـطح بـرگ روزانـه در تیمارهـای مختلـف از طریـق برازش رابطه ۱۷ برآورد شد.

معادله (۱۶)

$$K = \frac{-\ln(\frac{I_t}{I_0})}{LAI}$$

معادله (۱۷)

$$LAI = a + b\times 4\times\frac{e^{(-\frac{x-c}{d})}}{(1+e^{(-\frac{x-c}{d})})^2}$$

که در این معادله‌ها، K: ضریب خاموشی نور، I_t و I_0: به‌ترتیب میزان نور دریافت شده در پایین و بالای تاج‌پوشش، LAI: شاخص سطح برگ، a: عرض از مبدأ، b: حداکثر شاخص سطح برگ، c: زمان رسیدن به حداکثر شاخص سطح برگ، d: نقطه عطف منحنی و x: زمان بر حسب روزهای پس از سبز شدن است.

در نهایت، تشعشع جذب شده در هر مرحله از حاصل‌ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در درصد نور جذب شده به‌دست آمد و مقدار کل تشعشع جذب شده به‌صورت تجمعی از طریق حاصل‌ضرب نور ورودی شبیه‌سازی شده در انتگرال کسر تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده نسبت به زمان محاسبه گردید.کارایی مصرف نور از رابطه ۱۸ محاسبه گردید (Tsubo & Walker, 2002).

معادله (۱۸)
$$RUE = \frac{ADM}{\sum I_{PAR} F}$$

که در آن، ADM: مقدار کل ماده خشک گیاه (گرم در مترمربع)، I_{PAR}: مقدار تشعشع فعال فتوسنتزی روزانه (مگاژول بر مترمربع) و F: میزان کسری از نور دریافت شده توسط گیاه در طی مراحل مختلف رشد می‌باشد.

برای محاسبه نسبت برابری زمین (Mead & Willey, 1980) و ضریب نسبی تراکم (De Wit, 1960) به‌ترتیب از معادله‌های زیر استفاده شد.

معادله (۱۹)
$$LER = (LER_a + LER_b)$$
$$LER_a = \left(\frac{Yi_a}{Ym_a}\right) \quad LER_b = \left(\frac{Yi_b}{Ym_b}\right)$$

معادله (۲۰)
$$RCC_a = \frac{Yi_a Zi_b}{(Ym_a - Yi_a) Zi_a} \quad RCC_b = \frac{Yi_b Zi_a}{(Ym_b - Yi_b) Zi_b} \quad RCC = RCC_a \times RCC_b$$

که در این معادله‌ها، Y_{ia} و Y_{ib}: به‌ترتیب عملکرد گیاه a و b در کشت مخلوط، Y_{ma} و Y_{mb}: عملکرد گیاه a و b در کشت خالص، Z_{ia} و Z_{ib}: سهم گیاه a و b در کشت مخلوط و Z_{ma} و Z_{mb}: نیز سهم گیاه a و b در کشت خالص است.

حالات مختلف تأثیر رقابت در کشت مخلوط به‌روش جایگزینی با استفاده از مدل هیل و شیماموتو (Hill & Shimumoto, 1973) و با محاسبه مقدار پیش‌بینی شده (Loreau et al., 2001) صفات مورد مطالعه تعیین شد.

معادله (۲۱)
$$Expected\ yield = \frac{Y_m}{Z_i}$$

در نهایت، جهت تجزیه آماری داده‌ها، مقایسه میانگین‌ها و تجزیه مرکب داده‌ها از نرم‌افزار سیستم آنالیز آماری (۹/۱) SAS استفاده شد. آزمون بارتلت برای بررسی همگنی واریانس خطاهای آزمایشی انجام شد و فرض صفر مبنی بر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین واریانس خطاها مورد بررسی قرار گرفت. مقایسات میانگین داده‌ها با آزمون کم‌ترین تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودارها به‌کمک نرم‌افزار Excel و Sigma Plot انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته: بر اساس نتایج حاصل از تجزیه مرکب، اثر نسبت-های کاشت و اثر متقابل نسبت‌های مختلف کاشت در سال بر ارتفاع نهایی بوته سویا و دان‌سیاه معنی‌دار بود و اثر سال فقط بر ارتفاع ساقه گیاه دان‌سیاه معنی‌دار بود (جدول ۲). بر این اساس، ارتفاع بوته دان-سیاه در سال دوم با میانگین ۱۷۶/۰۶ سانتی‌متر بیشتر از سال اول بود (جدول ۳). افزایش ۱۵/۴۰ درصدی ارتفاع بوته دان‌سیاه در سال دوم می‌تواند مربوط‌به افزایش میزان بارندگی در زمان استقرار گیاهچه و کاهش میانگین درجه‌حرارت ماهانه در مراحل انتهایی رشد رویشی دان‌سیاه در مقایسه با سال اول باشد. همچنین در بین نسبت‌های مختلف کاشت، بیشترین ارتفاع بوته سویا متعلق به نسبت ۷۵:۲۵ (به-ترتیب دان‌سیاه- سویا) در سال ۱۳۹۷و کشت خالص (۰:۱۰۰) در سال ۱۳۹۸بود. نسبت کاشت ۷۵:۲۵ نیز در سال‌های مورد مطالعه کمترین ارتفاع بوته را در اختیار داشت. امّا در خصوص گیاه دان‌سیاه، بیشترین و کمترین مقدار ارتفاع نهایی بوته به‌ترتیب متعلق به نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (به‌ترتیب دان‌سیاه- سویا) در سال ۱۳۹۸و کشت خالص (۱۰۰ :۰) در سال ۱۳۹۷بود (جدول ۳). هر چند ارتفاع بوته دان‌سیاه در کشت خالص (۰:۱۰۰) در سال‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشت. نتایج نشان داد، کاهش سهم ردیف‌های کاشت سویا و دان‌سیاه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط به‌ترتیب باعث افزایش ارتفاع نهایی بوته سویا و کاهش آن در گیاه دان‌سیاه شد. به نحوی که ارتفاع بوته سویا در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ در سال دوم ۲۳/۹۲ درصد کمتر از کشت خالص سویا (۱۰۰:۰) در سال اول بود. در مقابل، ارتفاع بوته دان‌سیاه در کشت خالص (۰:۱۰۰) در سال اول ۲۳/۲۵ درصد کمتر از نسبت کاشت ۷۵:۲۵ در سال دوم بود. افزایش ارتفاع گیاه سویا در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (به‌ترتیب دان‌سیاه- سویا) می‌تواند مربوط‌به ارتفاع بیشتر گیاه دان‌سیاه در مقایسه با گیاه سویا باشد. همچنین به نظر می‌رسد، قدرت رقابت گیاه سویا در نسبت کاشت

مذکور به‌خصوص در مراحل اولیه رشد می‌تواند نقش مهمی در افزایش ارتفاع گیاه دان‌سیاه داشته باشد. برخی پژوهشگران افزایش ارتفاع میان‌گره ساقه سویا در کشت مخلوط را به کاهش دریافت تشعشع فعال فتوسنتزی نسبت دادند (Liu et al., 2017). علاوه‌بر آن، رابطه مکملی پویا بین گونه‌ها در شرایط کمبود نیتروژن، می‌تواند منجر به افزایش کارایی استفاده از نور و ارتفاع گیاهان در سیستم کشت مخلوط شود (Bedoussac & Justec, 2010). بنابراین، کاهش ارتفاع بوته گیاه دان‌سیاه و سویا به‌ترتیب در کشت خالص (۰:۱۰۰) و نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه- سویا) می‌تواند مربوط به نتایج مذکور باشد. افزایش ارتفاع گیاه لگوم در کشت خالص در مقایسه با کشت مخلوط توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Lithourgidis & Dordas, 2010; Monti et al., 2016).

تعداد غلاف در بوته سویا: نتایج تجزیه مرکب نشان داد، اثر سال و اثر نسبت‌های مختلف کاشت بر تعداد غلاف در بوته گیاه سویا معنی‌دار بود (جدول ۲). تعداد غلاف در بوته سویا در سال دوم با میانگین ۹۰/۷۰ بیشتر از سال اول بود (جدول ۳). این موضوع می‌تواند مربوط به اثر منفی افزایش درجه حرارت بر تعداد شاخه‌های فرعی و اندام زایشی گیاه (Skrudlik & Koscielniak, 1996) باشد. در این رابطه، نتایج برخی مطالعات نشان داد، میانگین درجه حرارت بهینه در مرحله گل‌دهی سویا ۲۷-۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Onat et al., 2017; Alsajri et al., 2019). همچنین نتایج نشان داد، در بین نسبت‌های مختلف کاشت، بیشترین و کمترین تعداد غلاف در بوته سویا به ترتیب مربوط به نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه- سویا) با میانگین ۱۱۷/۲۴ غلاف و کشت خالص سویا (۰:۱۰۰) با میانگین ۵۹/۶۱ غلاف در بوته بودند (جدول ۳). با کاهش تعداد ردیف کاشت سویا در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط به‌دلیل در اختیار داشتن فضای کافی برای توسعه شاخ و برگ، بر تعداد غلاف در بوته افزوده شد. در این بین، نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه- سویا) و ۵۰:۵۰ در تولید غلاف در بوته موفق‌تر بودند. این برتری در مقایسه با کشت خالص (۰:۱۰۰) به‌ترتیب ۳۹/۵۴ و ۱۹/۷۸ درصد بود. به‌طور کلی، وجود مکانیسم جبرانی در گیاه سویا که با نسبت نور قرمز به قرمز دور کانوپی در طول مراحل اولیه رشد فعال می‌شود، از طریق تنظیم دقیق سازوکارهای منبع- مخزن تخصیص ماده خشک به اندام‌های زایشی را افزایش و در نتیجه، منجر به تولید غلاف بیشتر در گیاه می‌شود (Luca & Hungria, 2014; Corassa et al., 2018).

علاوه‌بر آن، الگوی فضایی متفاوت نیز می‌تواند اثر مستقیمی بر نور محیط و رشد گیاه سویا در سیستم کشت مخلوط داشته باشد (Machado; 2009; Yang et al., 2013). بنابراین، به نظر می‌رسد افزایش تعداد غلاف در نسبت‌های کاشت ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه- سویا) می‌تواند مربوط به افزایش توان فتوسنتزی و ایجاد الگوی مناسب جهت توسعه کانوپی در کشت مخلوط باشد.

تعداد کاپیتول در بوته دان‌سیاه: بر اساس نتایج تجزیه مرکب اثر سال و اثر نسبت‌های مختلف کاشت بر تعداد کاپیتول در بوته دان‌سیاه معنی‌دار بود (جدول ۲). تعداد کاپیتول در بوته دان‌سیاه در سال دوم با میانگین ۸۶/۴۳ بیشتر از سال اول بود (جدول ۳). همچنین نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه- سویا) و ۵۰:۵۰ نیز به‌ترتیب با میانگین ۸۷/۹۵ و ۸۷/۵۱ دارای بیشترین تعداد کاپیتول در بوته بودند و در مقابل، کشت خالص دان سیاه (۰:۱۰۰) نیز با میانگین ۵۷/۶۵ کاپیتول کمترین مقدار را به خود اختصاص دادند. افزایش تعداد کاپیتول در بوته با کاهش تعداد ردیف‌های کاشت یک مکانیسم خودتنظیمی در دان‌سیاه است. این خصوصیت بارز در گیاه مذکور که مشابه رفتار مورفولوژیکی سویا می‌باشد، کمک شایانی به برقراری ارتباط و ایجاد رقابت مطلوب از طریق تولید سطح تاج‌پوشش مناسب در سیستم کشت مخلوط کرده است.

وزن خشک نهایی ساقه: بر اساس نتایج تجزیه مرکب نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر وزن خشک نهایی ساقه سویا و دان‌سیاه داشتند و اثر سال فقط بر مقدار وزن خشک نهایی ساقه سویا معنی‌دار بود (جدول ۲). به نحوی که در گیاه سویا، سال دوم آزمایش با میانگین وزن خشک ۳۳۵۸/۲۳ کیلوگرم در هکتار نسبت به سال اول از برتری معنی‌داری برخوردار بود (جدول ۳). از آنجا که دوره نوری طولانی‌تر پس از گل‌دهی می‌تواند با افزایش تابش خورشیدی تجمع‌یافته بر میزان ماده خشک و عملکرد دانه سویا مؤثر باشد (Nico et al., 2019)، لذا به نظر می‌رسد افزایش میانگین درجه‌حرارت روزانه از اواخر تیرماه (Julay) در سال اول باعث کاهش میزان ماده خشک تجمع یافته شده است. همچنین در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط نیز کشت خالص سویا (۰:۱۰۰) و نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه- سویا) به‌ترتیب با میانگین ۴۴۳۳/۲۳ و ۱۴۰۶/۷۹ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین و کمترین وزن خشک نهایی ساقه بودند.

جدول ۲- تجزیه واریانس خصوصیات زراعی گیاه سویا و دان‌سیاه در نسبت‌های مختلف کاشت

Table 2- Analysis of variance for Soybean and Niger crop agronomic characteristics in different planting ratios

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	دان‌سیاه Niger				سویا Soybean			
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد کاپیتول در بوته No. of capitules. plant^{-1}	وزن خشک ساقه Dried weight of shoot	عملکرد دانه Seed yield	ارتفاع بوته Plant height	تعداد غلاف در بوته No. of pods. Plant^{-1}	وزن خشک ساقه Dried weight of shoot	عملکرد دانه Seed yield
سال Year (Y)	1	4419**	4547**	284786^{ns}	156812**	17.85^{ns}	2020*	5154814**	6627351**
تکرار Replication	6	47.90	140.21	984113	6837	35.68	189.87	303018	294844
نسبت‌های کاشت Planting ratios (P)	3	1958**	1935**	75875591**	137765**	597.11**	5028.1**	13385736**	9715841**
سال× نسبت‌های کاشت Y×P	3	741.26**	141.01^{ns}	1763681^{ns}	4226^{ns}	64.25**	112.51^{ns}	3077679^{ns}	109697^{ns}
خطا Error	18	101.73	170.18	1182293	2993	12.34	83.18	195959	162259

ns: غیر معنی‌دار

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns: Not significant

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

جدول ۳- مقایسه میانگین خصوصیات زراعی گیاه سویا و دان‌سیاه در نسبت‌های مختلف کاشت

Table 3- Mean comparison for soybean and niger crop agronomic characteristics in different planting ratios

نسبت‌های کاشت	دان‌سیاه Niger					سویا Soybean				
(دان‌سیاه- سویا) Planting ratios (soybean-niger)	ارتفاع بوته Plant height (cm)		تعداد کاپیتول در بوته No. capitules. plant^{-1}	وزن خشک ساقه Dried weight of shoot (kg. ha^{-1})	عملکرد دانه Seed yield (kg. ha^{-1})	ارتفاع بوته Plant height (cm)		تعداد غلاف در بوته No. pod. plant^{-1}	وزن خشک ساقه Dried weight of shoot (kg. ha^{-1})	عملکرد دانه Seed yield (kg. ha^{-1})
100 : 0	-	-	-	-	-	70.5±1.6	68.1±2.6	59.6±8.6	4433±857.1	4965±760.59
75 : 25	173.1±8.6	189.7±12.6	87.9±22.2	3523±773.7	151.13±48.5	70.4±2.1	76.3±1.5	70.1±11.9	3459±716.7	4021±593.83
50 : 50	148.1±7.1	178.5±7.1	87.5±13.4	6099±1118.8	272.76±87.7	64.1±6.4	56.2±3.6	84.0±14.3	2527±545.3	3432±734.48
25 : 75	143.3±10.5	165.2±12.1	64.9±18.1	8795±1441.4	352.57±97.1	54.9±2.2	53.6±7.5	117.2±16.9	1406±293.6	2333±439.47
0 : 100	145.6±9.5	150.7±4.1	57.6±16.4	10544±867.4	462.39±125.5	-	-	-	-	-
حداقل اختلاف معنی‌دار LSD (0.05)	14.98		13.70	1142	53.09	5.21		9.58	465.01	423.14
سال Year										
2018	152.55		62.59	7335.20	239.71	65.03		74.81	2555.51	3233.06
2019	176.06		86.43	7146.52	379.72	63.54		90.71	3358.23	4143.24
حداقل اختلاف معنی‌دار LSD (0.05)	5.98		10.24	858.21	62.47	5.16		11.92	476.22	469.75

مقادیر میانگین ± انحراف استاندارد

Mean values plus/minus standard deviation ($\bar{X}$±SD)

این نتایج در خصوص گیاه دان‌سیاه نیز صادق بود. امّا بر اساس نتایج به‌دست آمده، با کاهش تعداد ردیف‌های کاشت سویا در کشت مخلوط مقدار وزن خشک ساقه در مقایسه با مقادیر پیش بینی‌شده افزایش یافت. بدین ترتیب مقدار وزن خشک نهایی ساقه سویا در نسبت‌های کاشت ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه– سویا) به‌ترتیب ۲۶/۹۳، ۱۴/۰۳ و ۴/۰۶ درصد بیشتر از مقادیر پیش‌بینی شده بود (شکل ۳). وزن خشک نهایی ساقه دان‌سیاه نیز از نتایج به‌دست آمده در خصوص گیاه سویا تبعیت کرده و کاهش ردیف‌های کشت دان-سیاه در کشت مخلوط با افزایش وزن خشک نهایی ساقه همراه بود. این مقدار به‌ترتیب در نسبت‌های مذکور ۱۱/۲۲، ۱۵/۶۹ و ۳۳/۶۶ درصد بیشتر از مقادیر پیش‌بینی شده بود (شکل ۳). نکته حائز اهمیت در این بخش، افزایش بیشتر وزن خشک کل ساقه سویا و دان‌سیاه به‌ترتیب در نسبت‌های کاشت ۲۵:۷۵ و ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه– سویا) نسبت به مقادیر قابل انتظار بود. به عبارت دیگر، با وجود کاهش تعداد ردیف کاشت هر یک از گیاهان در الگوی کشت مخلوط، مقدار وزن خشک نهایی ساقه نسبت به مقادیر قابل پیش‌بینی افزایش یافت. در این بین گیاه دان‌سیاه با افزایش ارتفاع ساقه باعث کاهش تسلط رقابتی سویا در نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه– سویا) شد. افزایش وزن خشک گیاهان در سیستم کشت مخلوط با گیاه لگوم توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Lithourgidis et al., 2011 ; Jamont et al., 2013; Weisany et al., 2016; Thapa et al., 2018).

میزان نور دریافت شده: نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی-داری بر کسری از نور دریافتی گیاهان مورد مطالعه در نسبت‌های مختلف کاشت داشتند (شکل ۴). نتایج نشان داد، در مورد گیاه سویا تا قبل از بسته شدن تاج‌پوشش، نسبت کاشت ۲۵:۷۵ و ۷۵:۲۵ (دان سیاه– سویا) به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان کسری از نور دریافت شده در سیستم کشت مخلوط بودند (شکل ۴). هر چند از لحاظ آماری نسبت‌های مختلف کاشت در مراحل ابتدایی سال ۱۳۹۷تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. امّا در مرحله ۹۰ روز پس از کاشت در هر دو سال زراعی نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه– سویا) دارای بیشترین میزان کسری از نور دریافتی بود (شکل ۴). گیاه سویا در نسبت‌کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه– سویا) به‌دلیل در اختیار داشتن فضای کافی و سرعت بیشتر برای توسعه شاخه‌های فرعی، سهم بیشتری از میزان نور دریافتی در تاج‌پوشش داشت. این موضوع نقش مهمی در کاهش ارتفاع ساقه گیاه سویا در نسبت کاشت مذکور دارد. به‌طور کلی، کاهش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی و همچنین نسبت نور قرمز به قرمز دور، باعث افزایش ارتفاع ساقه سویا می‌شود (Yang et al., 2018;Feng et al., 2019). در نهایت، پس از مرحله ۱۰۵ روز پس از کاشت نسبت‌های کاشت ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه– سویا) در دریافت میزان نور موفق‌تر بودند. هر چند در سال ۱۳۹۸ میزان نور دریافتی در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در مراحل ۱۰۵ و ۱۲۰ روز پس از کاشت تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۴). امّا ساز و کار مربوط میزان دریافت نور در گیاه دان‌سیاه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط متفاوت از گیاه سویا بود و با کاهش تعداد ردیف‌های کاشت، میزان کسری از نور دریافت شده گیاه دان‌سیاه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط کاهش یافت (تصویر ۳). به نحوی‌که در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بیشترین و کمترین میزان کسری از نور دریافت شده به‌ترتیب متعلق به نسبت کاشت ۲۵:۷۵ و ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه– سویا) بود.

کارایی مصرف نور: نسبت‌های مختلف کشت مخلوط اثر معنی‌داری بر کارایی مصرف نور گیاه سویا و دان‌سیاه داشتند (جداول ۴ و ۵). با کاهش تعداد ردیف کاشت گیاه سویا در الگوی کشت مخلوط، کارایی مصرف نور کاهش یافت. هر چند کارایی مصرف نور در مراحل ۹۰ و ۱۲۰ روز پس از کاشت به‌ترتیب در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه– سویا) بیشتر از کشت خالص سویا بود. علاوه‌بر آن، کارایی مصرف نور در نسبت کاشت ۵۰:۵۰ نیز در مراحل مذکور معادل کشت خالص گیاه سویا بود (شکل ۵). امّا در گیاه دان‌سیاه کارایی مصرف نور در نسبت‌های کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه– سویا) و ۵۰:۵۰ در مقایسه با کشت خالص افزایش یافت. به نظر می‌رسد توسعه تاج‌پوشش گیاه در نسبت‌های کاشت مذکور نقش مهمی در افزایش کارایی مصرف نور گیاهان مورد مطالعه دارد. همچنین تأثیر رقابت در کشت مخلوط نشان داد کارایی مصرف نور گیاه سویا در مراحل مختلف رشد در نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (دان-سیاه–سویا) بیشتر از گیاه دان‌سیاه است (شکل ۵).

جدول ٤- تجزیه واریانس کارایی مصرف نور گیاه سویا در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط با دان‌سیاه، ۱۳۹۸-۱۳۹۷

Table 4- Analysis of variance for radiation use efficiency (RUE) of soybean in different intercropping ratios with niger, 2018-2019

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	روز پس از کاشت Day after planting, 2018						روز پس از کاشت Day after planting, 2019					
		45	60	75	90	105	120	45	60	75	90	105	120
بلوک Block	3	0.06	0.02	0.002	0.03	0.01	0.02	0.02	0.01	0.04	0.02	0.04	0.001
تیمار Treatment	3	1.44**	10.03**	0.63**	0.46**	0.50**	0.47**	0.80**	0.35**	0.91**	0.82**	0.47**	0.39**
خطا Error	9	0.02	0.01	0.002	0.03	0.003	0.01	0.04	0.01	0.01	0.02	0.03	0.005
مجموع Total	15	0.31	0.22	0.13	0.12	0.10	0.10	0.19	0.08	0.19	0.18	0.12	0.08
ضریب تغییرات CV (%)	-	13.25	11.54	5.15	15.40	5.73	8.81	11.14	13.85	11.48	14.79	17.69	8.43

ns: غیر معنی‌دار

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns: not significant

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

جدول ۵- تجزیه واریانس کارایی مصرف نور گیاه دان‌سیاه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط با سویا

Table 5- Analysis of variance for radiation use efficiency (RUE) of niger in different intercropping ratios with soybean

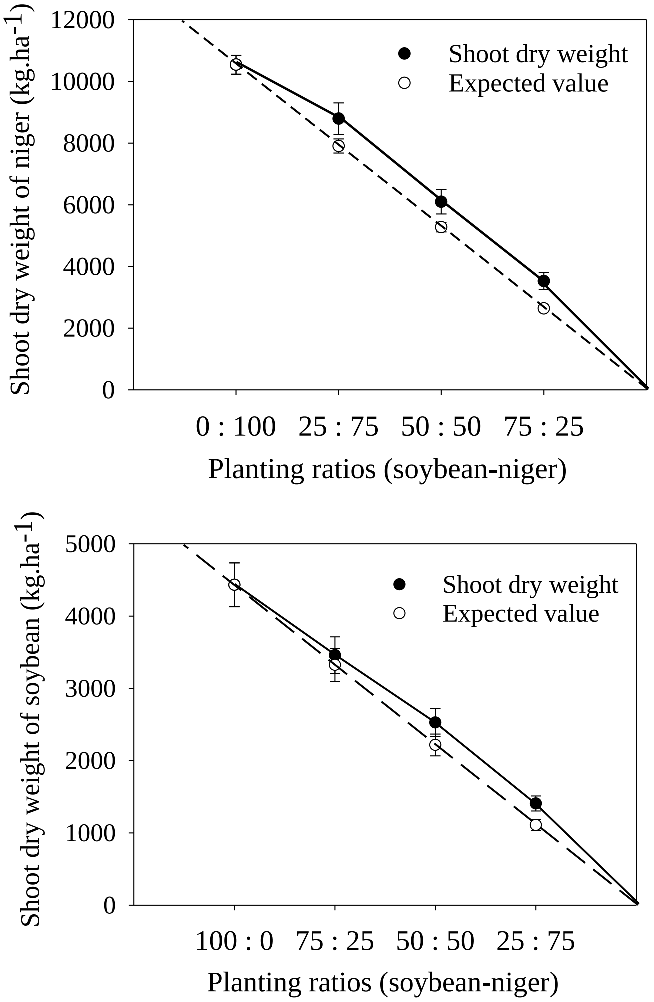
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	روز پس از کاشت Day after planting, 2018						روز پس از کاشت Day after planting, 2019					
		45	60	75	90	105	120	45	60	75	90	105	120
بلوک Block	3	0.02	0.02	0.002	0.01	0.001	0.006	0.01	0.01	0.01	0.001	0.06	0.02
تیمار Treatment	3	1.19**	0.45**	0.74**	0.37**	0.31**	0.34**	0.25**	0.39**	0.72**	0.94**	0.45**	0.81**
خطا Error	9	0.01	0.02	0.01	0.01	0.002	0.005	0.02	0.05	0.02	0.01	0.03	0.04
مجموع Total	15	0.25	0.11	0.15	0.08	0.06	0.07	0.06	0.11	0.16	0.19	0.12	0.18
ضریب تغییرات CV (%)	-	10.92	12.75	9.06	7.71	3.77	6.67	18.64	20.97	16.77	11.76	14.88	13.88

ns: غیر معنی‌دار

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns: not significant

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



شکل ۳- میانگین وزن خشک نهایی ساقه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط (به‌ترتیب دان‌سیاه- سویا) و در سال‌های مورد مطالعه

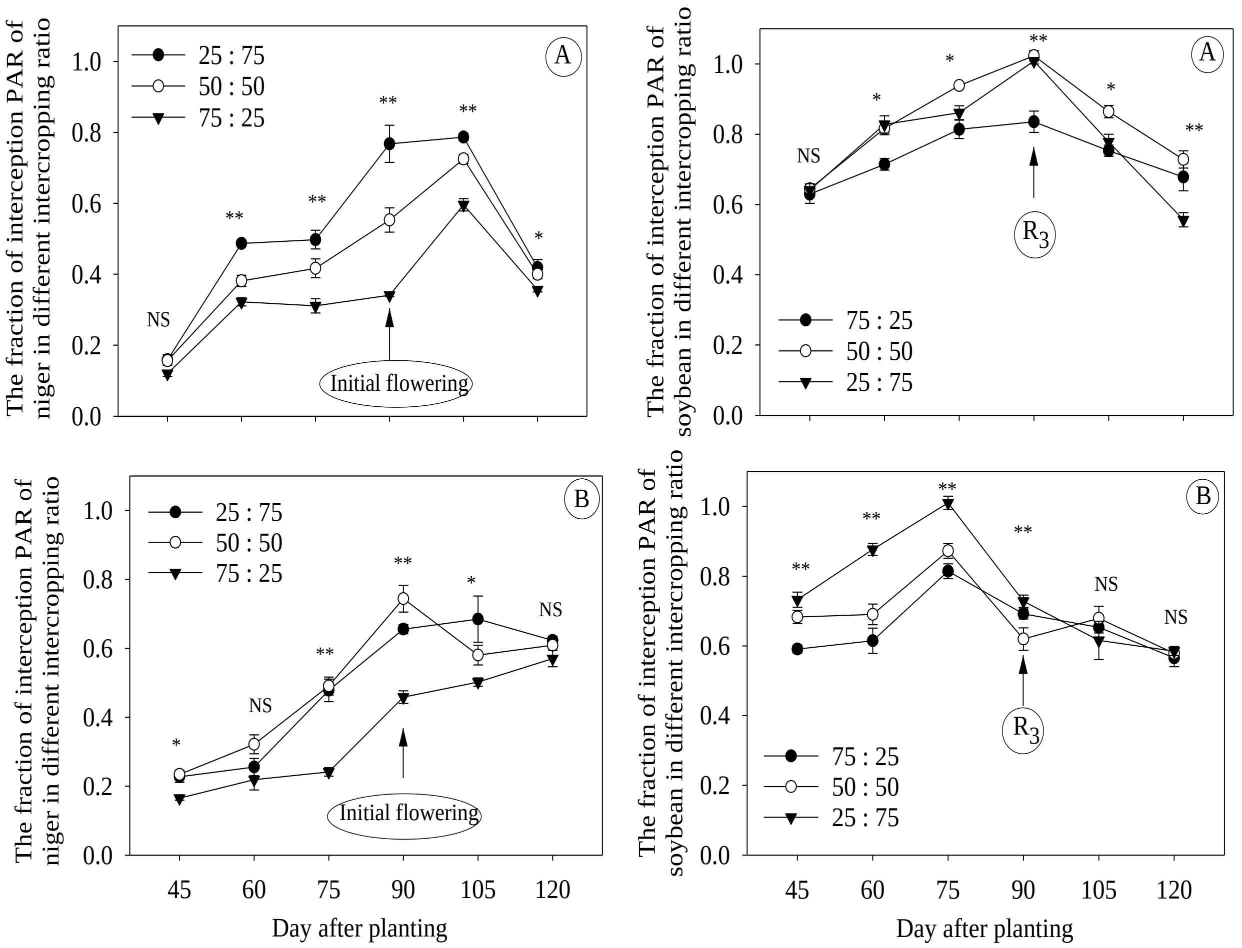
Fig. 3- The average final shoot dry weight in different planting ratios of intercrop (niger-soybean respectively) and the studied years

خطوط عمودی بر روی نقاط نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) می‌باشد

vertical bars on the points are standard error (SE)

در مقابل گیاه دان‌سیاه در نسبت‌های کاشت ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه-سویا) کارایی مصرف نور بیشتری در مراحل مختلف رشد نسبت به گیاه سویا دارد. بنظر می‌رسد گیاه دان‌سیاه با در اختیار داشتن فضای مناسب، ارتفاع بیشتر و پراکندگی شاخه‌های فرعی بسیار سریعتر وارد فضای رقابتی شده و این موضوع سبب افزایش میزان کارایی مصرف نور گیاه مذکور نسبت به مقادیر قابل انتظار در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط شده است. امّا در گیاه سویا پس مرحله ۷۵ روز پس از کاشت با توسعه سریع‌تر تاج‌پوشش میزان کارایی مصرف نور نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده افزایش بیشتری یافت. به عبارت دیگر، گیاه سویا نیز وارد فضای رقابت با گیاه دان‌سیاه شده و این امر باعث ایجاد رابطه رقابتی از نوع همیاری دو جانبه شد. رابطه همیاری دو جانبه گیاه دان‌سیاه و سویا در کارایی مصرف نور تا مرحله ۱۲۰ روز پس از کاشت نیز ادامه داشت و مقدار کارایی مصرف نور در گیاه دان‌سیاه و سویا بیشتر از مقادیر پیش‌بینی‌شده بود (شکل ۵). این موضوع نقش مهمی در افزایش برآیند کارایی مصرف نور گیاهان مورد مطالعه در الگوی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص هر یک از گیاهان داشت. در این بین، بیشترین مقدار کارایی مصرف نور گیاه سویا و دان‌سیاه در مرحله ۱۲۰ روز پس از کاشت مربوط به

نسبت کاشت ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ با میانگین ۲/۰۸ و ۲/۴۴ مگاژول در مترمربع در روز به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ بود. نکته حائز اهمیت ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه دان‌سیاه در کشت مخلوط است که به گیاه اجازه رقابت و استفاده بیشتر از عوامل محیطی را در کشت مخلوط می‌دهد. مقایسه میزان افزایش کارایی مصرف نور گیاه دان‌سیاه و سویا نسبت به مقادیر قابل انتظار نشان داد، سهم گیاه دان‌سیاه در طی مراحل مختلف رشد بیشتر از گیاه سویا می‌باشد. این موضوع نقش مهمی در افزایش مقدار وزن خشک نهایی ساقه گیاه دان‌سیاه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط داشت. هر چند رقابت گیاهان برای کسب عوامل محیطی مانند نور در بخش‌های بالایی و پایینی کانوپی وابسته به فضا و زمان است و زمان آغاز و پایان آن فرآیندی بسیار پیچیده است (Machado, 2009)، ولی به نظر می‌رسد، کارایی بالاتر در استفاده از نور و افزایش سرعت رشد گیاهان مورد مطالعه در کشت مخلوط با ایجاد رابطه همیاری دو جانبه تقویت شده است. افزایش راندمان مصرف نور در کشت مخلوط با گیاهان لگوم توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Gou et al., 2017;Liu et al., 2017; Chimonyo et al., 2018) همچنین نتایج برخی مطالعات ایجاد رابطه همیاری دو جانبه را در سیستم کشت مخلوط نشان می‌دهد (Arshad et al., Kim et al., 2018; 2020).



شکل ٤- میانگین کسری از نور دریافتی توسط گیاه دان‌سیاه و سویا در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط (به‌ترتیب دان‌سیاه- سویا) و در سال‌های مورد مطالعه

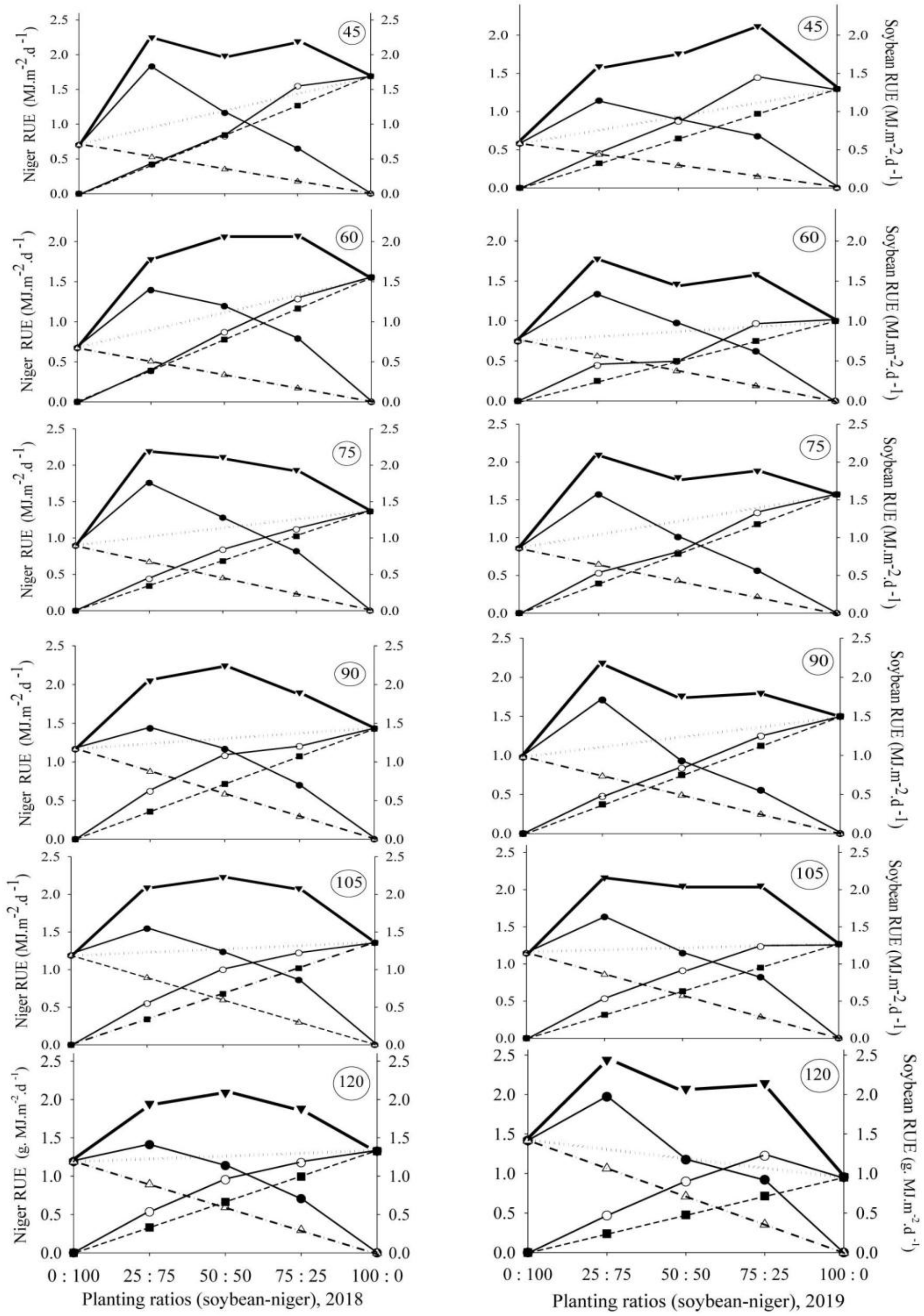
Fig. 4- The average fraction of PAR interception by niger and soybean in different intercropping ratio (soybean-niger respectively) and the studied years

خطوط عمودی بر روی نقاط و حروف A ،B به‌ترتیب نشان‌دهنده خطای استاندارد و سال ۱۳۹۷، ۱۳۹۸

ns، *، **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد

Vertical bars on the points and the letters A, B represent the standard error (SE) and studied years, 2018-2019

ns, * and **: not significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively)



شکل ۵- تأثیر رقابت دو گیاه دان‌سیاه و سویا بر کارایی مصرف نور گیاه در نسبت‌های مختلف کاشت و در سال‌های مورد مطالعه

Fig. 5- The effect of niger and soybean crop competition on radiation use efficiency (RUE) in different intercropping ratios and the studied years

● کارایی مصرف نور گیاه دان‌سیاه ،○ کارایی مصرف نور گیاه سویا،▼ مجموع کارایی مصرف نور دو گیاه در کشت مخلوط،∆ مقدار پیش‌بینی شده گیاه دان‌سیاه، ■مقدار پیش‌بینی شده گیاه سویا و اعداد داخل دایره در تصاویر مربوط به تعداد روز پس از کاشت می‌باشد)

● Actual radiation use efficiency of niger in intercropping,○ Actual radiation use efficiency of soybean in intercropping, ▼Total actual yields of niger and Soybean in intercropping,∆ Expected of radiation use efficiency in niger, ■Expected of radiation use efficiency in soybean and the numbers inside the circle in the pictures are related to the day after planting.

عملکرد دانه: علاوه‌بر مطالب مذکور نتایج تجزیه مرکب نشان داد، اثر سال و اثر نسبت‌های مختلف کاشت بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). بر این اساس، عملکرد دانه سویا و دان‌سیاه در سال دوم بیشتر از سال اول بود (جدول ۳). همانطور که اشاره شد افزایش میزان ماده خشک، تعداد غلاف و تعداد کاپیتول در بوته در سال دوم یکی از دلایل افزایش عملکرد دانه گیاهان مذکور در مقایسه با سال اول بود. در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط نیز، کشت خالص سویا (۱۰۰:۰) و دان‌سیاه (۰:۱۰۰) به‌ترتیب با میانگین ۴۹۶۵/۲۴ و ۴۶۲/۳۹ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین و کمترین عملکرد دانه بودند (جدول ۶). افزایش ۳۰/۷۴ درصدی عملکرد دانه گیاه دان‌سیاه در مقایسه با عملکرد مورد انتظار نقش مهمی در افزایش میزان عملکرد دانه در نسبت کاشت مذکور داشت. در مورد گیاه سویا نیز بیشترین سهم افزایش عملکرد دانه (۸۷/۹۵+) در مقایسه با مقدار قابل پیش‌بینی مربوط به نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه-سویا) بود. امّا در مجموع، به‌دلیل افزایش ناچیز (۱/۶۶+) عملکرد واقعی گیاه دان-سیاه در مقایسه با مقدار مورد انتظار، میزان عملکرد کل در سطح هکتار در مقایسه با نسبت‌های کاشت ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه- سویا) و ۵۰:۵۰ کاهش یافت. نتایج نشان داد، هر دو گیاه مورد مطالعه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط موفق به تولید میزان عملکرد بیشتری در مقایسه با مقدار قابل انتظار شدند. در این بین، بیشترین مقدار افزایش میزان عملکرد در مقایسه با مقادیر قابل پیش‌بینی با کاهش سهم کشت هر یک از گیاهان مورد مطالعه در الگوی کشت مخلوط حاصل شد. همانطور که اشاره شد گیاه دان‌سیاه و سویا به-ترتیب در نسبت‌های کاشت ۷۵:۲۵ و ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه- سویا) دارای بیشترین میزان افزایش عملکرد بودند. این موضوع می‌تواند به‌دلیل وجود رابطه همیاری دوجانبه در طول دوره رشد در سیستم کشت مخلوط باشد. به‌طور کلی، الگوی مناسب کاشت با ایجاد حداکثر تراکم سایه‌دهی ۳۰-۲۰ درصد می‌تواند باعث دستیابی به عملکرد مطلوب در گیاه سویا شود (Khalid et al., 2018).

در نهایت، تمامی نسبت‌های کاشت، دارای شاخص نسبت برابری زمین بالاتر از یک هستند (جدول ۷) و این نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط بر کشت خالص گیاهان مورد مطالعه است. بر طبق نتایج به‌دست آمده در دو سال مورد مطالعه نسبت کاشت ۵۰:۵۰ در مقایسه با سایر نسبت‌های کاشت دارای بیشترین نسبت برابری زمین (۱/۲۸) بود. نسبت‌های کاشت ۲۵:۷۵ و ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه- سویا) نیز به‌ترتیب با نسبت برابری زمین ۱/۲۳ و ۱/۱۴ در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. علاوه‌بر مطالب مذکور، نسبت برابری جزئی دان‌سیاه در نسبت‌های کاشت ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ بیشتر از نسبت کاشت ۷۵:۲۵ بود. این موضوع می‌تواند به‌دلیل رقابت بیشتر دان‌سیاه با گیاه سویا در نسبت کشت ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه- سویا) باشد که باعث افزایش ارتفاع نهایی ساقه دان‌سیاه شده است. به‌طور کلی، یکی از دلایل مهم برتری نسبت کاشت ۵۰:۵۰ در سیستم کشت مخلوط می‌تواند افزایش کارایی استفاده از نور در طی دوره رشد باشد، این موضوع مقدمات افزایش وزن خشک ساقه گیاه سویا (۱۴/۰۳ درصد) و دان سیاه (۱۵/۶۹ درصد)، افزایش تعداد غلاف و کاپیتول را در دو گیاه مورد مطالعه فراهم کرده است. همچنین ضریب نسبی تراکم نیز در بین نسبت‌های مختلف کاشت بیشتر از واحد بود (جدول ۷). در بین نسبت‌های مختلف کاشت بیشترین ضریب نسبی تراکم متعلق به نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه- سویا) و ۵۰:۵۰ بود. این موضوع نشان‌دهنده استفاده کارآمد از منابع محیطی در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط است. افزایش شاخص بهره‌وری در کشت مخلوط گیاهان لگوم با غیر لگوم توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Zhang et al., 2011; Lithourgidis et al., 2011; Vlachostergios et al., 2015).

جدول ٦- مقایسه میانگین عملکرد دانه سویا و دان‌سیاه در نسبت‌های مختلف کاشت

Table 6- Mean comparison for soybean and niger seed yield in different planting ratios

نسبت‌های کاشت (دان سیاه- سویا) Planting ratios (soybean-niger)	دان‌سیاه Niger			سویا Soybean		
	عملکرد واقعی Actual yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد مورد انتظار Expected yield ($kg.ha^{-1}$)	افزایش یا کاهش عملکرد واقعی نسبت به مورد انتظار Actual yield : expected yield	عملکرد واقعی Actual yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد مورد انتظار Expected yield ($kg.ha^{-1}$)	افزایش یا کاهش عملکرد واقعی نسبت به مورد انتظار Actual yield : expected yield
100 : 0	-	-	-	4965±760.59	-	-
75 : 25	151.13±48.51	115.59±31.39	+ 30.74	4021±593.83	3723±570.44	+ 7.99
50 : 50	272.76±87.77	231.19±65.79	+ 17.97	3432±734.48	2482±380.29	+ 38.26
25 : 75	352.57±97.05	346.79±94.19	+ 1.66	2333±439.47	1241±190.14	+ 87.95
0 : 100	462.39±125.59	-	-	-	-	-
حداقل اختلاف معنی‌دار LSD (0.05)	53.09	25.68	-	423.14	159.52	-

مقادیر میانگین ± انحراف استاندارد

Mean values plus/minus standard deviation ($\bar{X}$±SD)

جدول ۷- اثر نسبت‌های مختلف کاشت بر کارایی کشت مخلوط دان‌سیاه- سویا
Table 7- Effect of planting ratios on intercropping efficiency of soybean-niger

شاخص کشت مخلوط Intercropping index	گیاه زراعی Crop	نسبت‌های کاشت (دان‌سیاه- سویا) Planting ratios (soybean-niger)		
		75 : 25	50 : 50	25 : 75
نسبت برابری زمین LER	سویا Soybean	0.81	0.69	0.47
	دان‌سیاه Niger	0.33	0.59	0.76
	مجموع Total	1.14	1.28	1.23
ضریب نسبی تراکم RCC	سویا Soybean	1.86	2.29	2.71
	دان‌سیاه Niger	1.48	1.47	1.18
	مجموع Total	2.75	3.36	3.19

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد، نسبت‌های مختلف کشت مخلوط اثر معنی‌داری بر خصوصیات زراعی گیاه دان‌سیاه و سویا داشتند. بر این اساس، کاهش تعداد ردیف کاشت گیاه سویا در نسبت‌های کشت مخلوط باعث کاهش ارتفاع نهایی ساقه و افزایش تعداد غلاف در بوته به‌دلیل در اختیار داشتن فضای کافی برای توسعه شاخ و برگ گیاه شد، در مقابل کاهش ردیف کاشت گیاه دان‌سیاه نیز در کشت مخلوط ضمن افزایش ارتفاع گیاه تأثیر مثبت و معنی‌داری بر تعداد کاپیتول در بوته گیاه مذکور داشت. بنابراین، افزایش تعداد کاپیتول در بوته با کاهش تعداد ردیف‌های کاشت یک ساز و کار خودتنظیمی در گیاه دان‌سیاه است و این موضوع به برقراری ارتباط در رقابت بین‌گونه‌ای کمک قابل توجهی نموده است. بر اساس نتایج حاصل از میزان نور دریافت شده در کانوپی کشت مخلوط در سال‌های مورد مطالعه مشخص گردید، در مرحله ۹۰ روز پس از کاشت در هر دو سال زراعی نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه- سویا) و ۵۰:۵۰ دارای بیشترین میزان کسری از نور دریافتی بود. گیاه سویا در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (دان-سیاه- سویا) به‌دلیل در اختیار داشتن فضای کافی و سرعت بیشتر برای توسعه شاخه‌های فرعی، سهم بیشتری از میزان نور عبور یافته به داخل فضای تاج‌پوشش داشت و در نتیجه، این موضوع نقش مهمی در کاهش ارتفاع ساقه گیاه سویا در نسبت کاشت مذکور داشته است. در مورد گیاه دان‌سیاه با کاهش سهم کاشت در الگوی کشت مخلوط مقدار نور دریافت شده توسط گیاه مذکور کاهش یافت. این موضوع می‌تواند مربوط به ساز و کار رقابتی متفاوت گیاه دان‌سیاه با گیاه سویا باشد. به نظر می‌رسد، عدم قابلیت افزایش شاخه‌های فرعی در گیاه دان‌سیاه نقش قابل توجهی در کاهش مقدار نور دریافت شده در نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه- سویا) داشته است. هر چند ارتفاع بیشتر و توزیع شاخه‌های فرعی گیاه در فضای بالای تاج‌پوشش نقش مهمی در افزایش میزان کارایی مصرف نور در گیاه دان‌سیاه در مقایسه با مقادیر قابل پیش‌بینی در سال‌های مورد مطالعه داشت. امّا در مورد گیاه سویا پس از مرحله ۷۵ روز پس از کاشت (پایان گل‌دهی) و بسته‌شدن کانوپی کارایی مصرف نور در گیاه افزایش یافت و این موضوع سبب ایجاد رابطه همیاری دو جانبه در مراحل پایانی رشد در استفاده از منابع محیطی شد. یکی از مهم‌ترین دلایل افزایش وزن خشک گیاه سویا و دان‌سیاه به‌ترتیب در نسبت‌های کاشت ۲۵:۷۵ و ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه- سویا) به‌مقدار ۲۶/۹۳ و ۳۳/۶۶ درصد مربوط به‌میزان جذب نور توسط تاج‌پوشش و افزایش رابطه مکملی در کارایی استفاده از عوامل محیطی به‌ویژه نور دریافت شده توسط الگوی کشت مخلوط می‌باشد. در نهایت، بیشترین افزایش شاخص نسبت برابری زمین با میانگین ۱/۲۸ و ۱/۲۳ به‌ترتیب متعلق به نسبت کاشت ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه- سویا) بود. این موضوع به‌دلیل افزایش قابل توجه عملکرد دانه گیاه سویا با کاهش سهم کاشت آن در کشت مخلوط بود. هر چند افزایش کارایی مصرف نور در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه- سویا) نقش مهمی در افزایش میزان عملکرد کل محصول در کشت مخلوط نداشت، امّا باعث افزایش سهم گیاه

دان‌سیاه از عملکرد کل در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه- سویا) در مقایسه با سایر نسبت‌های کشت مخلوط شد. به نحوی که این مقدار در نسبت‌های کاشت ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (دان‌سیاه- سویا) به‌ترتیب ۱۳/۱۳، ۷/۳۳ و ۶/۵۴ درصد بود. در نهایت، انتخاب مناسب گیاهان همراه در کشت مخلوط با قابلیت توان رقابتی می‌تواند نقش مهمی در افزایش کارایی استفاده از منابع از طریق ایجاد روابط مکملی داشته باشد و در نتیجه، به تولید پایدار در الگوی کشت مخلوط تحت سیستم کشاورزی کم نهاده کمک نماید. لذا کاربرد نسبت‌های کاشت ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ (دان‌سیاه- سویا) می‌تواند گزینه مناسبی برای افزایش بهره‌وری در کشت مخلوط باشد.

References

1. Alizadeh, Y., Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M.(2010). Evaluation of radiation use efficiency of intercropping of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and herb sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agroecology*, *2*(1), 94-104. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22067/jag.v2i1.7605
2. Alsajri, F.A., Singh, B., Wijewardana, C., Trenton Irby, J., Gao, W., & Reddy, R.(2019). Evaluating soybean cultivars for low and high temperature tolerance during the seedling growth stage. *Agronomy*, *9*(13), 1-20. https://doi.org/10.3390/agronomy9010013
3. Ambas, V., & Baltas, E.(2014). Spectral analysis of hourly solar radiation. *Environmental Process*, *1*, 251-263. https://doi.org/10.1007/s40710-014-0023-9
4. Arshad, M., Nawaz, R., Ahmad, S., Shad, G., Faiz, F., Ahmed, N., Irchad, M., & Ranamukhaarachchi, S.L.(2020). Growth, yield and nutritional performance of sweet sorghum and legumes in sole and intercropping influenced by type of legume, nitrogen level and air quality. *Polish Journal of Environmental Studies*, *29*(1), 533-543. https://doi.org/10.15244/pjoes/104461
5. Bedoussac, L., & Justec, E.(2010). Dynamic analysis of competition and complementarity for light and N use to understand the yield and the protein content of a durum wheat–winter pea intercrop. *Plant and Soil*, *330*, 37-54. https://doi.org/10.1007/s11104-010-0303-8
6. Bedoussac, L., & Justec, E.(2011). A comparison of commonly used indices for evaluating species interactions and intercrop efficiency: Application to durum wheat–winter pea intercrops. *Field Crop Research*, *124*, 25-36. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.05.025
7. Carciochi, W.D., Schwalbert, R., Andrade, F.H., Corassa, G.M., Carter, P., Gasper, A.P., Schmidt, J., & Ciampitti, A. (2019). Soybean seed yield response to plant density by yield environmental in North America. *Agronomy Journal*, *111*(4), 1-10. https://doi.org/10.2134/agronj2018.10.0635
8. Chimonyo, V.G.P., Modi, A.T., & Mabhaudhi, T.(2018). Sorghum radiation use efficiency and biomass partitioning in intercrop systems. *South African Journal of Botany*, *118*, 76-84. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.06.009
9. Corassa, G.M., Amado, T.J.C., Strieder, M.L., Schwalbert, R., Pires, J.L.F., Carter, P.R., Ciampitti, & I.A.(2018). Optimum soybean seeding rates by yield environment in southern brazil. *Agronomy Journal*, *110*(6), 1-9. https://doi.org/10.2134/agronj2018.04.0239
10. De Wit, C.T.(1960). On competition. Verslag Landbouw-Kundige Onderzoek , 66, 1–28.
11. Feng, L., Muhammad, A.R., Li, Z., Chen, Y., Khalid, M.H.B., Du, J., Liu, W., Wu, X., Song, C., Yu, L., Zhang, Z., Yuan, S., Yang, W., & Yang, F.(2019). The influence of light intensity and leaf movement on photosynthesis characteristics and carbon balance of soybean. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 1-14. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01952
12. Gou, F., Van Ittersum, M.K., Simon, E., Leffelaar, P.A., Putten, P.E.L., Zhang, L., & Werf, W.(2017). Intercropping wheat and maize increases total radiation interception and wheat RUE but lowers maize RUE. *European Journal of Agronomy*, *84*, 125-139. https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.10.014
13. Hauggaard-Nielsen, H., & Jensen, E.S.(2001). Evaluation pea and barley cultivars for complementarity in intercropping at different levels of soil N availability. *Field Crop Research*, *72*, 185-196. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00176-9
14. Hill, J., & Shimamoto, Y.(1973). A methods of analyzing competition with special reference to herbage plants. *Journal of Agricultural Science*, *81*, 77-88. https://doi.org/10.1017/S0021859600058342

15. Jamont, M., Guillaume, P., & Fustec, J.(2013). Sharing N resources in the early growth of rapeseed intercropped with faba bean: Does N transfer matter? *Plant and Soil*, *371*(1-3), 651-653. https://doi.org/10.1007/s11104-013-1712-2
16. Janbazghobadi, G.(2018). Calibration and validation of the estimate of the radiation rates of the sun and its zoning of meteorological station data of Mazandaran province. *Geography*, *8*(1), 237-249. (In Persian with English Summary) DOR: 20.1001.1.22286462.1396.8.1.13.6
17. Kasle, S.V., Gaikeard, S.R., Bhusari, S.A., & Kalegore, N.K.(2020). Studies on growth, yield and quality of niger (*Guizotia abyssinica* Cass) as influenced by graded levels of fertilizer and plant density. *The Pharma Innovation Journal*, *9*(11), 314-316.
18. Khalid, M.H.B., Reza, M.A., Yu, H.Q., Sum, F.A., Zhang, Y.Y., Lu, F.Z., Iqbal, N., Khan, I., Fu, F.L., & Li, W.C.(2018). Effect of shade treatments on morphology, photosynthetic and chlorophyll fluorescence characteristics of soybeans (*Glycine max* L. merr.). *Applied Ecology and Environmental Research*, *17*(2), 2551-2569. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1702_2551256
19. Kim, J., Song, Y., Kim, D.W., Fiaz, M., & Kwon, C.H.(2018). Evaluating different inter row distances between corn and soybean for optimum growth, production and nutritive value of intercropped forages. *Journal of Animal Science and Technology*, *60*(1), 1-6. https://doi.org/10.1186/s40781-017-0158-0. eCollection 2018
20. Koocheki, A., Shabahang, J., Khorramdel, S., & Ghafouri, A.(2012). Row intercropping of borage (*Borago officinals* L.) with bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on possible evaluating of the best strip width and assessing of ecological characteristics. *Journal of Agroecology*, *4*(1), 1-11. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22067/jag.v4i1.14951
21. Lithourgidis, A.S., Vlachostergios, D.N., Dordas, C.A., & Damalas, C.A.(2011). Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea–cereal intercropping system Greece. *European Journal of Agronomy*, *34*, 287-294. https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.007
22. Liu, X., Rahman, T., Song, C., Su, B., Yang, F., Yong, T., Wu, Y., Zhang, C., & Yang, W.(2017). Changes in light environment, morphology, growth and yield of soybean in maize-soybean intercropping systems. *Field Crop Research*, *200*, 38-46. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.10.003
23. Luca, M.J.D. & Hungria, M.(2014). Plant densities and modulation of symbiotic nitrogen fixation in soybean. *Scientia Agricola*, *71*(3), 181-187. https://doi.org/10.1590/S0103-90162014000300002
24. Loreau, M., & Hector, A.(2001). Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature*, *412*, 72–76. https://doi.org/10.1038/35083573
25. Lunagaria, M.M., & Shekh, A.M.(2006). Radiation interception, light extinction coefficient and leaf area index of wheat (*Triticum aestivum* L.) crop as influenced by row orientation and row spacing. *Agricultural Sciences*, *2*(2), 43-54. https://doi.org/10.4038/jas.v2i2.8130
26. Machado, S.(2009). Does intercropping have a role in modern agriculture? *Soil and Water Conservation Society*, *64*(2), 55-57. https://doi.org/10.2489/jswc.64.2.55A
27. Mead, R., & Willey, R.W.(1980). The concept of a land equivalent ratio and advantages in yields for intercropping. *Experimental Agriculture*, *16*, 217–228. https://doi.org/10.1017/S0014479700010978
28. Monti, M., Pellicano A., Santonoceto, C., Preiti, G., & Pristeri, A.(2016). Yield components and nitrogen use in cereal-pea intercrops in Mediterranean. *Field Crop Research*, *196*, 379-388. DOI: 10.1016/j.fcr.2016.07.017
29. Namdari, M., Behdani, M.A., & Arab, G.(2010). Evaluation of physiological and morphological characteristics and yield of soybean (*Glycine max* L.) cultivars under different intercropping planting ratios. *Journal of Agroecology*, *2*(2), 313-322. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22067/jag.v2i2.7638
30. Nico, M., Miralles, D.J., & Kantolic, A.G.(2019). Natural post-flowering photoperiod and photoperiod sensitivity: Roles in yield determining processes in soybean. *Field Crop Research*, *231*, 141-152. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.10.019
31. Onat, B., Bakal, H., Gulluoglu, L., & Arioglu, H.(2017). The effects of heigh temperature at the growing period on yield and yield components of soybean varieties. *Turkish Journal of Field Crops*, *22*(2), 178-186. https://doi.org/10.17557/tjfc.356210
32. Ranganatha, A.R.G., Panday, A.K., Bisen, R., Jain, S., & Sharma, S.(2016). Niger. In S.K. Gupta (Eds). Breeding Oilseed Crops for Sustainable Production, opportunities and constraints. Academic Press, London, p. 169-199.
33. Ren, Y., Liu, J., Wang, Z., & Zhang, S.(2016). Planting density and sowing proportions of maize–soybean

intercrops affected competitive interactions and water-use efficiencies on the Loess Plateau, China. *European Journal of Agronomy*, *72*, 70-79. https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.10.001

34. Rezaie Chiyaneh, E., Tajbakhsh, M., Valizadegan, O., & Bannaei Asl, F.(2013). Evaluation of different intercropping patterns of cumin (*Cuminum cyminum* L.) and lentil (*Lens cultivars* L.) in double crop. Journal *of Agroecology*, *5*(4), 452-461. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22067/jag.v5i4.33009
35. Skrudlik, G., & Koscielniak, J.(1996). Effects of low temperature treatment at seedling stage on soybean growth, development and final yield. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *176*(2), 111-117. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1996.tb00453.x
36. Stomph, T., Dordas, C., Baranger, A., de Rijk, J., Dong, B., Evers, J., Gu, C., Li, L., Simon, J., Jensen, E.S., Wang, Q., Wang, Y., Wang, Z., Xu, H., Zhang, C., Zhang, L., Zhang, W., Bedoussac, L., & Werf, W.V.(2020). Designing intercrops for high yield, yield stability and efficient use of resources: Are there principles? Advances in Agronomy. In D.L. Sparks (Eds), Advances in Agronomy. Academic Press, London. p. 1-50.
37. Thapa, R., Poffenberger, H., Tully, K.L., Ackroyd, V.J., Kramer, M., & Mirsky, B.(2018). Biomass production and nitrogen accumulation by Hairy Vetch–Cereal Rye mixtures: A meta-analysis. *Agronomy Journal*, *110*(4), 1197-1208. https://doi.org/10.2134/agronj2017.09.0544
38. Tsubo, M., & Walker, S.(2002). A model of radiation interception and use by a maize-bean intercrop canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, *110*, 203–215. https://doi.org/10.1016/S0168-1923(01)00287-8
39. Vlachostergios, D.N., Dordas, C.A., & Lithourgidis, A.S.(2015). Forage yield, protein concentration and interspecific competition in red pea-cereal intercrops. *Experimental Agriculture*, *51*(4), 635-650. https://doi.org/10.1017/S0014479714000519
40. Wang, Z., Zhao, X., Wu, P., He, J., Chen, X., Gao, Y., & Cao, X.(2015). Radiation interception and utilization by wheat/maize strip intercropping systems. *Agricultural and Forest Meteorology*, *204*, 58-66. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.02.004
41. Weisany, W., Salmasi, S., Raei, Y., & Shorabi, Y.(2016). Can arbuscular mycorrhizal fungi improve competitive ability of dill + common bean intercrops against weeds? *European Journal of Agronomy*, *75*, 60-71. https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.01.006
42. Willer, H., & Lernoud, J.(2017). The world of organic agriculture statistics and emerging trends. Research Institute of Organic Agriculture FiBL and IFOAM-Organic International. Frick and Bonn, Germany. p. 340.
43. Yang, F., Fan, Y., Wu, X., Cheng, Y., Liu, Q., Feng, L., Chen, J., Wang, Z., Wang, X., & Yong, T.,(2018). Auxin-to-gibberellin ratio as a signal for light intensity and quality in regulating soybean growth and matter partitioning. *Frontiers Plant Science*, *9*(56), 1-13. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00056
44. Yang, W., Li, Z., Wang, J., Wu, P., & Zhang, Y.(2013). Crop yield, nitrogen acquisition and sugarcane quality as affected interspecific competition and nitrogen application. *Field Crop Research*, *146*, 44-50. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.03.008
45. Yu, Y., Stomph, T.J. Makowski, D., & Werf, W.V.(2015). Temporal niche differentiation increases the land equivalent ratio of annual intercrops: A meta-analysis. *Field Crop Research*, *184*, 133-144. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.09.010
46. Zaefarian, F., & Bagheri Shirvan, M.(2014). Effect of intercropping different ratios on yield of soybean, sweet basil and borage. *Journal of Crop Improvement*, *16*(1), 197-214. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22059/jci.2014.51952
47. Zhang, G., Yang, Z., & Dong, S.(2011). Interspecific competitiveness affects the total biomass yield in an alfalfa and corn intercropping system. *Field Crops Research*, *124*, 66-73. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.06.006
48. Zhang, L.Z., Werf, W.V., Bastiaans, L., Zhang, S., Li, B., & Spiertz, J.H.J.(2008). Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. *Field Crops Research*, *107*(1), 29–42. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.12.014

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

CC BY

Research Article
Vol. 15, No. 2, Summer 2023, p. 263-276

The Effect of Planting Method and Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) Residue Compost on Yield and Yield Components of Corn (*Zea mays* L.) and some Properties of Soil

Mohamad Tahmasebi[1], Mohamad Hossain Gharineh[2]*, Ali Moshatati[3] and Aydin Khodaei-Joghan[3]

Received: 30-08-2021
Revised: 01-12-2021
Accepted: 13-12-2021
Available Online: 13-12-2021

How to cite this article:
Tahmasebi, M., Gharineh, M.H., Moshatati, A., & Khodaei-Joghan, A. (2023). The effect of planting method and sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) residue compost on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.) and some properties of soil. *Journal of Agroecology*, 15(2), 263-276.
DOI: 10.22067/agry.2021.72138.1064

Introduction

One factor affecting crops growth and development is the cultivation pattern, which affects the distribution of plants in the field, distances between plants, the use of growth sources such as light, water, and soil nutrients, and competition between plants. These factors affect the growth and yield of crops. Also, using compost fertilizer has beneficial effects on the soil's physical, chemical, and biological conditions and has positive effects on crop plants' grain yield and yield components. This study was designed and carried out to study the effect of planting method and sugarcane residue compost fertilizer on yield and yield components of corn and some soil properties in Ahwaz weather conditions at Agricultural Sciences and the Natural Resources University of Khuzestan.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of planting method and sugarcane residue compost fertilizer on yield and yield components of corn (hybrid of single cross 703) and some soil properties, a field experiment using a split-plot arrangement accomplished based on the randomized complete block design with four replications in Mian-Ab region of Shooshtar on 2018. Experimental factors included four planting methods (single row on ridges, on watermark, in furrows, and on flat ground) as a main factor in main plots and four amounts of sugarcane residues compost (0, 10, 20, and 30 t ha^{-1}) as a subfactor in sub-plots. Each sub-plot had six planting rows with a length of 3 meters and a width of 4.5 meters (with an area of 13.5 square meters). The seeds were planted manually at a depth of 3 cm on 2nd August 2017 with a density of 66000 per ha (the distance between ridges and furrows was 75 cm, and the distance between the plants was 18 cm). In this experiment, row number per ear, grains per row, thousand-grain weight, grain yield, biological yield, harvest index, soil nitrogen percent and soil organic matter percent were measured.

Results and Discussion

The analysis of variance showed that the effect of plant method, sugarcane residue compost, and their interaction was significant on the traits of row number per ear, grain number per row, thousand-grain weight, grain yield, biological yield, harvest index, soil nitrogen percent and soil organic matter percent. The comparison of mean showed that the maximum amount of corn traits were obtained in furrow planting and using 30 t ha^{-1} of

1, 2, 3- Former M.Sc. Student, Associate Professor and Assistant Professors, Respectively, Department of Plant Production and Genetic Engineering, College of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran.
(*- Corresponding author's Email: Mgharineh@asnrukh.ac.ir)

sugarcane residue compost, and the lowest amounts was observed in ridge planting and non-use of sugarcane residue compost. So, the mean comparison of grain yield under the interaction of planting method and sugarcane residue compost showed that the highest grain yield (6497 kg ha^{-1}) was in furrow planting and 30 t ha^{-} of sugarcane residue compost and the lowest grain yield (3870 kg ha^{-1}) was in ridge planting and non-use of sugarcane residue compost. Examination of correlation coefficients between the measured traits showed that grain yield had a more positive and significant correlation with biological yield, harvest index, and 1000-grain weight. Also, the biological yield had a more positive and significant correlation with grain yield, 1000-seed weight, and number of rows per ear.

Conclusion

In general, the findings of this experiment demonstrated that the furrow cultivation method resulted in the highest values for the measured traits (excluding soil nitrogen and soil organic matter percentage). Moreover, across all cultivation methods, an increase in the application of sugarcane residues compost fertilizer, and the availability of water and nutrients for the plants, led to an increase in the magnitude of these traits. The maximum values were achieved at a compost fertilizer rate of 30 t ha-1. Based on the results of this experiment, it can be concluded that cultivating corn using the furrow method and applying 20 to 30 t ha-1 of sugarcane residue compost can significantly enhance corn grain yield in the Shooshtar region.

Keywords: Biological yield, Khuzestan, Organic fertilizer, Planting pattern, Soil organic matter percent

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

مقاله پژوهشی
جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۲۷۶-۲۶۳

اثر روش کشت و کمپوست بقایای نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) و برخی خصوصیات خاک

محمد طهماسبی[1]، محمدحسین قرینه[2]*، علی مشتطی[3] و آیدین خدایی جوقان[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۰۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۹/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۲

چکیده

به‌منظور بررسی اثر روش کشت و میزان کمپوست بقایای نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) هیبرید سینگل کراس ۷۰۳ و برخی خصوصیات خاک، آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در تابستان ۱۳۹۷ در منطقه میان آب شوشتر اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل چهار روش کشت (یک ردیف در نوک پشته، داغ آب، کف جوی و مسطح) در کرت‌های اصلی و چهار مقدار کمپوست بقایای نیشکر (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار) در کرت‌های فرعی بودند. تجزیه واریانس نشان داد که اثر روش کشت، سطوح کمپوست بقایای نیشکر و اثر متقابل آن‌ها بر صفات تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت، درصد نیتروژن خاک و درصد ماده آلی خاک معنی‌دار بود. مقایسه میانگین نشان داد که حداکثر مقدار اکثر صفات گیاهی فوق در روش کشت کف جوی و مصرف ۳۰ تن در هکتار کمپوست بقایای نیشکر و کمترین میزان آن‌ها در روش کشت نوک پشته و عدم مصرف کمپوست بقایای نیشکر حاصل شد. به‌طوری‌که مقایسه میانگین صفت عملکرد دانه تحت اثر متقابل روش کشت و کمپوست بقایای نیشکر نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۶۴۹۷ کیلوگرم در هکتار) در روش کشت کف جوی و مصرف ۳۰ تن در هکتار کمپوست بقایای نیشکر و کمترین عملکرد دانه (۳۸۷۰ کیلوگرم در هکتار) در روش کشت نوک پشته و عدم مصرف کمپوست بقایای نیشکر حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، خوزستان، درصد ماده آلی خاک، عملکرد بیولوژیک، کود آلی

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) پس از گندم و برنج، مهم‌ترین ماده غذایی دنیا است که با دامنه سازگاری گسترده به اقلیم‌های مختلف، عملکرد زیادی دارد و در تغذیه انسان، دام و طیور و صنعت استفاده می‌شود (Emam, 2011). بر اساس آمارنامه کشاورزی در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷، استان خوزستان با سطح زیر کشت حدود ۶۰ هزار هکتار و تولید حدود ۴۶۰ هزار تن ذرت دانه‌ای، مقام اول کشور را داشت (MAJ, 2020). زراعت و تولید ذرت در استان خوزستان با مشکلاتی مثل کمبود منابع آبی در تابستان، پایین بودن درصد ماده آلی خاک، سنگین بودن بافت خاک، شوری اراضی و غیره مواجه است که می‌توان با مدیریت زراعی بهینه و استفاده از راهکارهای به‌زراعی و به نژادی بعضی از این مشکلات را کاهش داد.

از عوامل زراعی مؤثر بر رشد و نمو گیاهان زراعی، روش و الگوی کشت است که بر توزیع گیاهان در سطح مزرعه، فواصل بین بوته‌ها، میزان استفاده از منابع رشدی مثل نور، آب و عناصر غذایی خاک،

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیاران گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: Mgharineh@asnrukh.ac.ir)
DOI: 10.22067/agry.2021.72138.1064

رقابت بین گیاهان و غیره اثر دارد که در نهایت، این عوامل بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی مؤثر است (Li et al., 2008). در استان خوزستان و در شرایط کمبود آب و اراضی شور، کشت ذرت روی پشته باعث افزایش میزان آب مصرفی و مقدار تبخیر از سطح خاک، افزایش تجمع شوری در نوک پشته، افزایش رشد علف‌های هرز در جوی و غیره می‌شود که بر رشد و عملکرد ذرت اثر منفی دارد؛ در صورتی که کشت در کف جوی باعث کاهش میزان آب مصرفی، کاهش مقدار تبخیر، افزایش کارایی مصرف آب، کاهش تجمع نمک در اطراف ریشه گیاه، کاهش رشد علف‌های هرز و غیره می‌شود که می‌تواند باعث افزایش رشد و عملکرد ذرت شود (Barzegari et al., 2007; Moaieri, 2018)در این خصوص، در آزمایشی با بررسی اثر الگوی کشت بر رشد و عملکرد ذرت دانه‌ای بیان شد که روش کشت کف جوی باعث افزایش صفات تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت شد، به‌طوری‌که عملکرد دانه در روش کاشت کف جوی (۵۹۴/۷ گرم در مترمربع) نسبت به روش کاشت روی پشته (۵۲۲/۲ گرم در مترمربع) باعث افزایش ۱۲ درصدی عملکرد دانه شد (Hooshmand et al., 2014). در پژوهشی، با بررسی اثر الگوی کشت بر رشد و عملکرد ذرت دانه‌ای گزارش شد که روش کشت کف فارو باعث افزایش رشد و عملکرد دانه شد، به‌طوری‌که عملکرد دانه در روش کاشت کف فارو (۷/۱۴ تن در هکتار) نسبت به روش کاشت روی پشته (۴/۰۴ تن در هکتار) باعث افزایش ۴۴ درصدی عملکرد دانه شد (Davani et al., 2016). در مطالعه‌ای با بررسی اثر الگوی کشت بر رشد و عملکرد ذرت دانه‌ای نشان داده شد که روش کشت کف جوی باعث افزایش صفات تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت شد، به‌طوری‌که عملکرد دانه در روش کشت کف جوی (۶۸۱/۵ گرم در مترمربع) نسبت به روش کشت روی پشته (۵۷۰/۵ گرم در مترمربع) باعث افزایش ۱۷ درصدی عملکرد دانه شد (Lak et al., 2016). همچنین در آزمایشات دیگر، در روش کشت کف جوی نسبت به روش کشت روی پشته، میزان افزایش عملکرد دانه ذرت دانه‌ای حدود سه درصد (Soleimanifard & Naseri, 2016) و حدود ۲۵ درصد (Nassiri et al., 2016) گزارش شده است.

یکی از راهکارهای افزایش میزان ماده آلی خاک، استفاده از مواد طبیعی مثل کودهای آلی در خاک است که باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، افزایش ماده آلی و تعادل پی‌اچ خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مثل نیتروژن، اصلاح ساختمان خاک، افزایش فعالیت ریزجانداران، ایجاد بستر مناسب برای رشد ریشه، افزایش فتوسنتز، رشد اندام هوایی و تولید ماده خشک و در نهایت، بهبود عملکرد گیاه می‌شود، همچنین این مواد نسبت به کودهای شیمیایی آلودگی کمتری در محیط زیست ایجاد می‌کنند (Sajadinik et al., 2011). در بین کودهای آلی، کودهای کمپوست به‌دلیل اینکه باعث پایداری خاکدانه‌های خاک، افزایش تخلخل خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک، حاصلخیزی و باروری خاک، افزایش نیتروژن در دسترس خاک و بهبود ریزوسفر خاک می‌شوند، نقش مهمی در کشاورزی پایدار و بهبود بوم نظام‌های زراعی دارند (Sullivan et al., 2002). یکی از کودهای کمپوست مهم که در استان خوزستان به‌مقدار زیادی تولید می‌شود و اخیراً مورد توجه قرار گرفته است، کود کمپوست بقایای نیشکر است. از جمله پسماندهای با ارزش کارخانجات نیشکر می‌توان به باگاس، فیلتر کیک (گل کربنات کلسیم) و تراش اشاره کرد. باگاس و فیلتر کیک، با توجه به ترکیباتی که دارند می‌توانند در تولید کمپوست و ورمی‌کمپوست استفاده شوند. علاوه‌بر باگاس، فیلترکیک محصول جانبی صنعت نیشکر است که در طی فرایند رسوب‌گذاری و تصفیه شربت به‌دست می‌آید و کیفیت آن به فرایندی که برای رسوب گذاری ناخالصی استفاده می‌شود، بستگی دارد. ماده آلی موجود در فیلترکیک حدود ۶۴ درصد وزن خشک آن است و منبع غنی کلسیم می‌باشد. فیلتر کیک در کارخانجات نیشکر حاوی ذرات ریز فیبر نیشکر، آهک، ذرات خاک، فسفات، واکس چربی و پروتئین به همراه سایر مواد غیرقندی است (Marinari et al., 2000). کمپوست تولید شده از باگاس و فیلتر کیک نیشکر حاوی کلیه مواد مغذی خاک نظیر عناصر ماکرو نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، عناصر میکرو و سایر مواد آلی مورد نیاز گیاهان است (Chattha et al., 2019).

در مورد اثر مصرف کود کمپوست بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی مختلف پژوهش‌های متعددی صورت گرفته است. به‌عنوان مثال، در آزمایشی با ارزیابی اثر مقادیر مختلف کمپوست زباله شهری بر عملکرد ذرت شیرین بیان شد که با افزایش مصرف کمپوست؛ صفات عملکرد دانه ذرت شیرین و درصد نیتروژن خاک و درصد ماده آلی خاک افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه در تیمار مصرف ۴۰ تن در هکتار کمپوست حاصل شد (Mojab-

(Qasroldashti et al., 2014). در پژوهشی در بررسی اثر مصرف کود ورمی‌کمپوست بر عملکرد ذرت دانه‌ای گزارش شد که با مصرف کود ورمی‌کمپوست، صفات تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت افزایش یافت و حداکثر عملکرد دانه (۷/۵ تن در هکتار) در مصرف پنج تن در هکتار کود ورمی‌کمپوست به‌دست آمد (Mohammad-Khani & Roozbahani, 2015). در پژوهشی، طی مطالعه اثر سطوح مختلف کود شیمیایی نیتروژن، کود مرغی و کمپوست زباله شهری بر عملکرد ذرت شیرین نشان داده شد که با افزایش مصرف کمپوست زباله شهری؛ صفات عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک افزایش یافت و حداکثر عملکرد دانه کنسروی در تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۴ تن در هکتار کود مرغی و تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۱۲ تن در هکتار کمپوست زباله شهری حاصل شد (Fereidooni et al., 2018). در آزمایشی با ارزیابی اثر مقادیر کمپوست نیشکر و نیتروژن بر عملکرد ذرت دانه‌ای بیان شد که با افزایش مصرف کمپوست نیشکر، صفات تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت افزایش یافت و بیشترین عملکرد دانه (۶۴۴۶ کیلوگرم در هکتار) در مصرف ۳۰ تن در هکتار کمپوست نیشکر به‌دست آمد (Zadeh-Omidi & Marashi, 2019). همچنین در پژوهش دیگری، در بررسی اثر سطوح فیلترکیک نیشکر بر صفات مورفولوژیک و عملکرد ذرت دانه‌ای گزارش شد که با افزایش مصرف فیلترکیک نیشکر، صفات تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه و عملکرد دانه افزایش یافت و حداکثر عملکرد دانه (۶۱۷۱ کیلوگرم در هکتار) در تیمار مصرف ۵۰ تن در هکتار فیلترکیک نیشکر حاصل شد (Faezizadeh & Shokohfar, 2020).

با توجه به نتایج تحقیقات مختلف، روش کشت کف جوی باعث افزایش رشد و عملکرد ذرت دانه‌ای می‌شود، همچنین کاربرد کود کمپوست اثرات مطلوبی بر حفظ رطوبت خاک، فراهمی عناصر غذایی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش رشد و عملکرد ذرت دارد، ولی اثر تلفیقی روش کشت و مقدار کود کمپوست نیشکر بر ذرت در منطقه مطالعه نشده است، لذا این آزمایش با هدف بررسی اثر روش کشت و کاربرد مقادیر مختلف کود کمپوست بقایای نیشکر بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای و برخی خصوصیات خاک در شرایط آب و هوایی خوزستان طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در تابستان ۱۳۹۷ در منطقه میان‌آب در جنوب غربی شوشتر با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه، ارتفاع ۱۵۰ متر از سطح دریا و آب و هوای گرم و خشک (متوسط درجه حرارت ۲۷ درجه سلسیوس و متوسط حداقل و حداکثر درجه حرارت به‌ترتیب ۱۰ و ۴۰ درجه سلسیوس با میانگین بارندگی سالیانه ۳۰۰ میلی‌متر) اجرا شد. این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک و کمپوست بقایای نیشکر

Table 1- Physical and chemical properties of soil and sugarcane residue compost

مشخصات فیزیکی و شیمیایی Physical and chemical properties	خاک (صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) Soil (0-30 cm)	کمپوست بقایای نیشکر Sugarcane residue compost
هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	1.2	2.2
pH	7.0	7.6
ماده آلی Organic matter (%)	0.7	57.6
نیتروژن N (%)	0.03	0.3
فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	35	76
پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	590	5000
وزن مخصوص ظاهری Bulk density ($g.cm^{-3}$)	1.2	-
بافت Texture	رسی سیلتی Silty clay	-

عوامل آزمایشی شامل چهار روش کاشت (کشت یک ردیف در نوک پشته (شاهد)، داغ آب، کف جوی و مسطح) به‌عنوان عامل اصلی در کرت‌های اصلی و چهار سطح کمپوست بقایای نیشکر (صفر (شاهد)، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار) به‌عنوان عامل فرعی در کرت‌های فرعی بودند. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک و کود کمپوست بقایای نیشکر مورد استفاده با رطوبت حدود ۲۰ درصد (تهیه شده از شرکت کشت و صنعت نیشکر کارون) در جدول ۱ آمده است.

پس از آماده‌سازی زمین (شامل شخم، دیسک و جوی و پشته سازی با فاروئر) و قبل از کاشت، مقدار کود کمپوست بقایای نیشکر بر اساس تیمار توزین و توسط دستگاه کولتیواتور دستی با خاک مخلوط شد. هر کرت آزمایشی فرعی شش ردیف کاشت به‌طول سه متر و عرض ۴/۵ متر (به‌مساحت ۱۳/۵ مترمربع) داشت. بذر ذرت دانه‌ای هیبرید سینگل کراس ۷۰۳ در تاریخ ۱۱ مرداد ۱۳۹۷ با تراکم ۶۶ هزار بوته در هکتار (فاصله بین جوی و پشته ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بین بوته ۱۸ سانتی‌متر) به‌صورت دستی در عمق سه سانتی‌متر کشت شد. در مرحله داشت، آبیاری با توجه به شرایط آب و هوایی، وضعیت ظاهری رطوبت خاک و نیاز گیاه به‌صورت نشتی انجام شد. در مورد کوددهی، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (به‌صورت ۳۳ درصد در زمان کاشت، ۳۳ درصد در مرحله شش تا هشت برگی و ۳۳ درصد در مرحله قبل از ظهور گل تاجی) از منبع اوره و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر در زمان قبل از کاشت از منبع سوپر فسفات تریپل استفاده شد. علف‌های هرز داخل و بین کرت‌ها به‌صورت دستی وجین شدند.

در زمان برداشت و در مرحله رسیدگی کامل در اواخر آبان ۱۳۹۷، دو خط اول و آخر و همچنین نیم متر از اول و آخر کرت به‌عنوان حاشیه حذف و سطح باقی‌مانده برداشت شد. تعداد ردیف در بلال و تعداد دانه در ردیف بر اساس متوسط ۲۰ بلال تصادفی، وزن هزار دانه با شمارش و توزین دو نمونه تصادفی ۵۰۰ دانه‌ای، عملکرد دانه با رطوبت ۱۴ درصد، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت با تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک ضربدر ۱۰۰ تعیین شدند. میزان نیتروژن خاک توسط روش و دستگاه کجلدال (Bremner, 1996) و درصد کربن آلی خاک با اکسید کربن آلی خاک در مجاورت دی کرومات پتاسیم و اسید غلیظ و سپس عیار سنجی با محلول سولفات فروآمونیوم اندازه‌گیری و درصد ماده آلی خاک از حاصلضرب درصد کربن آلی خاک در عدد ۱/۷۲ به‌دست آمد (Walkley & Black, 1934). تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به‌روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) با نرم‌افزار تجزیه آماری (SAS 9.4) انجام شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس نشان داد که اثر روش کشت و سطوح مختلف کمپوست بقایای نیشکر بر صفات تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، درصد نیتروژن خاک و درصد ماده آلی خاک معنی‌دار شد و اثر متقابل روش کشت و سطوح مختلف کمپوست بقایای نیشکر بر تمام صفات اندازه‌گیری شده فوق (به‌جز تعداد ردیف در بلال و وزن هزار دانه) معنی‌دار بود (جدول ۲).

تعداد ردیف در بلال: تجزیه واریانس نشان داد که اثر روش کاشت در سطح یک درصد و اثر کمپوست بقایای نیشکر در سطح پنج درصد بر صفت تعداد ردیف در بلال معنی‌دار شد، ولی اثر متقابل آن‌ها بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین تعداد ردیف در بلال تحت اثر روش کشت (جدول ۳) نشان داد که بیشترین تعداد ردیف در بلال (۱۵/۸) در روش کشت کف جوی و کمترین تعداد ردیف در بلال (۱۳/۵) در روش کشت روی خط داغ آب بود که با روش کشت روی نوک پشته اختلاف معنی‌دار نداشت.

به‌طور کلی، روش کاشت بر رشد رویشی و زایشی و عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان زراعی اثر دارد، لذا به نظر می‌رسد که روش کشت کف جوی به‌دلیل فراهمی رطوبت بیشتر، باعث افزایش رشد و اجزای عملکرد از جمله صفت تعداد ردیف در بلال شد. در آزمایشی، با بررسی اثر الگوی کشت بر رشد و عملکرد ذرت دانه‌ای گزارش شد که روش کشت کف جوی باعث افزایش تعداد ردیف در بلال ذرت شد (Lack et al., 2016). از طرف دیگر، مقایسه میانگین صفت تعداد ردیف در بلال تحت اثر میزان کمپوست بقایای نیشکر نشان داد که با افزایش میزان مصرف کمپوست بقایای نیشکر، تعداد ردیف در بلال افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین تعداد ردیف در بلال (۱۴/۹) در شرایط مصرف ۳۰ تن در هکتار کود کمپوست بقایای نیشکر و کمترین تعداد ردیف در بلال (۱۳/۹) در شرایط مصرف ۱۰ تن در هکتار کود کمپوست حاصل شد که با تیمار عدم مصرف کود کمپوست اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای و برخی خصوصیات خاک تحت اثر روش کشت و میزان کود کمپوست بقایای نیشکر

Table 2- Analysis of variance of yield and yield components traits of corn and some soil properties under planting method and sugarcane residues compost

منبع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Means of squares: تعداد ردیف در بلال Number of spike per ear	تعداد دانه در ردیف Number of grain per row	وزن هزار دانه Thousand-grain weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biologic yield	شاخص برداشت Harvest index	درصد نیتروژن خاک Soil nitrogen percent	درصد ماده آلی خاک Soil organic matter percent
تکرار Replication	3	1.1	15.1	124.7	1204382.2	454135.5	66.1	0.00011	0.013
روش کشت Planting method (PM)	3	17.1**	42.6**	3307.5**	6342705.8**	13232782.0**	71.4**	0.00413**	0.274**
خطای اصلی Ea	9	0.8	7.8	359.1	338033.3	157988.6	16.3	0.00022	0.013
کمپوست Compost (C)	3	3.3*	97.4**	5398.3**	1767903.9**	2603983.7**	62.3**	0.00123**	0.740**
روش کشت × کمپوست PM × C	9	1.4ns	18.7*	117.3ns	407118.2*	795048.1*	47.7*	0.00023*	0.244**
خطای فرعی Eb	36	0.9	7.9	505.2	188387.4	366256.7	13.3	0.00008	0.014
ضریب تغییرات CV (%)		6.8	10.0	8.6	8.6	4.9	8.9	10.5	10.8

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

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

آزادسازی عناصر غذایی موجود در کودهای کمپوستی در طی دوره کاکل‌دهی و تشکیل دانه ذرت که حساس‌ترین مرحله در تشکیل مواد فتوسنتزی است، منجر به افزایش تعداد ردیف در بلال و تعداد دانه در بلال شد (Mohammad-Khani & Roozbahani, 2015). در پژوهشی، با بررسی اثر مقادیر مختلف کمپوست نیشکر بر رشد و عملکرد ذرت دانه‌ای گزارش شد که با افزایش میزان مصرف کمپوست نیشکر، تعداد ردیف در بلال ذرت افزایش یافت (Zadeh-Omidi & Marashi, 2019).

تعداد دانه در ردیف: بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر روش کشت و کمپوست بقایای نیشکر بر صفت تعداد دانه در ردیف در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین صفت تعداد دانه در ردیف تحت اثر متقابل روش کشت و کود کمپوست بقایای نیشکر (جدول ۴)، بیشترین تعداد دانه در ردیف (۳۳/۱) در روش کشت کف جوی و مصرف ۱۰ تن در هکتار کود کمپوست و کمترین تعداد دانه در ردیف (۲۳/۴) در روش کشت نوک پشته و عدم مصرف کود کمپوست به‌دست آمد. احتمالاً روش کشت کف جوی به‌دلیل فراهمی رطوبت بیشتر، باعث افزایش رشد و اجزای عملکرد از جمله صفت تعداد دانه در ردیف شد. در آزمایشی، با بررسی اثر الگوی کاشت بر رشد و عملکرد ذرت دانه‌ای گزارش شد که روش کشت کف جوی باعث افزایش تعداد دانه در ردیف بلال ذرت شد (Lack et al., 2016). افزایش تعداد دانه در ردیف با افزایش کاربرد کود کمپوست نیشکر را می‌توان به افزایش آزادسازی تدریجی عناصر غذایی مورد نیاز رشد گیاه مثل نیتروژن نسبت داد که موجب افزایش

تشکیل و پرشدن دانه و در نتیجه، تعداد دانه در ردیف می‌شود. در پژوهشی، با مطالعه اثر مقادیر مختلف کود ورمی‌کمپوست بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای گزارش شد که با افزایش مصرف کود ورمی‌کمپوست، صفت تعداد دانه در ردیف بلال ذرت افزایش یافت (Mohammad-Khani & Roozbahani, 2015).

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات تعداد ردیف در بلال و وزن هزار دانه ذرت دانه‌ای تحت اثر روش کشت و کمپوست بقایای نیشکر

Table 3- Mean comparison of the number of rows per ear and thousand-grain weight of corn under the effect of planting method and sugarcane residues compost

عوامل آزمایشی Experimental factors	تعداد ردیف در بلال Number of row per ear	وزن هزار دانه Thousand-grain weight (g)
روش کشت Planting method		
نوک پشته Ridge	13.6	244.6
داغ آب Watermark	13.5	254.3
کف جوی Furrow	15.8	278.0
مسطح Flat	14.3	264.1
حداقل تفاوت معنی دار (۵ درصد) LSD (%5)	0.71	15.1
کمپوست بقایای نیشکر Sugarcane residue compost (t.ha^{-1})		
0	14.0	249.4
10	13.9	246.3
20	14.3	259.0
30	14.9	286.7
حداقل تفاوت معنی دار (۵ درصد) LSD (%5)	0.68	16.1

وزن هزار دانه: تجزیه واریانس نشان داد که اثر روش کشت و کود کمپوست بقایای نیشکر بر صفت وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، ولی اثر متقابل آن‌ها بر صفت وزن هزار دانه معنی‌دار نبود (جدول ۲). مقایسه میانگین وزن هزار دانه تحت اثر روش کشت (جدول ۳) نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه (۲۷۸/۳ گرم) در روش کشت کف جوی و کمترین وزن هزار دانه (۲۴۴/۶ گرم) در روش کشت نوک پشته بود. در روش کشت کف جوی شرایط تغذیه‌ای و رشدی برای انجام فرآیندهای حیاتی گیاه مانند جذب عناصر، انتقال و اختصاص مواد و فتوسنتز مساعدتر شده و منجر به افزایش وزن هزار دانه ذرت می‌شود (Hooshmand et al., 2014). در آزمایشی، با بررسی اثر الگوی کشت بر رشد و عملکرد ذرت گزارش شد که روش کشت کف جوی، باعث افزایش وزن هزار دانه ذرت شد (Soleimanifard & Naseri, 2016).

از طرف دیگر، مقایسه میانگین وزن هزار دانه تحت اثر میزان کمپوست بقایای نیشکر نشان داد که با افزایش میزان مصرف کمپوست بقایای نیشکر، وزن هزار دانه ذرت افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین وزن هزار دانه (۲۸۶/۷ گرم) در شرایط مصرف ۳۰ تن در هکتار کود کمپوست بقایای نیشکر و کمترین وزن هزار دانه (۲۴۶/۳ گرم) در شرایط مصرف ۱۰ تن در هکتار کود کمپوست حاصل شد که با سطح عدم مصرف کود کمپوست اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۳). با مصرف کود کمپوست، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک بهبود یافته و موجب رشد بهتر گیاه شده و مواد فتوسنتزی بیشتری تولید شده و به‌سمت دانه‌ها منتقل می‌شود. همچنین با توجه به فراهمی بیشتر رطوبت خاک، طول دوره پرشدن دانه افزایش یافته و در نتیجه، وزن هزار دانه افزایش می‌یابد. در آزمایشی، طی ارزیابی اثر مقادیر کمپوست نیشکر و نیتروژن بر عملکرد ذرت دانه‌ای بیان شد که با افزایش مصرف کمپوست نیشکر،

صـفت وزن هـزار دانـه ذرت افـزایش یافـت (Zadeh-Omidi & Marashi, 2019).

جدول ٤- مقایسه میانگین صفات عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای و برخی خصوصیات خاک تحت اثر متقابل روش کشت و کمپوست بقایای نیشکر

Table 4- Mean comparison of yield and yield components traits of corn and some soil properties under the interaction effect of planting method and sugarcane residues compost

روش کشت Planting method	کمپوست بقایای نیشکر Sugarcane residue compost (t.ha^{-1})	تعداد دانه در ردیف Number of grain per row	عملکرد دانه Grain yield (t.ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biologic yield (t.ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)	نیتروژن خاک Soil N (%)	ماده آلی خاک Soil organic matter (%)
نوک پشته Ridge	0	23.4	3870	10639	36.4	0.104	0.983
	10	25.8	4145	11653	35.6	0.093	0.983
	20	26.9	4255	11717	36.4	0.101	0.996
	30	27.6	4922	11282	43.8	0.110	1.970
داغ آب Watermark	0	24.4	4776	11850	40.3	0.084	0.980
	10	30.1	5153	11077	38.6	0.077	0.981
	20	27.2	4622	12569	36.9	0.089	0.981
	30	28.1	5170	13048	39.8	0.098	1.695
کف جوی Furrow	0	21.9	5545	13002	42.5	0.060	0.973
	10	33.1	5269	13264	39.7	0.064	0.969
	20	32.4	5952	13556	43.9	0.061	0.974
	30	31.7	6497	13945	46.6	0.077	0.983
مسطح Flat	0	27.2	5458	12420	43.9	0.069	0.973
	10	28.0	5005	12873	38.9b	0.088	0.975
	20	30.5	4693	12774	36.7	0.068	0.970
	30	28.5	5649	13180	42.8	0.085	0.989
حداقل تفاوت معنی دار (۵ درصد) LSD %5	-	2.2	318	465	3.2	0.010	0.091

عملکرد دانه: بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر روش کشت و کود کمپوست بقایای نیشکر بر صفت عملکرد دانه در سـطح احتمـال یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین صفت عملکرد دانه تحت اثر متقابل روش کشت و کود کمپوست (جدول ۴) نشان داد که در تمـام سـطوح روش کشت؛ با افزایش مصرف کود کمپوست، عملکرد دانـه افـزایش یافت و بیشترین عملکـرد دانـه (۶۴۹۷ کیلـوگرم در هکتـار) در روش کشت کف جوی و مصرف ۳۰ تن در هکتار کمپوست بقایـای نیشـکر حاصل شد که با سطح مصـرف ۲۰ تـن در هکتـار کمپوسـت بقایـای نیشکر در روش کشت کف جوی اختلاف معنی‌دار نداشت و کمتـرین عملکرد دانه (۳۸۷۰ کیلوگرم در هکتار) در روش کشـت روی پشـته و عدم کاربرد کمپوست بقایای نیشکر به‌دست آمد. بنـابراین، کشـت در کف جوی و مصرف ۳۰ تن در هکتار کمپوست نیشکر نسبت به کشت در نوک پشته و عدم مصـرف کـود کمپوسـت، عملکـرد دانـه ذرت را حدود ۶۸ درصد افزایش داد. البته بر اساس نتـایج حاصـله در شـرایط کشت در کف جوی جهت بازدهی اقتصادی بهتـر مـی‌تـوان از سـطح کمتر یعنی ۲۰ تن در هکتار به‌جای ۳۰ تن در هکتـار کـود کمپوسـت برای دستیابی به عملکرد دانه مطلـوب نیـز اسـتفاده کـرد. همچنـین بررسی ضرایب همبستگی بین صفات انـدازه‌گیـری شـده (جـدول ۵) نشان داد که صفت عملکرد دانه، همبستگی مثبت و معنی‌دار بیشتری با صفات شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک و وزن هزار دانه داشت. در روش کاشت ذرت در کف جوی احتمالاً بـه‌دلیـل فراهمـی شـرایط رطوبتی بهتر و تجمع کمتـر نمـک در اطـراف ریشـه گیـاه و کـاهش خسارت به گیاه در مرحله رشد رویشـی و زایشـی، اجـزای عملکـرد و عملکرد دانه ذرت افـزایش یافـت (Hooshmand et al., 2014). در آزمایشی، با بررسی اثر الگوی کاشت بر رشد و عملکـرد ذرت دانـه‌ای گزارش شد که روش کاشت کف جوی، باعث افزایش صفت عملکـرد دانه شد، به‌طوری‌که عملکرد دانه در روش کاشت کف جـوی (۶۸۱/۵ گرم در مترمربع) نسبت به روش کاشـت روی پشـته (۵۷۰/۵ گـرم در مترمربع) ۱۷ درصد افزایش یافت (Lack et al., 2016). ایشـان ایـن

افزایش عملکرد دانه در الگوی کاشت کف جوی را به افزایش کارایی مصرف آب، کاهش میزان نمک در اطراف بوته ذرت و افزایش رشد و توسعه سیستم ریشه نسبت داده‌اند که بر افزایش جذب آب و مواد غذایی و رشد و عملکرد دانه اثر داشت. کودهای کمپوستی به‌صورت مستقیم از طریق آزاد کردن عناصر پرمصرف (مثل نیتروژن، فسفر و پتاسیم) و کم‌مصرف و به‌صورت غیرمستقیم از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی خاک مانند کاهش چگالی ظاهری خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب، در افزایش رشد و عملکرد دانه مؤثر هستند. همچنین کودهای کمپوست شده با تأمین بهتر عناصر غذایی همراه با بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، شرایط برای افزایش جذب عناصر غذایی، بهبود تولید و عرضه مواد فتوسنتزی به بلال ذرت و در نهایت، افزایش عملکرد دانه در واحد سطح را فراهم می‌آورند (Mojab-Qasroldashti et al., 2014). در پژوهشی، با بررسی اثر کود کمپوست بر رشد و عملکرد ذرت بیان شد که کاربرد کود کمپوست منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه ذرت گردید (Shirkhani et al., 2019).

عملکرد بیولوژیک: تجزیه واریانس نشان داد که اثر روش کشت و کود کمپوست بقایای نیشکر بر صفت عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین صفت عملکرد بیولوژیک تحت اثر متقابل روش کشت و کود کمپوست بقایای نیشکر (جدول ۴)، بیشترین عملکرد بیولوژیک (۱۳۹۴۵ کیلوگرم در هکتار) در روش کشت کف جوی و مصرف ۳۰ تن در هکتار کود کمپوست و کمترین عملکرد بیولوژیک (۱۰۶۳۹ کیلوگرم در هکتار) در روش کشت نوک پشته و عدم مصرف کود کمپوست به‌دست آمد. احتمالاً روش کشت کف جوی به‌دلیل فراهمی رطوبت بیشتر، باعث افزایش رشد رویشی و زایشی و عملکرد دانه و اجزای عملکرد (شامل تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه) شده و در نتیجه، منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک گردید. در آزمایشی، با بررسی اثر الگوی کاشت بر رشد و عملکرد ذرت دانه‌ای گزارش شد که روش کشت کف جوی باعث افزایش عملکرد بیولوژیک ذرت شد (Hooshmand et al., 2014). از طرف دیگر، کاربرد کود کمپوست موجب افزایش فراهمی آب، تقویت محیط رشد گیاه، حاصلخیزی خاک و تغییرات مفید و چشمگیر در فعالیت‌های تنفسی و آنزیمی توده زیستی جمعیت میکروبی خاک شده و منجر به افزایش رشد و عملکرد بیولوژیک می‌شود. در پژوهشی، طی بررسی اثر سطوح مختلف کود شیمیایی نیتروژن، کود مرغی و کمپوست زباله شهری بر عملکرد ذرت شیرین نشان دادند که با افزایش مصرف کود کمپوست زباله شهری، صفت عملکرد بیولوژیک ذرت شیرین افزایش یافت (Fereidooni et al., 2018).

شاخص برداشت: بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر روش کشت در سطح پنج درصد، اثر کمپوست بقایای نیشکر در سطح یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح پنج درصد بر صفت شاخص برداشت معنی‌دار شدند. مقایسه میانگین صفت شاخص برداشت تحت اثر متقابل روش کشت و کود کمپوست بقایای نیشکر (جدول ۴) نشان داد که بیشترین شاخص برداشت (۴۶/۶ درصد) در روش کشت کف جوی و مصرف ۳۰ تن در هکتار کود کمپوست و کمترین شاخص برداشت (۳۵/۶ درصد) در روش کشت نوک پشته و مصرف ۱۰ تن در هکتار کود کمپوست به‌دست آمد که با سطح عدم مصرف کود کمپوست اختلاف معنی‌دار نداشت. احتمالاً روش کشت کف جوی، به‌دلیل فراهمی شرایط رطوبتی بهتر و شوری کمتر، باعث افزایش عملکرد دانه و به تبع آن شاخص برداشت شد. در آزمایشی، با بررسی اثر الگوی کشت بر ذرت گزارش شد که الگوی کشت کف جوی باعث افزایش شاخص برداشت ذرت شد (Soleimanifard & Naseri, 2016). همچنین به نظر می‌رسد که احتمالاً مصرف کود کمپوست نیشکر با حفظ و ذخیره رطوبت خاک و تأمین عناصر غذایی مورد نیاز رشد و نمو ذرت به‌خصوص نیتروژن، باعث افزایش عملکرد دانه و در نتیجه، شاخص برداشت شد. در پژوهشی، طی ارزیابی اثر مقادیر کمپوست نیشکر و نیتروژن بر عملکرد ذرت دانه‌ای گزارش شد که با افزایش مصرف کمپوست نیشکر، صفت شاخص برداشت ذرت افزایش یافت (Zadeh-Omidi & Marashi, 2019).

درصد نیتروژن خاک: تجزیه واریانس نشان داد که اثر روش کشت و کود کمپوست بقایای نیشکر بر صفت درصد نیتروژن خاک در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین صفت درصد نیتروژن خاک تحت اثر متقابل روش کشت و کود کمپوست بقایای نیشکر (جدول ۳) نشان داد که در تمامی سطوح روش کاشت، با افزایش میزان مصرف کود کمپوست، درصد نیتروژن خاک افزایش یافت و بیشترین درصد نیتروژن خاک (۰/۱۱ درصد) در روش کشت نوک پشته و مصرف ۳۰ تن در هکتار کود کمپوست و کمترین درصد

نیتروژن خاک (۰/۰۶ درصد) در روش کشت کف جوی و عدم مصرف کود کمپوست به‌دست آمد. در روش کاشت کف جوی به‌دلیل فراهمی بیشتر آب و کاهش میزان شوری در اطراف ریشه، گیاه رشد بیشتری کرده و لذا، عناصر غذایی مورد نیاز رشد مثل نیتروژن به‌میزان بیشتری توسط گیاه جذب می‌شود و بنابراین، در این روش، بعد از برداشت گیاه درصد نیتروژن کمتری در خاک باقی می‌ماند (Li et al., 2008). از طرف دیگر، کاربرد کود کمپوست موجب افزایش فراهمی و قابلیت نگهداری عناصر غذایی مثل نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک و گیاه می‌شود. در پژوهشی گزارش شد که کودهای کمپوست منجر به بهبود ساختمان خاک، افزایش نیتروژن خاک، بهبود هوادهی، نگهداری رطوبت و میزان آب مورد نیاز گیاه به‌میزان لازم در خاک می‌شود (Coulibaly et al., 2016).

درصد ماده آلی خاک: بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر روش کشت، کود کمپوست بقایای نیشکر و اثر متقابل آن‌ها بر صفت درصد ماده آلی خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بر اساس مقایسه میانگین صفت درصد ماده آلی خاک تحت اثر متقابل روش کشت و کود کمپوست بقایای نیشکر (جدول ۳)، در تمامی سطوح روش کاشت، با افزایش میزان مصرف کود کمپوست، درصد ماده آلی خاک افزایش یافت و بیشترین درصد ماده آلی خاک (۱/۹۷۰ درصد) در روش کشت نوک پشته و مصرف ۳۰ تن در هکتار کود کمپوست و کمترین درصد ماده آلی خاک (۰/۹۶۹ درصد) در روش کشت کف جوی و عدم مصرف کود کمپوست به‌دست آمد. در روش کاشت کف جوی به‌دلیل فراهمی بیشتر آب، تجزیه کود کمپوست و میزان آزادسازی عناصر غذایی مورد نیاز رشد در خاک و مصرف آن‌ها توسط گیاه بیشتر بوده و لذا در این روش، درصد ماده آلی خاک بعد از برداشت گیاه کاهش می‌یابد (Li et al., 2008). در اثر کاربرد کود کمپوست، فعالیت آنزیمی و فعالیت میکروبی خاک زیاد می‌شود، در نتیجه فعالیت میکروبی جهت تولید دی اکسید کربن افزایش می‌یابد و منجر به افزایش ماده آلی خاک می‌گردد (Marinari et al., 2000). در آزمایشی، طی مطالعه اثر مقادیر مختلف کمپوست زباله شهری بر عملکرد ذرت شیرین گزارش شد که با افزایش مصرف کمپوست؛ صفت درصد ماده آلی خاک افزایش یافت (Mojab-Qasroldashti et al., 2014).

همبستگی ساده بین صفات اندازه‌گیری شده: بررسی ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده (جدول ۵) نشان داد که صفت عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار بیشتری با صفات عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و وزن هزار دانه داشت. همچنین صفت عملکرد بیولوژیک همبستگی مثبت و معنی‌دار بیشتری با صفات عملکرد دانه، وزن هزار دانه و تعداد ردیف در بلال داشت. به علاوه صفت درصد نیتروژن باقی‌مانده خاک همبستگی منفی و معنی‌دار بیشتری با عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه داشت، یعنی هر چه درصد نیتروژن باقی‌مانده در خاک کمتر بود، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه بیشتری داشت. به عبارت دیگر، هر چه درصد نیتروژن باقی‌مانده در خاک کمتر بود، نشان‌دهنده جذب و استفاده بیشتر آن توسط گیاه جهت تولید ماده خشک کل گیاه و عملکرد دانه است. در آزمایشی، با ارزیابی اثر روش کاشت بر صفات رشد و عملکرد ذرت شیرین گزارش شد که عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار بیشتری با صفات تعداد ردیف در بلال و تعداد دانه در ردیف داشت (Faridi et al., 2013). همچنین، در پژوهش دیگری با بررسی اثر محل کاشت بر صفات رشد و عملکرد ذرت شیرین گزارش کردند که عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار بیشتری با صفات شاخص برداشت و تعداد دانه در ردیف داشت (Nasrollah-Alhoseini et al., 2015).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج نشان داد که اثر روش کشت و سطوح مختلف کمپوست بقایای نیشکر بر صفات تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، درصد نیتروژن خاک و درصد ماده آلی خاک معنی‌دار شد و اثر متقابل روش کشت و سطوح مختلف کمپوست بقایای نیشکر بر تمام صفات اندازه‌گیری شده فوق (به‌جز تعداد ردیف در بلال و وزن هزار دانه) معنی‌دار بود. همچنین حداکثر مقدار صفات اندازه‌گیری شده فوق (به‌جز درصد نیتروژن خاک و درصد ماده آلی خاک) در روش کشت کف جوی مشاهده شد. به‌علاوه در تمام روش‌های کشت، با افزایش میزان مصرف کود کمپوست بقایای نیشکر و فراهمی آب و عناصر غذایی برای گیاه، مقدار صفات مذکور افزایش یافت و در سطح مصرف ۳۰ تن در هکتار کود کمپوست بقایای نیشکر به حداکثر رسید. در مجموع، بیشترین عملکرد دانه (۶۴۹۷ کیلوگرم در هکتار) در روش کشت کف جوی و مصرف ۳۰ تن در هکتار کمپوست بقایای نیشکر حاصل شد که با سطح مصرف ۲۰ تن در هکتار کمپوست بقایای

نیشکر در روش کشت کف جوی اختلاف معنی‌دار نداشت و کمترین عملکرد دانه (۳۸۷۰ کیلوگرم در هکتار) در روش کشت روی پشته و عدم کاربرد کمپوست بقایای نیشکر به‌دست آمد.

جدول ۵- ضرایب همبستگی ساده بین صفات اندازه‌گیری شده (n=٦٤)

Table 5- Simple correlation coefficients between measured traits (n=64)

	صفت Trait	1	2	3	4	5	6	7
1	تعداد ردیف در بلال Number of spike per ear	1.00						
2	تعداد دانه در ردیف Number of grain per row	0.18ns						
3	وزن هزار دانه Thousand grain weight	0.47**	0.30*					
4	عملکرد دانه Grain yield	0.45**	0.32**	0.56**				
5	عملکرد بیولوژیک Biologic yield	0.51**	0.42**	0.52**	0.62**			
6	شاخص برداشت Harvest index	0.22ns	0.14ns	0.35**	0.82**	0.09ns		
7	درصد نیتروژن خاک Soil N percent	-0.34**	-0.30*	-0.10ns	-0.41**	-0.46**	-0.21ns	
8	درصد ماده آلی خاک Soil organic matter percent	0.14ns	-0.06ns	0.20ns	0.02ns	-0.17ns**	0.17ns	0.46**

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

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

لذا، با توجه به نتایج این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که کشت ذرت در کف جوی و مصرف ۲۰ تا ۳۰ تن در هکتار کود کمپوست بقایای نیشکر، باعث افزایش عملکرد دانه ذرت در منطقه شوشتر شد. همچنین با توجه به اثر روش کاشت و کود کمپوست بقایای نیشکر بر رشد و عملکرد ذرت، پیشنهاد می‌شود، اثر روش کاشت و کود کمپوست بقایای نیشکر در ترکیب با مقادیر مختلف کود شیمیایی بر رشد و عملکرد و میزان آب مصرفی ذرت و سایر گیاهان منطقه نیز بررسی شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی و معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان که قسمتی از هزینه‌های اجرای این آزمایش را تأمین کرده‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Barzegari, M., Afarinesh, A., Eslamizadeh, R., Ghanbari-Birgani, D., Zadeh-Dabagh, G., Mirza-Shahi, K., Salimpoor, S., & Khoramian, M. (2007). Corn Production in Khuzestan. *Agriculture Organization of Khuzestan Press, Iran*. (In Persian)
2. Bremner, J.M. (1996). Nitrogen-Total. In D.L. Sparks (Ed). Methods of Soil Analysis: Part3- Chemical Methods. SSSA Book Series, Madison. p. 1085-1121.
3. Chattha, M.U., Hassan, M.U., Barbanti, L., Chattha, M.B., Khan, I., Usman, M., Ali, A., & Nawaz, M.(2019). Composted sugarcane by-product press mud cake supports wheat growth and improves soil properties. *International Journal of Plant Production*, *13*, 241-249. https://doi.org/10.1007/s42106-019-00051-x

4. Coulibaly, S., Tondoh, E., Kouassi, K., Barsan, N., Nedeff, V., Zoro, A., & Bi, I., (2016). Vermicomposts improve yields and seeds quality of *Lagenaria siceraria* in Côte d'Ivoire. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, *8*, 26-37.
5. Davani, D., Nabipoor, M., & Roshanfekr-Dezfooli, H.A., (2016). Effect of auxin, cytokinin and planting pattern on grain yield and salt tolerance indicators of maize. *Journal of Crop Production*, *9*, 191-209. (In Persian with English Summary)
6. Emam, Y., (2011). Cereal Production. *Shiraz University Press, Shiraz, Iran*. 194 p. (In Persian)
7. Faezizadeh, A., & Shokohfar, A.R., (2020). Effect of filter cake levels on morphological traits and corn yield (S.C.704) under different irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *13*, 805-814. (In Persian with English Summary). http://dx.doi.org/10.22077/escs.2020.2208.1553
8. Faridi, F., Ramroudi, M., Galavi, M., Siahsar, B.A., & Khavari Khorasani, S., (2013). Effects of planting method on agronomic characteristics, yield and yield components of sweet and super sweet corn (*Zea mays* L.) varieties under saline conditions. *Journal of Agroecology*, *5*, 188-197. (In Persian with English Summary)
9. Fereidooni, M., Maghsoudi, E., Mojabghasroldashti, A., & Behzadi, Y., (2018). Effect of different levels of nitrogen fertilizer, poultry manure and municipal waste compost on yield and grain quality of sweet corn. *Journal of Plant Ecophysiology*, *10*, 79-89. (In Persian with English Summary)
10. Hooshmand, A., Frutan, M., & Boroomand Nasab, S., (2014). Evaluation of deficit irrigation and sown pattern on yield and water use efficiency of maize (KSC-704). *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, *37*, 43-52. (In Persian with English Summary)
11. Lack, S., Dashti, H., & Abadooz, G., (2016). Assessment of water consumption and planting pattern on edaphic soil properties and grain yields of corn in Khuzestan province. *Journal of Plant Ecophysiology*, *8*, 114-126. (In Persian with English Summary)
12. Li, Q., Chen, Y., Liu, M., Zhou, X., Dong, B., & Yu, S., (2008). Effects of irrigation and planting patterns on radiation use efficiency and yield of winter wheat in North China. *Agricultural Water Management*, *95*, 469-476. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.11.010
13. MAJ (Ministry of Agriculture Jihad), (2020). Statistical Yearbook. Available at web site http://www.maj.ir (verified 15th August 2021). (In Persian)
14. Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B., & Grego, S., (2000). Influence of organic and mineral fertilizers on soil biological and physical properties. *Bioresource Technology*, *72*, 9-19.
15. Moaieri, M., (2018). Irrigation of Corn in Khuzestan. *Publication of Agricultural Education, Karaj, Iran*. 40 p. (In Persian)
16. Mohammad-Khani, E., & Roozbahani, A., (2015). Application of vermicompost and nano iron fertilizer on yield improvement of grain corn (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Ecophysiology*, *7*, 123-131. (In Persian with English Summary)
17. Mojab-Qasroldashti, A., Balouchi, H.R., Yadavi, A.R., & Qobadi, M., (2014). Effect of application of different levels of municipal waste compost and nitrogen fertilizer on the concentration of some grain elements and soil properties in sweet corn. *Journal of Agroecology*, *6*, 118-129. (In Persian with English Summary)
18. Nasrolah-Alhossini, M., Rahmani, A., & Khavari Khorasani, S., (2014). Investigation of planting method and plant density on some of morphological treats, yield and yield components of sweet corn (*Zea mays* L.var Saccharata) varieties. *Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi)*, *103*, 84-95. (In Persian with English Summary)
19. Nassiri, S.M., Sepaskhah, A.R., & Maharlooei, M.M., (2016). The effect of planting methods on maize growth and yield at different irrigation regimes. *Iranian Journal of Agricultural Research*, *35*, 27-32. (In Persian with English Summary)
20. Sajadinik, R., Yadavi, A., Balouchi, H.R., & Farajee, H., (2011). Effect of chemical (urea), organic (vermicompost) and biological (nitroxin) fertilizers on quantity and quality yield of Sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *21*, 87-110. (In Persian with English Summary)
21. Shirkhani, A., Nasrolahzadeh, S., & Zehtab-Salmasi, S., (2019). Effect of biofertilizers and chemical fertilizers on yield and seed quality of corn under normal irrigation and drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *12*, 781-791. (In Persian with English Summary). http://dx.doi.org/10.22077/escs.2018.542.1332
22. Soleimanifard, A., & Naseri, R., (2016). The effects of irrigation regimes and planting patterns on seed yield and some agronomic traits of maize (S.C. 604). *Journal of Crop Ecophysiology*, *10*, 201-212. (In Persian with English

Summary)

23. Sullivan, D., Bary, A., Thomas, D., Fransen, S., & Cogger, C., (2002). Food waste compost effect on fertilizer nitrogen effectively, available nitrogen and tall fescue yield. *Soil Science Society of America Journal*, *66*, 154-161.
24. Walkley, A., & Black, I.A., (1934). An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science*, *63*, 251-263.
25. Zadeh-Omidi, F., & Marashi, S.K., (2019). Effect of amount of sugarcane compost and nitrogen on quantitative and qualitative yield of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Environmental Physiology*, *14*, 12-20. (In Persian with English Summary)

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

CC BY

Research Article
Vol. 15, No. 2, Summer 2023, p. 277-299

Evaluation and Quantification of Ecosystem Services in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Agroecosystem

Mostafa Koozehgar Kaleji[1], Hossein Kazemi[2*], Behnam Kamkar[3], Hamid Amirnejad[4] and Mohsen Hosseinalizadeh[5]

Received: 05-07-2021 Revised: 23-10-2021 Accepted: 08-11-2021 Available Online: 08-11-2021	**How to cite this article:** Koozehgar Kaleji, M., Kazemi, H., Kamkar, B., Amirnejad, H., & Hosseinalizadeh, M. (2023). Evaluation and quantification of ecosystem services in wheat agroecosystem. *Journal of Agroecology*, 15(2), 277-299. DOI: 10.22067/agry.2021.71133.1051

Introduction

Ecosystem services are usually divided into four categories: (a) provision services, (b) regulating services, (C) cultural services and (d) supporting services. Ecosystem services are managed in agroecosystems primarily for food production. But, agricultural ecosystems provide provision, regulating, and cultural services for human society. These services respond strongly to human socio-economic needs. Quantifying the various services and functions of agroecosystems is one of the most important effective strategies in order to increase attention pay to these services. Therefore, the purpose of this study was evaluation and quantification of ecosystem services in wheat (*Triticum aestivum* L.) agroecosystems of Dasht-e-Naz, Sari.

Materials and Methods

This experiment was performed as an unbalanced completely design in wheat agroecosystems of Dasht-e-Naz, Sari (Mazandaran province), during 2019-2020. In this study, 9 wheat plots with 4 cultivars including Tirgan, Ehsan, Collector and N-92-9 were surveyed and monitored. In this study, some ecosystem services such as insect and weed biodiversity (using Shannon-Weiner, Simpson, Margalf, Uniformity, and Menhinick indices), soil microbial respiration, carbon sequestration, organic matter, the abundance of earthworms, grain yield, protein content oxygen production, and soil protection (by the stability of aggregates) were evaluated and quantified. Soil samples were taken from a depth of 0-30 cm before wheat planting in November 2019 and after harvest in June 2020 for assessment of the rate of microbial respiration, organic matter, and carbon sequestration. Also, oxygen production was estimated based on net primary production. The yield and plant biodiversity sampling was harvested based on the W pattern and with quadrate 0.5 × 0.5 m^2. All samples were moved to the crop research laboratory of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, and the plant flora was determined by genus and species names.

Results and Discussion

1- Ph.D, Graduated in Crop Ecology, Faculty of Plant Production, Department of Agriculture, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2- Associate Professor, Department of Agriculture, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
3- Professor, Department of Agriculture, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
4- Professor, Department of Agricultural Economics, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.
5- Associate Professor, Department of Desert Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
(*- Corresponding author's Email: hkazemi@gau.ac.ir)

The results showed that crop management and performance of an intensive agricultural system effectively provided many ecosystem services in wheat fields of Dasht-e-Naz, Sari. These services are influenced by several factors such as cultivar type, crop rotation, tillage, etc. The results showed that the effect of different cultivars was significant on grain yield and protein percentage. The highest percentage of grain protein as a provision service was obtained from Ehsan cultivar (12.15%) and the lowest content was obtained about 11.42% from N-92-9 cultivar. The highest wheat grain yield and oxygen production were calculated from plots under Collector cultivar. In additional, the highest amount of carbon sequestration (2.33 ton/ha) and microbial respiration rate in before planting and after harvest (76.46 and 38.52 mg CO_2 per kg of soil per day, respectively) belonged to plot 15. Also, it was determined that plot 15 was better than other plots from soil protection service view based on the diameter mean weight index (MWD) and the geometric mean diameter index (GMD). In this research, three beneficial insects (biodiversity assessment) were observed such as *Coccinella septempunctata* Linnaeus and *Aphidius matricariae*, and *Chrysoperla carnea*. The highest values of Shannon-Weiner and uniformity indices of weeds were as 2.63 and 0.82 in plots 23 and 15, respectively. Furthermore, Shannon-Weiner and uniformity indices of insect communities were obtained as 2.07 and 0.94 from plot 22, respectively.

Conclusion

Generally, carbon sequestration, organic matter, microbial respiration, earthworm abundance, aggregate stability index, average weight diameter (MWD), and geometric mean diameter index (GMD) were better in plots 14 and 15 under wheat cultivation than in other plots. This study showed that crop management and intensive agricultural system implementation effectively provided many ecosystem services in wheat fields in Dasht-e Naz region of Sari. So, these services were affected by several factors such as cultivar, crop rotation, and tillage methods.

Acknowledgment

The authors gratefully acknowledge the financial support of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources and Dr. Hamid Sakinin for his help.

Keywords: Biodiversity, Carbon sequestration, Oxygen production, Provisioning services**,** Regulation service, Wheat

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

مقاله پژوهشی
جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۲۹۹-۲۷۷

ارزیابی و کمّی‌سازی خدمات بوم‌سازگان در کشت‌بوم گندم (*Triticum aestivum* L.)

مصطفی کوزه‌گر کالجی[۱]، حسین کاظمی[۲*]، بهنام کامکار[۳]، حمید امیرنژاد[۴] و محسن حسینعلی‌زاده[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۸/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۷

چکیده

نظام‌های زراعی انواع خدمات تأمینی، حمایتی، تنظیمی و فرهنگی را به جوامع انسانی ارائه می‌دهند. در این مطالعه خدمات تأمینی، حمایتی، تنظیمی در کشت‌بوم‌های گندم (*Triticum aestivum* L.) شرکت زراعی دشت ناز ساری (استان مازندران) در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ ارزیابی و کمّی‌سازی شد. قطعات تحت کشت گندم شامل چهار رقم تیرگان، احسان، کلکتور و N-92-9 بودند که به‌عنوان تیمارهای آزمایش در نظر گرفته شد. در این مطالعه، انواع خدمات بوم‌سازگانی شامل تنوع زیستی حشرات و گیاهان هرز از زیرمجموعه خدمات حمایتی با استفاده از شاخص‌های شانون- واینر، سیمپسون، مارگالف، یکنواختی و منهنیک، خدمات تنظیمی با استفاده از نمایه‌های تنفس میکروبی خاک، ترسیب کربن، فراوانی کرم خاکی، ماده آلی، پایداری خاکدانه‌ها، تولید اکسیژن و خدمات تأمینی شامل عملکرد دانه و میزان پروتئین دانه ارزیابی و کمّی‌سازی شدند. برای تعیین میزان تنفس میکروبی، ماده آلی و ترسیب کربن، نمونه‌های خاک قبل از کشت گندم در آبان ۱۳۹۸ و پس از برداشت آن در خرداد ۱۳۹۹ از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری برداشت شدند. تولید اکسیژن بر اساس تولید خالص اولیه برآورد گردید. داده‌های آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی نامتعادل تجزیه شدند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان خدمت تولید اکسیژن حدود ۱۳/۴۳ تن در هکتار و عملکرد دانه گندم حدود ۴/۸۴ تن در هکتار از رقم کلکتور حاصل گردید. بالاترین درصد پروتئین دانه از زیرمجموعه خدمات تأمینی، به‌میزان ۱۲/۱۵ درصد به رقم احسان اختصاص یافت. در این پژوهش، بیشترین میزان ترسیب کربن (۲/۳۳ تن در هکتار) و فعالیت تنفس میکروبی قبل از کشت و بعد از برداشت محصول به‌ترتیب به‌میزان ۷۶/۴۶ و ۳۸/۵۲ میلی‌گرم CO_2 به‌ازای هر کیلوگرم خاک در روز، به قطعه ۱۵ تعلق داشت. ارزیابی وضعیت تنوع زیستی در حشرات و گیاهان هرز نشان داد که بیشترین میزان شاخص تنوع شانون- واینر و شاخص یکنواختی در گیاهان هرز به‌ترتیب به‌میزان ۲/۶۳ و ۰/۸۲ از قطعات ۲۳ و ۱۵ به‌دست آمد و همچنین شاخص شانون- واینر و شاخص یکنواختی جوامع حشرات به‌ترتیب به‌میزان ۲/۰۷ و ۰/۹۴ برای قطعه ۲۲ محاسبه شد. به‌طور کلی، ارایه خدمات ترسیب کربن، ماده آلی، تنفس میکروبی، فراوانی کرم خاکی و پایداری خاکدانه‌ها بر اساس شاخص‌های میانگین وزنی قطر (MWD) و میانگین هندسی قطر (GMD) در قطعات ۱۴ و ۱۵ تحت کشت گندم بهتر از سایر قطعات بود. نتایج این مطالعه نشان داد که مدیریت زراعی و اجرای نظام کشاورزی فشرده، بر ارائه بسیاری از خدمات بوم‌سازگان در مزارع گندم در منطقه دشت ناز ساری تأثیرگذار بود، به‌طوری‌که این خدمات تحت تأثیر عوامل متعددی مانند رقم زراعی، تناوب زراعی، روش‌های خاکورزی و غیره قرار گرفتند.

۱- دانش آموخته دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۳- استاد گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۴- استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۵- دانشیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
(*- نویسنده مسئول:
(Email: hkazemi@gau.ac.ir)
DOI: 10.22067/agry.2021.71133.1051

واژه‌های کلیدی: ترسیب کربن، تنوع زیستی، تولید اکسیژن، خدمات تأمینی، خدمات حمایتی

مقدمه

بوم‌نظام‌های زراعی نظام‌های پیچیده‌ای هستند که از تعامل فرآیندهای مدیریت زیست‌محیطی و مدیریت انسانی حاصل می‌شوند (Tixier et al., 2013). این نظام‌ها در حال حاضر یکی از عوامل اصلی تخریب بوم‌نظام‌های طبیعی در سراسر جهان هستند که بسیاری از پیامدهای سوء بوم‌نظام‌های طبیعی را تشدید کرده و به نوبه خود از آن تأثیر می‌پذیرند (MEA, 2005). خدمات بوم‌سازگان "خروجی‌های بوم‌نظام‌هایی است که بشر مستقیم یا غیرمستقیم از آن‌ها بهره می‌برد" (Lamarque et al., 2014). خدمات بوم‌سازگان برای حفظ بهره‌وری کشاورزی ضروری است، امّا فرایندهای متداول مدیریت بوم‌نظام‌های زراعی که برای افزایش تولید محصول طراحی شده‌اند (Zhang et al., 2007; Dainese et al., 2019)، اغلب آن‌ها را تخریب می‌کند (به‌عنوان مثال، حاصلخیزی خاک و گرده افشانی). بنابراین، توسعه کشاورزی مبتنی بر تنوع زیستی، با پشتیبانی خدمات بوم‌سازگان (به‌عنوان مثال، خدماتی که عملکرد واسطه‌ای در تولید کالاها دارند)، به‌منظور مقابله با چالش حفظ یا بهبود عملکرد، بدون به خطر انداختن یکپارچگی نظام‌های زراعی ضروری به نظر می‌رسد (Duru & Therond, 2015). این امر به‌ویژه در مورد بوم-نظام‌های زراعی، که در آن اکثر خدمات به‌طور مشترک توسط انسان و طبیعت تولید می‌شوند، بیشتر است (Méral & Pesche, 2016).

اجرای شیوه‌های کشاورزی در نظام‌های زراعی به در دسترس بودن منابعی مانند فناوری‌ها، ورودی‌ها، نیروی کار یا دانش بستگی دارد (Lamarque et al., 2014; Palomo et al., 2016) . ترکیب-های مختلف استفاده از منابع طبیعی و انسانی نوع نظام کشاورزی را تعیین می‌کند (به‌عنوان مثال، ورودی‌های شیمیایی، ورودی‌های زیستی مبتنی بر تنوع زیستی (Therond et al., 2017))، در نتیجه تأثیرات متفاوتی بر بهره‌وری، حجم کار و هزینه‌ها و همچنین ارائه مجموعه‌ای از خدمات بوم‌سازگان دارد (Zhang et al., 2007). تقریباً ۴۰ درصد از سطح کره زمین توسط فعالیت‌های کشاورزی تغییر شکل یافته است (Clark & Tilman, 2017). کشاورزی تنها بزرگ‌ترین عامل از دست رفتن تنوع زیستی تا به امروز است (Dudley & Alexander, 2017) و به‌عنوان یکی از عوامل اصلی کاهش بالقوه تنوع زیستی در آینده نزدیک نیز در نظر گرفته می‌شود (IPBES, 2019). فعالیت‌های کشاورزی در جهان همچنین منجر به از دست رفتن حداقل ۱۳۳ میلیارد تن کربن خاک شده که به جوّ انتشار یافته است (Sanderman et al., 2017). با وجود این، تقاضای جهانی برای غذا و فرصت‌های اقتصادی که کشاورزی برای کشورهای در حال توسعه ایجاد می‌کند، بدین معناست که بسیاری از بوم‌نظام‌های سالم و دست نخورده کره زمین در معرض تهدید گسترش کشاورزی قرار دارند (Vargas et al., 2015 ; Morán-Ordóñez et al., 2017; Potapov et al., 2017; Roucoux et al., 2017). این امر با این واقعیت که سطح زمین‌های زراعی مولد و حاصلخیز به‌طور فزاینده‌ای کم می‌شود، بیشتر تشدید می‌یابد. به همین دلیل بشر باید همواره به دنبال زمین‌های بکر و جدید باشند(Lambin & Meyfroidt, 2011; Bijl et al., 2017) .

بوم‌نظام‌های کشاورزی توسط انسان برای تولید غذا مهندسی می‌شوند که برای تداوم و توسعه زندگی بشر مورد نیاز است. این بوم-نظام‌ها به غیر از تولید غذاها، محصولات ارزشمند دیگری مانند فیبر و سوخت را همراه با سایر خدمات غیر بازاری ارائه می‌دهند (Costanza et al., 1997; MEA, 2005; de Groot et al., 2012). با این حال، ارائه خدمات بوم‌سازگان از زمین‌های کشاورزی تا حد زیادی به ورودی‌های مورد استفاده برای تولید و روش‌های مدیریت محصول که توسط کشاورزان به‌کار گرفته می‌شود، بستگی دارد (Wossink & Swinton 2007; Ma et al., 2012).

خدمات بوم‌سازگان معمولاً به چهار دسته تقسیم می‌شود (الف) خدمات تأمینی مانند مواد غذایی، محصولات جانبی، سوخت و سایر محصولات قابل برداشت، (ب) خدمات تنظیمی مانند کنترل آفات و بیماری‌ها، گرده‌افشانی، نگهداشت خاک، (ج) خدمات فرهنگی مانند مزیت‌های تفریحی، آموزشی و گردشگری و غیره و (د) خدمات حمایتی، مانند چرخه عناصر غذایی، جریان آب‌شناختی و حاصلخیزی خاک که شرایط مطلوبی را برای حیات در کره زمین فراهم می‌سازد (MEA, 2003). بوم‌نظام‌های کشاورزی انواع خدمات مهم را ارائه می‌دهند (Duguma et al., 2019; Zhang et al., 2007). خدمات بوم‌سازگان در بوم‌نظام‌های کشاورزی در درجه اول برای تولید مواد غذایی مدیریت می‌شوند (Galhena et al., 2013) که درآمد ایجاد می‌کند (Mertz et al., 2005) و به وضعیت تغذیه، تنوع غذایی، بهداشت و سلامتی و امنیت غذایی خانواده‌ها کمک می‌کند

(Rogan, 2018).

تحقیقات در مورد خدمات بوم‌سازگان کشت‌بوم‌ها از دهه ۱۹۹۰ آغاز شد. محققان نشان داده‌اند که ارزیابی و پیش‌بینی خدمات بوم-شناختی به حفاظت از بوم‌نظام‌های زراعی (اگرواکوسیستم‌ها) کمک می‌کند (Khosravi Mashizi et al., Longato et al., 2019 ; 2019; Del Rio et al., 2020). برخی از محققان بر تأثیرات منطقه‌ای خدمات بوم‌سازگان به‌ویژه ارزش خدمات بوم‌سازگان در علفزارها و جنگل‌ها متمرکز شده‌اند (Yang et Chen et al., 2020 ; Cao et al., 2020 al., 2020; Zhong et al., 2020;). سان و همکاران (Sun et al., 2021) خدمات کشاورزی در شمال چین را ارزیابی و تغییرات آن‌ها را تحت سناریوهای مختلف کاربری سرزمین پیش‌بینی کردند. عده‌ای از محققان بر این باورند که بوم‌نظام‌های کشاورزی متنوع برخی از خدمات خاص بوم‌سازگان را افزایش می-دهند و تغییرات در بوم‌نظام‌های کشاورزی ممکن است بر راهبرد توسعه پایدار تأثیر بگذارد (Duguma et al., 2019). در پژوهش موشانی و همکاران (Moushani et al., 2021) انواع خدمات بوم-سازگان در دو نظام زراعی رایج و حفاظتی سویا (*Glycine max* L.) کمّی‌سازی شدند. نتایج نشان داد که نظام‌های کشت حفاظتی به‌طور کلی، خدمات بوم‌سازگان بیشتری نسبت به نظام‌های کشت معمولی ارایه می‌دهند. در مطالعه دیگری خرمدل و همکاران (Khorramdel et al., 2018) در بررسی خدمات و کارکردهای بوم‌نظام‌های تولید زعفران (*Crocus sativus* L.) در خراسان رضوی، ارزش شش نوع از خدمات بوم‌سازگان از جمله تولید اکسیژن، تولید غذا، تنوع زیستی، خدمات فرهنگی و دو مورد از تبعات منفی تولید گازهای گلخانه‌ای و جریان نیتروژن و فسفر کمّی‌سازی و ارزش‌گذاری کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که سهم انواع خدمات شامل تولید غذا، اکسیژن، تنوع زیستی و خدمات فرهنگی به‌ترتیب ۳۹،۳۵،۱۹ و ۷ درصد بود. نتایج پژوهشی دیگر نشان داد که میانگین ارزش کل خدمات بوم‌سازگان در مزارع گندم تحت بررسی با کسر ارزش تبعات منفی معادل 10^{6} × ۶۶/۸۵ ریال در هکتار در سال بود. خدمات تنظیمی (تولید اکسیژن و ترسیب کربن) در حدود ۶۵ درصد از ارزش کل خدمات در مزارع گندم (*Triticum aestivum* L.) را به خود اختصاص دادند، در حالی‌که ارزش غذا و علوفه تولید شده در مزارع که مهم‌ترین خدمات بوم‌سازگان زراعی محسوب می‌شوند، حدود ۲۱ درصد و تنوع زیستی ۹/۳ درصد از ارزش کل را شامل شدند (Koocheki et al., 2017).

پیشینه تحقیق درباره ارتباط ویژگی‌های ساختاری و کارکردی بوم‌نظام‌ها جهت ارایه انواع خدمات بوم‌سازگان، همچنان محدود است. درک جامع‌تری از ارتباط بین تنوع زیستی و خدمات بوم‌سازگان برای اجرای بهتر مدیریت کشاورزی، حفظ گونه‌ها و ویژگی‌های کارکردی بوم‌نظام ضروری است (Balzan et al., 2019; Nieto-Romero et al., 2014; Cole et al., 2020). در این راستا، کمّی کردن خدمات و کارکردهای مختلف بوم‌نظام‌های کشاورزی یکی از مهم‌ترین راهبردها در راستای افزایش توجه به این خدمات و ارائه راهکارهای مناسب برای حفظ و پایداری آن‌ها می‌باشد. از این‌رو، هدف از انجام این مطالعه ارزیابی و کمّی‌سازی انواع خدمات بوم-سازگان در کشت‌بوم‌های گندم منطقه دشت ناز ساری بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۹۹-۱۳۹۸ در اراضی شرکت زراعی دشت ناز ساری (استان مازندران) با موقعیت ۵۳ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی و ارتفاع هشت متر از سطح دریا اجرا شد. این مطالعه در قطعات تحت کشت گندم (نه قطعه) اجرا گردید که سطح زیر کشت آن ۴۰۰ هکتار بود. گندم کشت شده در این مزارع شامل چهار رقم تیرگان، احسان، کلکتور و N-92-9 می‌باشد (جدول ۱). در این مطالعه، این ارقام به‌عنوان تیمار در نظر گرفته شدند.

کمّی‌سازی خدمات بوم‌سازگان

کمّی‌سازی انواع خدمات ارایه شده در کشت‌بوم‌های گندم، در سه بخش بر اساس ارزیابی اکوسیستم هزاره (MEA, 2003) با اندکی تغییرات، تقسیم‌بندی و اندازه‌گیری شدند که عبارت بودند از خدمات حمایتی شامل تنوع زیستی حشرات و گیاهان‌هرز (شاخص‌های تنوع شانون- واینر، سیمپسون، مارگالف، منهینیک و یکنواختگی)، خدمات تنظیمی شامل تنفس میکروبی خاک، پایداری خاکدانه‌ها، تولید اکسیژن، ماده آلی، ترسیب کربن و فراوانی کرم خاکی و خدمات تأمینی شامل عملکرد و درصد پروتئین دانه.

جدول ۱- مشخصات قطعات تحت کشت گندم در منطقه دشت ناز ساری (استان مازندران)

Table 1- Details of plots under wheat cultivation in Dasht-e–Naz Sari (Mazandaran province)

شماره قطعه Number of plot	رقم Cultivar	تناوب زراعی Crop rotation	مساحت(هکتار) Area (ha)
6	Tirgan تیرگان	Wheat-soybean گندم- سویا	30
6	N-92-9	Wheat-soybean گندم- سویا	40
14	Collector کلکتور	Rapeseed- soybean کلزا- سویا	55
15	Ehsan احسان	Rapeseed- soybean کلزا- سویا	60
16	Tirgan تیرگان	Rapeseed- soybean کلزا- سویا	46
19	Ehsan احسان	Wheat-soybean گندم- سویا	15
19	N-92-9	Wheat-soybean گندم- سویا	15
20	Ehsan احسان	Wheat-soybean گندم- سویا	35
21	Collector کلکتور	Fallow-corn آیش- ذرت	30
22	Tirgran تیرگان	Rapeseed- soybean کلزا- سویا	28
23	Collector کلکتور	Wheat – corn گندم- ذرت	45

خدمات حمایتی

خدمات حمایتی در دو بخش تنوع زیستی حشرات و گیاهان‌هرز ارزیابی شدند. برای نمونه‌گیری حشرات در مزارع گندم از چسب‌های زرد، تورهای حشره‌گیری و تله زمینی استفاده گردید. نمونه‌گیری‌ها از اواخر اسفند تا اواسط فروردین ۱۳۹۹ انجام شد. نمونه‌های حشرات به آزمایشگاه حشره‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی قائم‌شهر منتقل و شناسایی گردید. همچنین نمونه‌برداری گیاهان‌هرز مزارع گندم از قطعات مختلف با الگوی W و به‌وسیله کودرات ۰/۵ × ۰/۵متربعی در پاییز ۱۳۹۸ قبل از سم‌پاشی انجام شد و نمونه‌ها شناسایی و با نام علمی و خانواده ثبت گردید. سپس شاخص‌های تنوع زیستی محاسبه شدند. معادله‌های ۱ تا ۵ به‌ترتیب محاسبات مربوط به شاخص‌های سیمپسون، شانون- واینر، مارگالف، منهینک و یکنواختی را نشان می‌دهند:

$$D= \sum ni(ni-1)/ N(N- 1)$$ معادله (۱)

که در آن، D: شاخص سیمپسون، Ni: تعداد افراد گونه iام و N: تعداد کل گونه‌ها می‌باشد (Simpson, 1949).

$$H' = \sum [Pi (\ln Pi)]$$ معادله (۲)

که در آن، Pi: فراوانی نسبی گونه مشخص iام که به‌صورت Pi =ni/N محاسبه می‌شود و ln: به‌معنای لگاریتم طبیعی است (Shannon & Weaver, 1949;Benton et al., 2003).

$$R_1 = S -1/ Ln(N)$$ معادله (۳)

که در آن، R1: شاخص مارگالف، S: تعداد گونه‌ها و N: فراوانی تمام گونه‌ها است (Marshall et al., 2003).

معادله (۴) $R_2= S/\sqrt{N}$

که در آن، R2: شاخص منهینیک، S: تعداد گونه‌ها و N: فراوانی تمام گونه‌ها است (Menhinick, 1964).

معادله (۵) $E = H'/ \ln S$

که در آن، E: شاخص یکنواختی، H′: شاخص شانون – واینر و S: تعداد گونه‌ها است (Pielou, 1934).

خدمات تنظیمی

ترسیب کربن

به‌منظور کمّی‌سازی ترسیب کربن خاک، از عمق ۰–۳۰ سانتی‌متر مزارع در دو مرحله قبل از کشت گندم و بعد از برداشت محصول نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه تحقیقات زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل شدند. برای تعیین کربن خاک از روش والکی و بلک (Walkley & Black, 1934) و برای محاسبه مقدار ترسیب کربن از معادله ۶ استفاده گردید:

معادله (۶) $Cs=10000 \times OC (\%) \times Bd \times E$

که در آن، Cs: مقدار ترسیب کربن آلی گرم بر مترمربع، OC: درصد کربن آلی، Bd: وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و E: عمق نمونه برداری خاک بر حسب سانتی‌متر می‌باشد (Walkley & Black, 1934)).

میزان کربن آلی خاک توسط معادله ۷ برآورد شد:

معادله (۷) $\%OC= M \times 0.39[(V1-V2)/S]$

که در آن، OC%: درصد کربن آلی، M: نرمالیته فروآمونیوم سولفات، V1: فروآمونیوم مصرفی برای شاهد (میلی‌لیتر)، V2: فروآمونیوم مصرفی برای نمونه مورد نظر (میلی‌لیتر) و S: وزن نمونه خشک شده در هوای آزاد می‌باشد.

پس از محاسبه کربن آلی از معادله ۷، میزان ماده آلی خاک از معادله زیر محاسبه می‌گردد:

معادله (۸) $\%OM = \% OC \times 1.74$

که در آن، OM%: درصد ماده آلی خاک و OC %: درصد کربن آلی می‌باشد.

میزان تولید اکسیژن

میزان زیست‌توده تولیدی مزارع با برداشت مستقیم در بهار ۱۳۹۹ طبق الگوی W و با استفاده از کوادرات ۰/۵ × ۰/۵ مترمربعی اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها سپس در آون به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد تا خشک گردند. میزان تولید اکسیژن بر اساس تولید خالص اولیه در فرآیند فتوسنتز، با استفاده از معادله ۹ محاسبه گردید که طبق آن به‌ازای تولید هر کیلوگرم ماده خشک گیاهی، حدود ۱/۲ کیلوگرم اکسیژن وارد جو می‌شود (Thornes, 2010).

معادله (۹)

۱/۲× ماده خشک کل (کیلوگرم در هکتار)= میزان O_2 (کیلوگرم در هکتار)

تنفس میکروبی خاک

نمونه‌برداری از خاک برای اندازه‌گیری تنفس میکروبی طبق الگوی W و با استفاده از اوگر ۰–۳۰ سانتی‌متری انجام شد. تنفس میکروبی خاک شامل فعالیت‌های میکروبی خاک قبل از کاشت و پس از برداشت گندم که بر حسب میلی‌گرم CO_2 در هر کیلوگرم خاک در روز محاسبه می‌شود که از یک نمونه خاک ۲۰ گرمی در آزمایشگاه بر اساس روش ایزرمایر (Isermeyer, 1952)) به‌دست آمد (معادله ۱۰):

معادله (۱۰)

$$(C-S\times 2.2\times 100/SW\times dm)/n= mgCO_2.g^{-1}dm.24^{-1}$$

که در آن، C:حجم متوسط اسید هیدروکلریک استفاده شده در شاهد (میلی‌لیتر)، S: حجم متوسط اسید هیدروکلریک استفاده شده در نمونه‌ها (میلی‌لیتر)، ۲/۲: ضریب تبدیل SW: وزن اولیه خاک (گرم)، n: کل روزهای آزمایش و ۱۰۰٪ dm: ضریب تبدیل برای خاک خشک است.

پایداری خاکدانه‌ها

برای اندازه‌گیری پایداری ساختمان خاک از روش الک‌تر و شیوه مرطوب کردن سریع استفاده شد (Kay, 2000) ابتدا خاک هوا–خشک شده (بدون کوبیدن) از الک هشت میلی‌متری عبور داده شد. ۵۰ گرم از خاک الک شده (صفر تا هشت میلی‌متری سطح خاک) روی یک سری الک (به‌ترتیب از بالا به پایین ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱۲۵ میلی‌متر) به‌طور یکنواخت ریخته شده و در درون آب تکان داده شد (بالا و پایین برده شد)، پس از پایان الک کردن، الک‌ها به آرامی از آب خارج شده، خاکدانه‌های باقی مانده روی هر الک شسته شده و در آون در دمای ۱۰۵° C خشک و وزن شدند. سپس خاکدانه‌های باقی‌مانده مربوط به هر الک خرد شده و شن و سنگریزه آن جدا

شد و جرم واقعی خاکدانه‌ها بر روی هر الک محاسبه گردید. از شاخص‌های میانگین وزنی قطر (MWD) و میانگین هندسی قطر (GMD) خاکدانه‌ها برای ارزیابی پایداری ساختمان خاک استفاده شد. میانگین وزنی قطر (MWD) خاکدانه‌ها از معادله زیر محاسبه گردید (Kemper et al., 1986).

معادله (۱۱) $MWD = \sum_{i=1}^{n} xiwi$

که در آن، Xi: میانگین قطر خاکدانه‌های باقی‌مانده بر روی هر الک i (میانگین قطر سوراخ‌های الک بالایی، پایینی)، n: تعداد الک‌ها و wi: نسبت وزن خاکدانه‌های روی هر الک به وزن کل خاک به کاربرده شده در ابتدای آزمایش پس از کسر ذرات شن و سنگریزه می‌باشد که از معادله زیر به‌دست می‌آید:

معادله (۱۲) $wi= wi\text{-}wi(s) \ / \ wt - \sum_{i=1}^{n} wi\,(s)$

که در آن، w_i: وزن ذرات باقی‌مانده در دامنه i، $w_i(s)$: وزن ذرات شن و سنگریزه در دامنه i و w_t: وزن آون خشک خاک می‌باشد.

میانگین هندسی‌ها قطر خاکدانه نتایج آزمایش الک‌تر را می‌توان با استفاده از شاخص میانگین هندسی قطر (GMD) خاکدانه‌ها نیز بیان کرد. این شاخص از معادله زیر محاسبه گردید (Barzegar, 2001):

معادله (۱۳) $GMD = \exp\left(\sum_{i=1}^{n} wi \log xi\right)$

که در آن، Xi: میانگین قطر خاکدانه‌های باقی‌مانده بر روی هر الک i (میانگین قطر سوراخ‌های الک بالایی و پایینی) و wi: نسبت وزن خاکدانه‌های روی هر الک به وزن کل خاک به‌کاربرده شده در ابتدای آزمایش پس از کسر ذرات شن و سنگریزه می‌باشد.

فراوانی کرم‌های خاکی

قبل از کاشت و پس از برداشت محصول در مزارع گندم به‌وسیله کودرات ۰/۵×۰/۵ مترمربعی در عمق ۰–۳۰ سانتی‌متری خاک تعداد کرم خاکی شمارش و ثبت گردید.

خدمات تأمینی

در این مطالعه، خدمات تأمینی عملکرد دانه و پروتئین دانه اندازه‌گیری شد. عملکرد گندم در بهار ۱۳۹۹ با الگوی W و با استفاده از کودرات ۰/۵ × ۰/۵ مترمربعی از قطعات مورد مطالعه برداشت گردید و به آزمایشگاه پژوهشکده برنج و مرکبات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری منتقل شد و در آون به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه قرار گرفت و سپس وزن گردید. جهت اندازه‌گیری درصد پروتئین دانه، ابتدا با استفاده از دستگاه کجلدال در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان درصد نیتروژن کل دانه‌ها محاسبه و سپس با ضرب کردن درصد نیتروژن دانه در ضریب ۶/۲۵ ، میزان پروتئین موجود در دانه از معادله زیر محاسبه گردید (Alaru et al., 2003)

معادله (۱۴) ۶/۲۵ × نیتروژن دانه (٪) = پروتئین دانه ٪

تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی نامتعادل (Valizadeh & Moghadam, 2002) با نرم‌افزار SAS و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

خدمات تأمینی

نتایج نشان داد که عملکرد دانه و درصد پروتئین در قطعات مختلف با توجه به رقم‌های مختلف متفاوت است (جدول ۲). بیشترین درصد پروتئین دانه از رقم احسان به‌میزان ۱۲/۱۵ درصد و کمترین میزان پروتئین ۱۱/۴۲ از رقم N-92-9 به‌دست آمد و همچنین بیشترین عملکرد دانه گندم برابر با ۴/۸۴ تن در هکتار از رقم کلکتور و کمترین عملکرد دانه برابر با ۲/۹۶ تن در هکتار از رقم تیرگان حاصل گردید (جدول ۳). به نظر می‌رسد، اجرای تناوب‌های زراعی صحیح همراه با استفاده از پتانسیل ارقام اصلاح‌شده از طریق اجرای روش‌های مدیریتی و تغییرات مناسب محیطی، منجر به تولید بیشتر دانه در واحد سطح در برخی از قطعات شده است. از نظر بوم‌شناختی، افزایش تولید در کشت‌بوم‌ها لزوماً نشان‌دهنده افزایش استفاده بهینه از منابع نیست. کشت تک‌محصولی به‌طور مداوم، در درازمدت با کاهش تولید در ارتباط است که امروزه عمدتاً به‌عنوان عامل کاهش عملکرد بیان می‌شود (Seifert et al., 2017). تناوب‌های کوتاه‌مدت و غیر اصولی نیز ممکن است منجر به کاهش عملکرد شود (Merrill et al., 2007)، این عوامل باعث می‌شوند، بوم‌نظام‌های زراعی در چرخه عناصر غذایی و آب، کنترل آفات و گیاهان‌هرز کارآیی کمتری داشته باشد. به عبارتی دیگر، کشت‌بوم، توانایی ارایه خدمات تنظیمی خود را از دست می‌دهد در نتیجه، کاهش بهره‌وری سامانه زراعی، بیانگر کاهش ارایه خدمات بوم‌سازگان، از جمله خدمات تنظیمی و حمایتی

می‌باشد.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس خدمات تأمینی در قطعات گندم تحت تأثیر رقم در دشت ناز ساری (استان مازندران)

Table 2- Results of analysis of variance (mean of squares) of provision services in plots of wheat under the influence of cultivar in Dasht-e Naz, Sari (Mazandaran province)

منابع تغییرات S. O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares	
		عملکرد دانه Grain yield	پروتئین دانه Grain protein
تیمار Treatment	3	6.37**	0.70**
خطا Error	32	0.095	0.09
ضریب تغییرات CV (%)		7.69	2.54

**: اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال یک درصد

**: significant difference at 1% of probability level

جدول ۳- مقایسه میانگین خدمات تأمینی در قطعات کشت گندم تحت تأثیر ارقام مختلف در دشت ناز ساری (استان مازندران)

Table 3- Mean comparison of provision services in plots of wheat under the influence of cultivar in Dasht-e Naz, Sari (Mazandaran province)

تیمار Treatment	پروتئین دانه Grain protein (%)	عملکرد دانه Grain yield (t.ha^{-1})
تیرگان Tirgan	11.66^{bc}	2.96^{d}
N-92-9	11.42^{c}	4.33^{b}
احسان Ehsan	12.15^{a}	3.78^{c}
کلکتور Collector	11.86^{ab}	4.84^{a}

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک می‌باشند، بر اساس آزمون دانکن، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* In each column, means followed by similar letters are not significantly different based on Duncan at the %5 probability level.

خدمات تنظیمی

ترسیب کربن

نتایج نشان داد که میزان ترسیب کربن خاک در کشت‌بوم‌های گندم تحت تأثیر نوع رقم قرار نگرفت (جدول ۴). بر این اساس، بیشترین و کمترین میزان ترسیب کربن به‌ترتیب ۳/۳۳ تن در هکتار از قطعه ۱۵ و ۱/۰۵ تن در هکتار از قطعه ۲۳ به‌دست آمد. به نظر می‌رسد که در قطعه ۱۵ با رعایت تناوب زراعی (کلزا- سویا)، میزان برگشت بقایای گیاهی به خاک نسبت به قطعه ۲۳ با تناوب زراعی (گندم- ذرت) بیشتر است. بنابراین، شرایط بهتری برای رشد گیاه و فعالیت ریزجانداران در این قطعه فراهم شد که یکی از نتایج روشن آن تغییرات میزان کربن در این قطعات می‌باشد. تفاوت در تناوب زراعی، وضعیت زیستی خاک و شیوه‌های مختلف مدیریت مزرعه می‌تواند بر میزان ترسیب کربن تأثیر بگذارد. افزون بر آن، نوع خاکورزی نیز می‌تواند بر فعالیت میکروبی و در نهایت، بر پویایی و پایداری کربن آلی خاک تأثیرگذار باشد (Scow, 1997; Paustian et al., 1997). تعداد زیادی از مطالعات نشان می‌دهد که در زمین‌هایی با خاکورزی کم و بدون خاکورزی، تراکم بیشتری از موجودات زنده و به‌ویژه ریزجانداران خاکزی وجود دارد که می‌توانند به‌سرعت میزان کربن خاک را افزایش دهد (West & Post, 2002). علاوه‌بر آن، تأثیرات خاکورزی بر غلظت کربن آلی خاک به نوع گونه زراعی و عمق خاکورزی بستگی دارد (Xu et al., 2013). تغییرات در مدیریت کشاورزی می‌تواند به‌طور بالقوه‌ای میزان تجمع کربن آلی

خاک را افزایش دهد و در نتیجه، دی اکسید کربن جوّ را جذب کند. به عنوان مثال، مشخص شده است که تغییر از خاکورزی معمولی به روش بدون خاکورزی می‌تواند ۱۴ ± ۵۷ گرم کربن بر مترمربع در سال را افزایش دهد (Prokopyeva et al., 2021). در مطالعه‌ای دیگر، هی و همکاران (He et al., 2021) گزارش کردند که ترسیب کربن آلی خاک در مزارع با تناوب زراعی گندم- برنج با افزودن بقایای اندام هوایی و زیرزمینی و کودهای آلی در ۳۴ سال گذشته ۱/۴۷-۴/۳۳ تن در هکتار به‌دست آمد و همچنین عنوان کردند، کودهای آلی به‌طور قابل توجهی ترسیب کربن آلی خاک را در مقایسه با کودهای شیمیایی افزایش می‌دهند.

تنفس میکروبی خاک

نتایج نشان داد که میزان تنفس میکروبی در مزارع مورد بررسی متفاوت است (جدول ۴). بیشترین و کمترین میزان تنفس میکروبی قبل از کاشت و بعد از برداشت محصول به‌ترتیب به‌میزان ۶۳/۴۱، ۴۴/۱۴ و ۳۱/۵۹، ۲۱/۰۸ میلی‌گرم CO_2 به‌ازای هر کیلوگرم خاک در روز از قطعات تحت کشت رقم‌های احسان و تیرگان به‌دست آمد (جدول ۵). همچنین بیشترین میزان تنفس میکروبی در قبل از کاشت و بعد از برداشت با میزان ۷۶/۴۶ و ۳۸/۵۲ میلی‌گرم CO_2 به‌ازای هر کیلوگرم خاک در روز به قطعه ۱۵ تعلق داشت و کمترین میزان آن یعنی ۳۸/۲۳ و ۱۹/۳۱ میلی‌گرم CO_2 به‌ازای هر کیلوگرم خاک در روز، از قطعه ۲۲ به‌دست آمد (جدول ۶). اصولاً نقش خدمات تنظیمی در نظام‌های زراعی حیاتی است، زیرا آن‌ها بر فرآیندهای بوم‌سازگان دخیل در تولید محصولات زراعی، از جمله فرسایش خاک، کنترل آفات و گیاهان هرز و گرده‌افشانی مؤثر هستند (MEA, 2005). در پژوهش بوجارشزوک و همکاران (Bojarszczuk et al., 2017) مشخص گردید که میزان تنفس خاک در مزارع بستگی به روش کشت دارد، به‌طوری‌که بیشترین تنفس خاک در کشت ذرت با خاکورزی کامل به‌دست آمد. همچنین تنفس میکروبی خاک در مقایسه با تیمارهای کاشت مستقیم، کاهش خاکورزی و تناوب زراعی به‌ترتیب ۶۵، ۵۵ و ۱۲ درصد بیشتر بود. کونگ و همکاران (Kong et al., 2019) گزارش کردند، میانگین تنفس خاک در تناوب‌های زراعی گندم زمستانه همراه با سویای تابستانه و گندم زمستانه همراه با ذرت تابستانه و گندم زمستانه همراه با آفتاب‌گردان تابستان به‌ترتیب ۶/۵۳، ۵/۱۴ و ۵/۴۹ میلی‌مول در مترمربع در ثانیه بود. این محققان دمای خاک را عامل اصلی تعیین‌کننده میزان تنفس خاک اعلام کردند. نتایج نشان داد که مدیریت مزرعه در اراضی شرکت زراعی دشت ناز ساری به‌طور قابل توجهی بر سلامت خاک و میزان فعالیت ریزجانداران تأثیر می‌گذارد، به‌طوری‌که بعد از برداشت محصول، میزان تنفس میکروبی خاک در همه قطعات کاهش یافت (جدول ۶). اصولاً کاربرد نهاده‌های آلی، کشت گیاهان و اختلال مکانیکی کمتر خاک، باعث افزایش سلامت خاک و افزایش فعالیت ریزجانداران می‌گردد. در همین راستا، گزارش شده است که افزودن محصول جدید به یک نظام تک کشتی، به‌طور قابل توجهی کربن و نیتروژن آلی خاک و همچنین تنفس میکروبی را افزایش می‌دهد (McDaniel et al., 2014).

تولید اکسیژن

نتایج نشان داد که بالاترین میزان تولید اکسیژن ۱۳/۴۳ تن در هکتار از رقم کلکتور و کمترین میزان تولید اکسیژن ۱۰/۶۹ از رقم تیرگان حاصل گردید (جدول۶). دلیل افزایش تولید اکسیژن در رقم کلکتور می‌تواند ناشی از افزایش ارتفاع و زیست توده گیاهی نسبت به ارقام دیگر باشد. قبلاً تورنز (Thornes, 2010) تاکید کرده بود که تولید اکسیژن در نظام‌های زراعی برای جامعه بشری با اهمیت است. اصولاً بوم‌نظام‌ها بسیاری از خدمات اساسی را فراهم می‌کنند که زندگی را برای افراد بشر امکان پذیر می‌سازد.

تغییرات ماده آلی

نتایج نشان داد که بیشترین میزان ماده آلی در قبل از کاشت و بعد از برداشت با میزان ۱/۵۲ و ۱/۳۷ به قطعه ۱۴ تعلق داشت و همچنین کمترین میزان ماده آلی با ۱/۱۳ و ۱/۰۱ از قطعه ۲۳ حاصل گردید (جدول ۶). با بررسی سابقه کشت، مشخص شد که قطعه ۱۴ در سال‌های گذشته تحت تناوب زراعی کلزا- سویا قرار گرفته است. در زراعت این دو گیاه معمولاً فقط دانه آن‌ها از زمین برداشت می‌شود و بقایای گیاهی دوباره به خاک بر می‌گردد. بنابراین، این امر باعث می‌شود که ماده آلی بیشتری در خاک وجود داشته باشد. امّا در قطعه ۲۳ تناوب زراعی گندم- ذرت در دو سال قبل اجرا شده بود. بقایا و زیست‌توده این دو گیاه زراعی بعد از جذب عناصر غذایی موجود در خاک، تقریباً به‌طور کامل از زمین خارج شده و در نتیجه، باعث کاهش ماده آلی خاک در این قطعه شده است.

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خدمات تنظیمی در قطعات گندم تحت تأثیر رقم در دشت ناز ساری (استان مازندران)

Table 4- Results of analysis of variance (mean of squares) of regulatory services in plots of wheat under the influence of cultivar in Dasht-e Naz, Sari (Mazandaran province)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares										
										پایداری خاکدانه‌ها Aggregate stability		
		تولید اکسیژن O_2 production	ترسیب کربن Carbon sequestration	تنفس میکروبی قبل از کاشت Microbial respiration Before planting	تنفس میکروبی بعد از برداشت Microbial respiration After harvest	ماده آلی خاک قبل از کاشت SOM before planting	ماده آلی خاک بعد از برداشت SOM after harvest	میانگین وزنی قطر خاکدانه قبل از کاشت MWD before planting	میانگین وزنی قطر خاکدانه بعد از برداشت MWD after harvest	میانگین هندسی قطر خاکدانه قبل از کاشت GMD before planting	میانگین هندسی قطر خاکدانه بعد از کاشت GMD after harvest	فراوانی کرم خاکی Abundance of earthworms
تیمار Treatment	3	21.87**	0.95ns	594.56**	180.37*	0.024ns	0.021ns	5.51**	4.53**	0.65*	0.51ns	3.62ns
خطا Error	32	0.40	1.15	125.48	42.44	0.012	0.010	0.35	0.46	0.20	0.18	1.62
ضریب تغییرات CV (%)		5.31	17.33	20.86	24.02	8.40	8.82	26.08	23.07	15.26	15.94	19.63

ns، * و **: به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: non-significant difference, significant difference at 5 and 1 ٪ of probability level.

جدول ۵- مقایسه میانگین خدمات تنظیمی در قطعات گندم تحت تأثیر ارقام مختلف در کشت و صنعت دشت ناز ساری (استان مازندران)

Table 5- Mean comparison of regulating services in plots of wheat under influence of cultivar in Dasht-e Naz, Sari (Mazandaran province)

تیمار Treatment	تولید اکسیژن O_2 production (ton.ha^{-1})	ترسیب کربن Carbon sequestration (ton.ha^{-1})	تنفس میکروبی قبل از کاشت Microbial respiration before planting mg CO_2 per) kg of soil per day)	تنفس میکروبی بعد از برداشت Microbial respiration after harvest mg cO_2 per) kg of soil per day)	ماده آلی خاک قبل از کاشت SOM before planting (%)	ماده آلی خاک بعد از برداشت SOM after harvest (%)	پایداری خاکدانه‌ها Aggregate stability: میانگین وزنی قطر خاکدانه قبل از کاشت MWD before planting (mm)	میانگین وزنی قطرخاکدانه بعد از برداشت MWD after harvest (mm)	میانگین هندسی قطر خاکدانه قبل از کاشت GMD before planting (mm)	میانگین هندسی قطر خاکدانه بعد از کاشت GMD after harvest (mm)	فراوانی کرم خاکی در مترمربع Abundance of earthworms (m^2)
تیرگان Tirgan	10.79^{b}	3.19^{a}	44.14^{b}	21.08^{b}	1.41^{a}	1.24^{a}	1.49^{c}	1.47^{c}	3.06^{ab}	2.82^{a}	7.33^{a}
N-92-9	10.69^{b}	2.59^{b}	51.79^{ab}	26.60^{ab}	1.33^{b}	1.19^{b}	2.31^{b}	1.94^{b}	3.13^{a}	2.76^{a}	6.20^{ab}
احسان Ehsan	13.30^{a}	2.52^{b}	63.41^{a}	31.59^{a}	1.35^{b}	1.19^{b}	3.28^{a}	3.01^{a}	3.16^{a}	2.83^{a}	6.60^{ab}
کلکتور Collector	13.43^{a}	3.03^{a}	53.53^{ab}	28.11^{a}	1.30^{b}	1.13^{c}	2.01^{bc}	1.73^{b}	2.63^{b}	2.38^{b}	5.91^{b}

در هر ستون میانگین‌هایی که ، دارای حرف مشترک می‌باشند، بر اساس آزمون دانکن، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, means, followed by similar letters are not significantly different based on Duncan at the %5 probability level.

جدول ٦- نتایج کمّی‌سازی خدمات بوم‌سازگان در کشت‌بوم‌های گندم دشت ناز ساری (استان مازندران)

Table 6- Quantification results of ecosystem services in wheat agroecosystems of Dasht-e Naz, Sari (Mazandaran province)

شماره قطعه Number of plot	تنفس میکروبی قبل از کاشت Microbial respiration before planting (mg CO_2 per kg of soil per day)	تنفس میکروبی بعد از برداشت Microbial respiration after harvest (mg CO_2 per kg of soil per day)	ترسیب کربن Carbon sequestration (t.ha^{-1})	ماده آلی خاک قبل از کاشت SOM before planting (%)	ماده آلی خاک بعد از برداشت SOM after harvest (%)	پایداری خاکدانه‌ها Aggregate stability: میانگین وزنی خاکدانه قبل از کاشت MWD before planting (mm)	میانگین وزنی قطر خاکدانه بعد از برداشت MWD after harvest (mm)	میانگین هندسی قطر خاکدانه قبل از کاشت GMD before planting (mm)	میانگین هندسی قطر خاکدانه بعد از کاشت GMD after harvest (mm)	تولید اکسیژن O_2 production (t.ha^{-1})	عملکرد دانه Grain yield (t.ha^{-1})	پروتئین دانه Grain protein (%)	فراوانی کرم خاکی در مترمربع Abundance of earthworms (m^2)
6	45.29	21.47	2.63	1.38	1.26	2.69	2.16	3.08	2.83	10.46	3.80	11.9	7
14	62.52	26.9	3.31	1.52	1.37	2.81	2.52	3.9	3.75	13.48	4.85	12.5	8
15	76.46	38.52	3.33	1.50	1.33	3.40	3.13	3.95	3.81	10.80	3.86	12.1	9
16	45.04	22.42	2.68	1.48	1.22	1.34	1.07	2.97	2.78	10.85	2.32	11.5	7
19	61.92	34.67	2.21	1.28	1.09	1.25	0.92	3.7	2.49	11.75	3.88	11.2	6
20	44.32	20.33	1.21	1.33	1.15	2.22	2.1	2.21	2.09	10.33	3.75	12.3	4
21	50.17	21.16	2.18	1.29	1.13	0.67	0.35	3.13	2.84	13.57	4.46	11.5	6
22	38.23	19.31	2.80	1.52	1.38	1.32	2.95	3.82	3.46	11.06	3.57	11.6	7
23	43.72	27.34	1.05	1.13	1.01	1.86	1.23	3.62	3.2	13.27	4.88	11.3	6
میانگین Mean	51.97	25.68	2.71	1.38	1.20	2.06	1.93	3.48	3.13	11.70	3.93	11.76	6.8

اصولاً ماده آلی بیشتر در خاک نمی‌تواند مصرف کود را به‌طور کامل جبران کند، امّا روش‌های مدیریت خاک که باعث تجمع ماده آلی خاک می‌شوند، مانند کاهش خاکورزی، افزایش تنوع زراعی، از جمله قرار دادن حبوبات در تناوب زراعی و افزودن کودهای آلی (Drinkwater & others, 1998; Edmeades, 2003; Kremen & Miles, 2012) می‌تواند از طریق بهبود دسترسی نیتروژن و کارایی استفاده از آن، نیاز به میزان بالای کودهای شیمیایی را کاهش دهد (Blesh & Drinkwater, 2013; Maeder et al., 2002).

حفاظت از خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که میزان شاخص میانگین وزنی قطر و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها تفاوت معنی‌دار دارند (جدول ۴). بر اساس نمونه‌برداری مزرعه‌ای، بیشترین و کمترین میزان شاخص میانگین وزنی قطر (MWD) در قبل از کشت و بعد از برداشت به‌ترتیب ۴۰/ و ۳/۱۳ میلی‌متر از قطعه ۱۵ و ۰/۶۷ و ۰/۳۵میلی‌متر از قطعه ۲۱ حاصل گردید. همچنین بیشترین و کمترین میزان شاخص میانگین هندسی قطر (GMD) در قبل از کشت و بعد از برداشت به‌ترتیب ۳/۹۵ و ۳/۸۱ میلی‌متر از قطعه ۱۵ و ۲/۲۱ و ۲/۰۹ میلی‌متر از قطعه ۲۰ حاصل گردید (جدول ۶). بیشترین میزان میانگین وزنی و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها از قطعات ۱۵ و ۱۴ تحت کشت ارقام احسان و کولکتور به‌دست آمد که تحت تناوب کلزا- سویا بودند. این قطعات ماده آلی بیشتری نسبت به سایر قطعات داشتند. اصولاً با دسترسی بیشتر عناصر غذایی در خاک، ریشه‌های گیاه رشد بهتری دارند و در نتیجه، می‌توانند مانع از هم‌پاشیدگی خاکدانه‌ها شوند. با توجه به اینکه ماده آلی بیشتر سبب حفظ و نگهداری ذرات خاک در کنار هم می‌شود، در این قطعات شاخص پایداری خاک بیشتری نسبت به قطعات دیگر به‌دست آمد. بر عکس، فرسایش خاک می‌تواند تحت تأثیر برخی از عوامل اصلی مانند تغییر آب و هوا، استفاده فشرده از زمین و فعالیت‌های انسانی قرار گیرد (Zhang et al., 2019; Colman et al., 2019; Xu et al., 2018)خاکورزی می‌تواند سرعت تخریب خاکدانه را تسریع نماید (Six et al., 2000) و در عوض، کاهش خاکورزی، پایداری خاکدانه‌ها را افزایش می‌دهد (Pinheiro et al., 2004; Zhang et al., 2015; Qi et al., 2011)، زیرا خاکورزی مکرر زمین‌های زراعی باعث از بین رفتن ساختار ذرات خاک، افزایش هوادهی خاک و از بین رفتن پایداری خاکدانه می‌شود، در نتیجه ساختمان خاک سست و آسیب‌پذیر می‌شود (Su et al., 2017).

فراوانی کرم خاکی

نتایج جدول ۶ نشان داد که بیشترین و کمترین تعداد کرم خاکی به‌ترتیب به‌میزان نه عدد از قطعه ۱۵ و ۴ عدد از قطعه ۲۰ به‌دست آمد. کاهش فراوانی کرم خاکی این مزارع می‌توانند تحت تأثیر خاکورزی، کاربرد کودهای شیمیایی و سموم و فشردگی خاک در اثر رفت و آمد ماشین‌آلات باشد. کرم‌های خاکی از نظر کارکرد مهم‌ترین و از نظر زیست‌توده معمولاً فراوان‌ترین گروه جانوری خاک در خاک-های کشاورزی هستند. بنابراین، بسیاری از خدمات بوم‌سازگان از جمله حفظ ساختار و کیفیت خاک و همچنین تولید گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Van Groeningen et al., 2014; Bertrand et al., 2015). گزارش شده است که روش‌های مدیریت خاک بسته به شدت اقدامات انجام شده، می‌تواند جوامع کرم خاکی و کارکردهای آن‌ها را به‌شدت تحت تأثیر قرار دهد (Beylich et al., 2010; Holland, 2004). به‌عنوان مثال، خاکورزی و استفاده از سموم دفع آفات به‌طور قابل توجهی فراوانی کرم‌های خاکی را کاهش می‌یابد (Van Capelle et al., 2012; Pelosi et al., 2014). در مطالعات مختلف، فراوانی کرم خاکی از ۳۰ (در مترمربع خاک شخم زده) تا ۴۰۰ (در مترمربع خاک بدون شخم) در شرایط مزرعه‌ای گزارش شده است (Van Capelle et al., 2012; Rutgers et al., 2016; Frazao et al., 2017).

خدمات حمایتی

حشرات مفید

در این مطالعه، سه حشره مفید با نام‌های کفشدوزک هفت نقطه-ای (*Coccinella septempunctata Linnaeus*)، زنبور پارازیتوئید (*Aphidius matricariae*) و بالتوری سبز (*Chrysoperla carnea*) مشاهده گردید. کفشدوزک‌ها از عوامل مفید در بوم‌نظام-های کشاورزی هستند که نقش بسیار مهمی در ایجاد حالت تعادل و کنترل طبیعی شته‌ها، پسیل‌ها، سفیدبالک‌ها، زنجرک‌ها، کنه‌ها، تخم پروانه‌ها و لارو تعدادی از حشرات دارند (Imami & Arbabi, 2005; Mujib Haqqadam et al., 2009; Hajek, 2004; Obrycki & Orr, 1990; Fiebig & Poehling, 1998;

(William, 2002). امروزه کنترل زیستی (بیولوژیک) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌های مدیریت آفات مطرح است. گونه‌های متعددی از دشمنان طبیعی در کاهش جمعیت شته‌ها نقش دارند که از رایج‌ترین آن‌ها می‌توان حشرات پارازیتوئید را نام برد (Van Driesche & Bellows, 1996). از گونه‌های مهم آن، می‌توان به زنبور پارازیتوئید اشاره کرد که از روی شته‌های متعددی جمع‌آوری شده است (Stary, 1999).

در این پژوهش، در برخی از قطعات حشره بالتوری سبز مشاهده شد. از این حشره مفید به‌عنوان یکی از مناسب‌ترین دشمنان طبیعی در کنترل تلفیقی آفات استفاده می‌گردد. مهم‌ترین ویژگی که باعث می‌شود بالتوری سبز جزء شکارگرهای مؤثر به حساب آید، پرخوری و پلی‌فاژ بودن لاروهای آن‌ها و نیز مقاومت خوب آن‌ها در مقابل بسیاری از آفت‌کش‌ها است (Rezaei et al., 2004; Stelzl & Devetak, 1999). اصولاً افزایش تنوع زیستی منجر به افزایش تنوع زیستگاهی (خدمات حمایتی) برای حشرات مختلف شامل حشرات گرده‌افشان، دشمنان طبیعی و سایر حشرات در بوم‌نظام می‌شود. بنابراین، ایجاد تنوع زیستگاهی در نظام‌های چندکشتی منجر به ایجاد روابط متقابل پیچیده و شکارگری در بین حشرات شده و کارکردهای بوم‌سازگان در این شرایط افزایش می‌یابد(Mada et al., 2013) .

در این پژوهش، بیشترین شاخص تنوع شانون- واینر حشرات با میانگین‌های ۲/۷ و ۲/۴ به‌ترتیب برای قطعات ۲۲ و ۶ محاسبه شد و کمترین مقادیر این شاخص در قطعات ۲۰ و ۲۱ با میانگین‌های ۱/۹۴و ۱/۹۶ به‌دست آمد (جدول ۷). شاخص تنوع شانون- واینر به عنوان یکی از معیارهای تنوع زیستی در نظر گرفته می‌شود، زیرا هم تعداد گونه‌ها و هم فراوانی هر گونه را در نظر می‌گیرد. هر چه این شاخص کم‌تر باشد، تنوع کمتر خواهد بود، درحالی‌که هرچه مقدار این شاخص بیشتر باشد، تنوع، غنای گونه‌ای و یکنواختی بالاتر است. از طرفی، شاخص یکنواختی معیار اندازه‌گیری فراوانی گونه‌ها و دسته-های مختلف در یک جامعه با دامنه‌ای از صفر تا یک است. وقتی یکنواختی نزدیک به صفر است، بیشتر افراد به یک یا چند گونه تعلق دارند. در مطالعه حاضر، یکنواختی بین ۰/۹۴ از قطعه ۲۲ تا ۰/۸۸ از قطعه ۲۱ متغیر بود. همچنین در این مطالعه بیشترین میزان شاخص سیمپسون، ۰/۱۶۷ از قطعه ۱۵ به‌دست آمد و کمترین مقدار از این شاخص به ۰/۱۴۲ به قطعات ۱۴ و ۱۶ و ۶ تعلق داشت. بیشترین و کمترین میزان تنوع گونه‌ای بر اساس شاخص مارگالف به‌ترتیب برابر با ۲/۴۹ و ۲ از قطعات ۶ و ۱۶ حاصل گردید (جدول ۷). میزان بالای این شاخص نشانگر ارزش گونه‌ها است. مقادیر بالای شاخص مارگالف حاکی از ارزش نسبی بیشتر گونه‌های نادر است. بیشترین و کمترین میزان شاخص غنای گونه‌ای منهینک به‌ترتیب با ۱/۸۰، ۱/۲۴ برای قطعات ۶ و ۲۱ به‌دست آمد (جدول ۷). در پژوهش میران و همکاران (Meeran et al., 2021) شاخص شانون- واینر مورد مطالعه در مزارع برنج ۰/۲۶ تا ۰/۴۲ متغییر بود. گزارش شده است که فراوانی و تنوع حشرات در بوم‌نظام‌ها بسیار مهم است، زیرا می‌توانند خدمات متعددی ارایه نمایند (Savopoulous et al., 2012). حشرات علاوه‌بر گرده‌افشانی کنترل آفات طبیعی و زیستی، منابع طبیعی حیاتی در بوم‌نظام‌ها محسوب می‌شوند (Strong et al., 1984; Buchs, 2003). تنوع و فراوانی آن‌ها نقش مهمی در کارکردهای بوم‌نظام‌ها دارد (Rosina et al., 2014) توزیع و فراوانی گونه‌های حشرات می‌تواند تحت تأثیر آب و هوا، پوشش گیاهی و برهم‌کنش آن‌ها باشد (Wolda, 1978). تأثیر منابع غذایی و شرایط آب و هوایی از نظر فضا و زمان مستقیماً بر تنوع و توزیع جمعیت حشرات تأثیر می‌گذارد (Goldsmith, 2007). آب و هوا یکی از عناصر تعیین‌کننده در بروز نوسانات جمعیت حشرات در طول سال است (Wolda, 1978). به‌طوری‌که دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعات آفتابی، بارندگی و نیز پوشش گیاهی اطراف و روش‌های مدیریت مزرعه بر تنوع زیستی حشرات تأثیر می‌گذارند (Pimentel & Wheeler, 1973).

تنوع زیستی گیاهان‌هرز

نتایج نمونه‌برداری از مزارع نشان داد که ۲۵ گونه‌هرز در قطعات مختلف تحت کشت گندم وجود دارد. بر اساس نتایج حاصل از نمونه-برداری، بیشترین شاخص تنوع شانون- واینر با میانگین‌های ۲/۶۳، ۲/۶۱ به‌ترتیب برای قطعات ۲۳ و ۱۵ محاسبه شد و کمترین مقادیر این شاخص در قطعات ۲۱ و ۲۲ با میانگین‌های ۲/۰۵ و ۲/۰۸ به‌دست آمد. علت این امر را می‌توان تا حدودی اجرای تناوب زراعی چندین ساله گیاهان سویا، ذرت، گندم، جو، کلزا و تریتیکاله در این قطعات دانست. نتایج همچنین نشان داد که بیشترین میزان تنوع گونه‌ای بر اساس شاخص مارگالف برابر با ۵/۲۴، ۵/۱۴ به‌ترتیب متعلق به قطعات ۲۳ و ۱۴ بود (جدول ۸).

جدول ۷- مقادیر شاخص‌های تنوع زیستی حشرات در قطعات گندم در دشت ناز ساری (استان مازندران)

Table 7- Insect biodiversity indices in wheat plots of Dasht-e Naz, Sari (Mazandaran province)

شماره قطعه Number of plot	شانون- واینر Shannon- Weiner	سیمپسون Simpson	یکنواختی Uniformity	مارگالف Margalef	منهنیک Menhinick
6	2.04	0.142	0.93	2.49	1.80
14	1.99	0.142	0.90	2.35	1.64
15	1.95	0.167	0.89	2.25	1.52
16	1.98	0.142	0.95	2.00	1.46
19	2.01	0.148	0.91	2.35	1.64
20	1.96	0.153	0.89	2.38	1.67
21	1.94	0.161	0.88	2.02	1.24
22	2.07	0.135	0.94	2.17	1.42
23	2.00	0.150	0.91	2.33	1.61
میانگین Mean	1.99	0.149	0.91	2.26	1.55

بالا بودن شاخص مارگالف نشان‌دهنده تنوع بالای گونه‌ای می‌باشد. اصولاً تنوع زیستی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد و افزایش پایداری در کشاورزی شناخته شده است. اهمیت تنوع زیستی در بوم‌نظام‌های زراعی فراتر از تولید مواد غذایی بوده و اثرات مثبتی نظیر گردش عناصر غذایی، مهار آفات، بیماری‌ها و گیاهان‌هرز دارد. هرچند در نگاه اول به گیاهان‌هرز به‌عنوان عامل خسارت‌زا و کاهش محصول مزارع نگریسته می‌شود، امّا وجود آن‌ها تا قبل از سطح آستانه اقتصادی می‌تواند ارائه‌دهنده خدمات متعددی باشد. برای داشتن اقلیم‌های متنوع، ابتدا باید تنوع در بوم‌نظام‌های کشاورزی وجود داشته باشد و پس از آن به خصوصیات خاک مربوط می‌شود که خود متأثر از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن می‌باشد (Well, 1982).

نتایج نشان داد که بیشترین میزان شاخص منهنیک در قطعات ۱۴ و ۲۳ به‌ترتیب با ۲/۴۵، ۲/۴۲ و کمترین میزان شاخص منهنیک برابر با ۲/۱۵ از قطعه ۲۲ به‌دست آمد. شاخص منهنیک رابطه بین تعداد گونه‌ها و تعداد افراد را نشان می‌دهد؛ هر چه سطح واحد نمونه‌برداری بیشتر باشد و هرچه تعداد گونه‌های وارد شده بیشتر باشد، مقدار این شاخص بیشتر خواهد بود (Mahmoudi et al., 2014; Meehan et al., 2011; Rusch et al., 2016).

جدول ۸- مقادیر شاخص‌های تنوع زیستی گیاهان هرز در قطعات گندم در دشت ناز ساری (استان مازندران)

Table 8– Values of weed biodiversity indices in wheat plots of Dasht-e Naz, Sari (Mazandaran province)

شماره قطعه Number of plot	شانون- واینر Shannon-Weiner	سیمپسون Simpson	یکنواختی Uniformity	مارگالف Margalef	منهنیک Menhinick
6	2.42	0.052	0.77	4.67	2.17
14	2.46	0.070	0.76	5.17	2.45
15	2.61	0.053	0.82	4.97	2.37
16	2.53	0.042	0.79	5.09	2.26
19	2.39	0.035	0.74	5.08	2.35
20	2.27	0.052	0.72	4.70	2.21
21	2.05	0.053	0.64	4.98	2.39
22	2.08	0.049	0.67	4.52	2.15
23	2.63	0.045	0.82	5.24	2.42
میانگین Mean	2.38	0.050	0.74	4.93	2.30

نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین میزان شاخص سیمپسون در مزارع گندم، به‌ترتیب۰/۰۷۰ و ۰/۰۵۳ از قطعات ۱۴، ۲۱ و ۱۵ به‌دست آمد و کمترین مقدار این شاخص (۰/۰۳۵) به قطعه ۱۹ تعلق داشت. اصولاً شاخص سیمپسون وضعیت تنوع زیستی یک

منطقه را تعیین می‌کند و همچنین احتمال انتخاب تصادفی دو نمونه از یک گونه را نشان می‌دهد. دامنه شاخص سیمپسون از ۰-۱ می‌باشد. هر چه نزدیک به یک باشد، تنوع زیستی زیاد و نزدیک به صفر بدون تنوع زیستی و یا از نظر تنوع زیستی فقیر است. بر اساس نتایج جدول ۸ بیشترین و کمترین میزان یکنواختی به‌ترتیب در قطعات ۲۳ و ۱۵ (۰/۸۲)، ۱۶ (۰/۷۹) و ۲۱ (۰/۶۴) به‌دست آمد. دامنه شاخص یکنواختی بین ۱-۰ می‌باشد که مقدار صفر جامعه‌ای با غالبیت یک گونه یا عدم تنوع را نشان می‌دهد و ۱ نشان‌دهنده جامعه‌ای است که در آن گونه‌ها فراوان می‌باشند.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که مدیریت زراعی و اجرای نظام کشاورزی فشرده، بر ارایه بسیاری از خدمات بوم‌سازگان در مزارع گندم در منطقه دشت ناز ساری تأثیرگذار بود، به‌طوری‌که این خدمات تحت تأثیر عواملی متعددی مانند رقم زراعی، تناوب زراعی، روش‌های خاکورزی و حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاهی قرار گرفتند. بیشترین عملکرد دانه و تولید اکسیژن از رقم کلکتور و بالاترین درصد پروتئین دانه از رقم احسان حاصل گردید. همچنین بیشترین میزان ترسیب کربن، ماده آلی، تنفس میکروبی، فراوانی کرم خاکی و میزان شاخص پایداری خاکدانه از قطعات ۱۴ و ۱۵ به‌دست آمد. به‌طور کلی، زمانی که کشاورزی فشرده با تغییرات آب و هوایی (بارندگی و دما) و کاهش تنوع زیستی همراه باشد، کاهش ارایه خدمات بوم‌سازگان از جمله خدمات تنظیمی و تأمینی حتمی است. بنابراین، اتخاذ روش‌های مدیریتی مناسب و همسو با طبیعت، می‌تواند به ارائه بیشتر خدمات در کشت‌بوم‌ها و به حفظ پایداری آن‌ها کمک نماید.

سپاسگزاری

از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به‌دلیل حمایت مالی از این پژوهش قدردانی به عمل می‌آید. همچنین از مدیر کشاورزی شرکت زراعی دشت ناز ساری آقای مهندس احسانی و کارشناسان محترم به‌ویژه آقای مهندس مصطفی بندگانی بابت پشتیبانی از اجرای این پژوهش سپاسگزاری می‌شود. از جناب آقای دکتر حمید ساکنین بابت کمک در شناسایی حشرات تشکر و قدردانی می‌گردد. همچنین از مدیریت و کارکنان پژوهشکده برنج و مرکبات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به‌ویژه آقای دکتر مصطفی حق پناه سپاسگزاری می‌گردد.

References

1. Alaru, M., Laur, U., & Jaama, E. (2003). Influence of nitrogen and weather conditions on the grain quality of winter triticale. *Agricultural Research*, *1*(1), 3-10.
2. Balzan, M.V., Pinheiro, A.M., Mascarenhas, A., Morán-Ordóñez, A., Ruiz-Frau, A., Carvalho-Santos, C., Vogiatzakis, I., Arends, J., Santana-Garcon, J., Roces-Díaz, J.V., Brotons, L., Campagne, C.S., Roche, P.K., Miguel, S., Targetti, S., Drakou, E.G., Vlami, V., Baró F., & Geijzendorffer, L.R. (2019). Improving ecosystem assessments in Mediterranean social-ecological systems: A DPSIR analysis. *Ecosystems and People*, 15: 136–155. DOI: https://doi.org/10.1080/26395916.2019.1598499
3. Barzegar, A. (2001). Advanced Soil Physics. First Edition, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran, Pp. 434. (In Persian)
4. Benton, T.G., Vickery, J.A., & Wilson, J.D. (2003). Farmland biodiversity: Is habitat heterogeneity the key? *TRENDS in Ecology and Evolution*, *18*, 182–188.
5. Bertrand, M., Barot, S., Blouin, M., Whalen, J., de Oliveira, T., & Roger-Estrade, J. (2015a). Earthworm services for cropping systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *35*, 553–567. DOI: https://doi:10.1007/s13593-014-0269-7 .
6. Beylich, A., Oberholzer, H.-R., Schrader, S., Höper, H., & Wilke, B.M. (2010). Evaluation of soil compaction effects on soil biota and soil biological processes in soils. *Soil and Tillage Research*, *109*, 133–143. DOI: https://doi:10.1016/j.still.2010.05.010
7. Bijl, D.L., Bogaart, P.W., Dekker, S.C., Stehfest, E., de Vries, B. J. M., & Van Vuuren, D.P. (2017). A physically-based model of long-term food demand. *Global Environmental Change*, *45*, 47–62. DOI: https://doi:10.1016/j.gloenvcha.2017.04.003
8. Blesh, J., & Drinkwater, L.E. (2013). The impact of nitrogen source and crop rotation on nitrogen mass balances in the Mississippi River Basin. *Ecological Society of America*, *23*(5), 1017–1035. DOI: https://doi:10.1890/12-

0132.1
9. Bojarszczuk, J., KsięŻak, J., & Gałązka, A. (2017). Soil respiration depending on different agricultural practices before maize sowing. *Plant, Soil and Environment*, *63*, 435–441. DOI: https://doi:10.17221/597/2017-PSE
10. Buchs, W. (2003). Biotic indicators for biodiversity and sustainable agriculture. Elsevier Science Ltd. pp. 560. Amsterdam. https://www.elsevier.com/books/biotic-indicators-for-biodiversity-and-sustainable-iculture/buchs/978-0-444-51551-3
11. Cao, S., Suo, X., Xia, C., Yu, Z., & Feng, F. (2020). Net value of forest ecosystem services in China. *Ecological Engineering*, 142: 1-7. DOI: https://doi:10. 1016/j. ecole ng. 2019. 105645
12. Chen, J., Yu, L., Yan, F., & Zhang, S. (2020). Ecosystem service loss in response to agricultural expansion in the small Sanjiang Plain, Northeast China: process, driver and management. *Sustainability*, *12*(2430), 2-14. DOI: https://doi:10. 3390/ su120 62430 .
13. Clark, M., &Tilman, D. (2017). Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. *Environmental Research Letters*, *12*(6), 1-11. DOI: https://doi:10.1088/1748-9326/aa6cd5
14. Cole, L.J., Kleijn, D., Dicks, L.V., Potts, S.G., Albrecht, M., Balzan, M.V., Bartomeous, I., Bebeli, P.J., Bevk, D., Biesmeijer, J.C., Chlebo, R., Dautartė, A., Emmanouil, N., Hartfield, Anželika Dautartė C., Holland, J.M., Holzschuh, A., Knoben, N.T.J., Kovács-Hostyánszki, A., Mandelik,Y., Panou, H., Paxton, R.J., Petanidou, T., Pinheiro de Carvalho, M.A.A, Rundlöf, M., Sarthou, J.P., Stavrinides, M.C., Suso, M.J., Szentgyörgyi, H., Vaissière, B.E., Varnava, A., Vilà, M., Zemeckis, R., & Scheper, J. (2020). A critical analysis of the potential for EU Common Agricultural Policy measures to support wild pollinators on farmland. *Journal of Applied Ecology*, *57*(4), 681-694. DOI: https://doi:10.1111/1365-2664.13572
15. Colman, C.B., Oliveira, P.T.S., Almagro, A., Soares-Filho, B.S., & Rodrigues, D.B. (2019). Effects of climate and land-cover changes on soil erosion in Brazilian pantanal. *Sustainability*, *11*(7053), 1-16. DOI: https://doi:10.3390/su11247053
16. Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Suttonkk, P., & Van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253–260.
17. Dainese, M., Martin, E.A., Aizen, M.A., Albrecht M, Bartomeus, I., & Bommarco, R. (2019). Aglobal synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *Science Advances*, *5*(0121), 1-13. https://doi: 10.1126/sciadv.aax0121
18. de Groot, R., Brander, L., Van der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., Christie, M., Crossman, N., Ghermandi, A., Hein, L., Hussain, S., Kumar, P., McVittie, A., Portela, R., Rodriguez, L.C., ten Brink, P., & van Beukering, P. (2012). Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, *1*, 50–61. DOI: https://doi:10.1016/j.ecoser.2012.07.005
19. Del Rio, T., Willemen, L., Vrieling, A., & Nelson, A. (2020). Understanding intra-annual dynamics of ecosystem services using satellite image time series. *Remote Sensing*, *12*(710), 1–19. DOI: https://doi:10. 3390/ rs120 40710 .
20. Drinkwater, L.E., Wagoner, P., & Sarrantonio, M. (1998). Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. *Nature*. 396, 262.
21. Dudley, N., & Alexander, S. (2017). Agriculture and biodiversity: A review. *Biodiversity*, 18, 45–9. DOI: https://doi:10.1080/14888386.2017.1351892
22. Duguma, M., Feyssa, D., & Biber-Freudenberger, L. (2019). Agricultural biodiversity and ecosystem services of major farming systems: a case study in Yayo Coffee Forest Biosphere Reserve. *Southwestern Ethiopia*, *Agriculture*, *9*(48), 1-26. DOI: https://doi:10. 3390/ agric ultur e9030 048
23. Duru, M., & Therond, O. (2015). Designing agroecological transitions: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 1237–1257. DOI: https://doi.org/10.1007/s13593-015-0318-x .
24. Edmeades, D.C. (2003). The long-term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: A review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *66*(2), 165–180. DOI: https://doi:10.1023/A:1023999816690
25. Imami, M.S., & Arbabi, M. (2005). Study of European red predatory insects in Semirom, Isfahan and biological study of Mulsant gilvifrons Stethorus in the laboratory. *Iranian Journal of Biology*, *18*(2), 157-116. (In Persian)
26. Isermeyer, H. (1952). Eine einfache method zur bestimmang der bodenatmung under carbonate im Boden. Z P Flanzenernaehr Bodenkd. 56: 26-38.

27. Fiebig, M., & Poehling, H. M. (1998). Hostplant selection and population dynamics of the grain aphid Sitobion avenae (F.) on wheat infected with Barley Yellow Dwarf Virus. *IOBC/WPRS Bulletin*, 21: 51-62.
28. Frazao, J., de Goede, R.G.M., Brussaard, L., Faber, J.H., Groot, J.C.J., & Pulleman, M.M. (2017). Earthworm communities in arable fields and restored field margins, as related to management practices and surrounding landscape diversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 248: 1–8. DOI: https://doi:10.1016/j.agee.2017.07.014.
29. Galhena, D.H., Freed, R., & Maredia, K.M. (2013). Home gardens: A promising approach to enhance household food security and wellbeing. *Agriculture and Food Security*, *2*(8), 1-13. DOI: https://doi:10.1186/2048-7010-2-8
30. Goldsmith, S., 2007. Density of long horned beetles (Coleoptera: Cerambycidae) differs at different elevations in Hawaiian montane forest. *The Southwestern Naturalist*, 52: 364-370. DOI: https://doi:10.1894/0038-4909(2007)52[364:DOLBCC]2.0.CO;2
31. Hajek, A.E. (2004). Natural enemies: An introduction to biological control. *Pest Management Science*, 61, 378. DOI: https://doi:10.1002/ps.1020
32. He, F., Shi, L.L., Tian, J.C., & Mei, L.J. (2021). Effects of long-term fertilisation on soil organic carbon sequestration after a 34-year rice-wheat rotation in Taihu Lake Basin. *Plant, Soil and Environment*, 67, 1–7. DOI: https://doi:10.17221/478/2020-PSE
33. Holland, J.M. (2004). The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: Reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 103, 1–25. DOI: https://doi:10.1016/j.agee.2003.12.018
34. IPBES, 2019. Global assessment report on Biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (Bonn) (https://ipbes. net/global-assessment-report-biodiversity-ecosystemservices) DOI: https://doi:10.5281/zenodo.3553579
35. Kemper, W.D., & Rosenau, R.C. (1986). Aggregate stability and size distribution. In A. Klute (ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA, Madison, WI. p. 425–442.
36. Kay, B.D. (2000). Soil Structure, in: *Handbook of Soil Science*, CRC Press, E. M. Sumner, (Ed.), USA: F.I., Boca Raton. p. 229–264.
37. Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., & Amin Ghafori, A. (2018). Economic evaluation of agroecosystem services of saffron in the Khorasan Razavi province. *Saffron Agronomy and Technology*, *6*(1), 73-89. (In Persian with English Summary)
38. Khosravi Mashizi, A., Heshmati, G.A., Salman Mahini, A.R., & Escobedo, F.J. (2019). Exploring management objectives and ecosystem service trade-offs in a semi-arid rangeland basin in southeast Iran. *Ecological Indicators*, 98, 794–803. DOI: https:// doi. org/ 10. 1016/j. ecoli nd. 2018. 11. 065
39. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Amin Ghafouri, A., Mahlojirad, M., & Fallahpour, F. (2017). Economic value of agroecosystem services within wheat fields in Khorasan Razavi province. *Journal of Agroecology*, *8*(4), 612-627. (In Persian with English Summary)
40. Kong, D., Liu, N., Wang, W., Akhtar, K., Li, N., Ren, G., Feng, Y., & Yang, G. (2019). Soil respiration from fields under three crop rotation treatments and three straw retention treatments. *PLoS One*, *14*(9), 1-2 DOI: https://doi:10.1371/journal.pone.0219253
41. Kremen, C., & Miles, A. (2012). Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: Benefits, externalities, and trade-offs. *Ecology and Society*, *17*(4), 40-65. DOI: https://doi:10.5751/ES-05035-170440
42. Lamarque, P., Meyfroidt, P., Nettier, B., & Lavorel, S. (2014). How ecosystem services knowledge and values influence farmers' decisionmaking. *PLoS One*, 9: 1-16. DOI: https://doi:10.1371/journal. pone.0107572 .
43. Lambin, E.F., & Meyfroidt, P. (2011). Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity Proc. *National Academy of Sciences*, *108*(9), 3465–3472. DOI: https://doi:10.1073/pnas.1100480108
44. Longato, D., Gaglio, M., Boschetti, M., & Gissi, E. (2019). Bioenergy and ecosystem services trade-offs and synergies in marginal agricultural lands: A remote-sensing-based assessment method. *Journal of Cleaner Production*, 237: 1-42. DOI: https://doi:10. 1016/j. jclep ro. 2019. 117672
45. Ma, S., Swinton, SM., & Lupi, F. (2012). Farmer's willingness to participate in paymentfor-environmental-services programmes. *Journal of Agricultural Economics*, *63*(3), 604–626. DOI: https:// doi.org/10.1111/j.1477-9552.2012.00358.x
46. Maeder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., & Niggli, U. (2002). Soil fertility and biodiversity in

organic farming. *Science*, 296: 1694–1697. DOI: https://doi: 10.1126/science.1071148 .
47. Mada, D., Duniya, N., & Adams, I.G. (2013). Effect of continuous application of herbicide on soil and environment with crop protection machinery in Southern Adamawa state. *International Journal of Engineering Science*, *2*(6), 4-9.
48. Meeran, M., Fathima, S., Priya, S., Arivoli, S., & Tennyson, S. (2021). Assessment of insect diversity in paddy fields of Uthamapalayam, Theni district, Tamil Nadu, India. *Journal of Wildlife and Biodiversity*, *5*(2), 88-98. DOI: https://doi:10.22120/jwb.2020.135814.1183
49. Moushani, S., Kazemi, H., Hermann Klug, H., Asadi, M.E., & Soltani, A. (2021). Ecosystem service mapping in soybean agroecosystems. *Ecological Indicators*,121, 1-12. DOI: https://doi:10.1016/j.ecolind.2020.107061
50. Mujib Haqqadam, Z., Jalali Sandi, J., Sadeghi, S.A., & Yousefpour, M. (2009). Introduction of *Oenopia conglobata* (L.) as a predator of elm aphid Tinocallis Nevsky in Guilan province and its biological study in laboratory conditions. *Iranian Journal of Biology*, *22*(2), 370-363. (In Persian with English Summary)
51. Magurran, A.E. (1988). *Ecological Diversity and its Measurements*, New Jersey, NJ: Princeton University Press. pp. 179. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-015-7358-0
52. Mahmoudi, Q., Jafari, L., & Khorram Del, S. (2014). Evaluation of ecological indicators of dill weed diversity under the influence of planting date and weed control stage. First International Congress, 13th National Congress of Crop Science and Plant Breeding, and 3rd Conference on Seed Technology. pp. 1-5.
53. Marshall, E.J.P., Brown, V.K., Boatman, N.D., Lutman, P.J.W., Squire, G.R., & Ward, L.K. (2003). The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Research*, 43, 77-89. DOI: https://doi:10.1046/j.1365-3180.2003.00326.x
54. Meehan, T.D., Werling, B.P., Landis, D.A., & Gratton, C. (2011). Agricultural landscape simplification and insecticide use in the Midwestern United States. *PNAS* 108: 11500–11505. DOI: https://doi:10.1073/pnas.1100751108 .
55. Méral, P., & Pesche, D. (2016). Les services écosystémiques. Repenser les relations nature et société. Versailles: Quae, 304 p. (Nature et Société). DOI: https://doi:10.35690/978-2-7592-2470-8
56. MEA, (Millennium Ecosystem Assessment). (2003). *Ecosystems and Human wellbeing: A Framework for Assessment.* World Resources Institute, Washington, D.C.pp. 266.
57. MEA. (2005). *Ecosystems and human well-being*, 1st Ed. Washington: Island Press. 64 p.
58. Merrill, S.D., Tanaka, D.L., Krupinsky, J.M., Liebig, M.A., & Hanson, J.D. (2007). Soil water depletion and recharge under ten crop species and applications to the principles of dynamic cropping systems. *Agronomy Journal*, *99*(4), 931–938. DOI: https://doi:10.2134/agronj2006.0134s
59. Menhinick, E.F. (1964). A comparison of some species-individuals diversity indices applied to samples of field insects. *Ecology*. 45(4), 859-861. DOI: https://doi:10.2307/1934933
60. Mertz, O., Wadley, R.l., Christensen, A.E. (2005). Local land use strategies in a globalizing world: Subsistence farming, cash crops and income diversification. *Agricultural Systems*, 85, 209–215.
61. McDaniel, M.D., Tiemann, L.K., & Grandy, A.S. (2014). Does agricultural crop diversity enhance soil microbial biomass and organic matter dynamics? A meta-analysis. *Ecological Applications*, *24*(3), 560-70. DOI: https://doi: 10.1890/13-0616.1.
62. Morán-Ordóñez, A., Whitehead, A.L., Luck., G.W., Cook, G.D., Maggini, R., Fitzsimons, J.A., & Wintle, B.A. (2017). Analysis of trade-offs between biodiversity, carbon farming and agricultural development in northern Australia reveals the benefits of strategic planning. *Conservation Letters*, *10*(1), 94–104. DOI: https://doi: 10.1111/conl.12255
63. Nieto-Romero, M., Oteros-Rozas, E., González, J.A., & Martín-López, B. (2014). Exploring the knowledge landscape of ecosystem services assessments in Mediterranean agroecosystems: Insights for future research. *Environmental Science and Policy*, 37, 121-133. DOI: https://doi:10.1016/j.envsci.2013.09.003
64. Obrycki, J.J., & Orr, C.J. (1990). Suitability of three species for nearctic population of Coccinella septempunctata, Hippodamia variegata, and Propylea quatuordecimpunctata. Journal of Economic *Entomology*, *83*(4), 1292-1297. DOI: https://doi: 10.1093/jee/83.4.1292
65. Palomo, I., Felipe-Lucia, M.R., Bennett, E.M., Martín-López, B., & Pascual, U. (2016). Disentangling the pathways and effects of ecosystem service co-production. *Advances in Ecological Research*, 54, 245–283. DOI: https://doi:10.1016/bs.aecr.2015.09.003

66. Paustian, K., Collins, H.P., & Paul, E.A. (1997). Management controls on soil carbon. In: Paul, E.A., Paustian, K., Elliott, E.T. and Cole, C.V., Eds., *Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems Long-Term Experiments in North America*, CRC Press, New York, pp. 15-49.
67. Pelosi, C., Barot, S., Capowiez, Y., Hedde, M., & Vandenbulcke, F. (2014). Pesticides and earthworms. A review. *Agronomy for Sustainable Development*,34, 199–228. DOI: https://doi:10.1007/ s13593-013-0151-z .
68. Pielou, E.C. (1934). *The life forms of plants and statistical plant geography*, Oxford: Clarendon Press.pp. 632.
69. Pimentel, D., & Wheeler, A.G. (1973). Species and diversity of arthropods in the alfalfa community. *Environmental Entomology*, *2*(4), 659-668. DOI: https://doi:10.1093/ee/2.4.659
70. Pinheiro, E.F.M., Pereira, M.G., & Anjos, L.H.C. (2004). Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. *Soil and Tillage Research*, 77, 19–84. DOI: https://doi:10.1016/j.still.2003.11.005
71. Potapov, P., Hansen, M. C, Laestadius, L., Turubanova, S., Yaroshenko, A., Thies, C., Smith, W., Zhuravleva, I., Komarova, A., & Minnemeyer, S. (2017). The last frontiers of wilderness: Tracking loss of intact forest landscapes from 2000 to 2013. *Science Advance*, *3*(1), 1-13. DOI: https://doi:10.1126/sciadv.1600821
72. Prokopyeva, K., Romanenkov, V., Sidorenkova, N., Pavlova, V., Siptits, S., & Krasilnikov, P. (2021). The Effect of crop rotation and cultivation history on predicted carbon sequestration in soils of two experimental fields in the Moscow region, Russia. *Agronomy*, *11*(226), 1-20. DOI: https://doi:10.3390/ agronomy11020226
73. Qi, Y.C., Wang, Y.Q., Liu, J., Yu, X.S., & Zhou, C.J. (2011). Comparative study on composition of soil aggregates with different land use patterns and several kinds of soil aggregate stability index. *Trans CSAE*. 27, 340–347.
74. Rezaei, M., Talebi Jahromi, K., Kharazi Pakdel, A., & Heydari, H. (2004). Side effects of three pesticides on the eggs of *Chrysoperla carnea* (Stephen.) Neuroptera: Chrysopidae). *Iranian Plant Protection Congress*. p. 206. (In Persian)
75. Rogan, M. (2018). Food poverty, hunger and household production in rural Eastern Cape households. *Development Southern Africa*. 35, 90–104.
76. Rosina, K., Acquah, L.D., Henaku, O.E., Sigismund, A.R., & Ntiamoa, B.Y. (2014). Insect diversity of the Muni-Pomadze Ramsar site: An important site for biodiversity conservation in Ghana. *Journal of Insects*, 1, 1-11. DOI: https://doi:10.1155/2014/985684
77. Roucoux, K.H., Lawson, I.T., Baker, T.R., Del Castillo Torres, D., Draper, F.C., Lähteenoja, O., Gilmore, M.P., Honorio Coronado, E.N., Kelly, T.J., & Mitchard, E.T.A. (2017). Threats to intact tropical peatlands and opportunities for their conservation. *Conservation Biology*, *31* (12): 83–92. DOI: https://doi:10.1111/cobi.12925
78. Rusch, A., Chaplin-Kramer, R., Gardiner, M., & Hawro, V. (2016). Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: A quantitative synthesis. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 221, 198–204. DOI: https://doi: 10.1016/j.agee.2016.01.039
79. Rutgers, M., Orgiazzi, A., Gardi, C., Römbke, J., Jänsch, S., Keith, A.M., Neilson, R., Boag, B., Schmidt, O., Murchie, A.K., Blackshaw, R.P., Pérès, G., Cluzeau, D., Guernion, M., Briones, M.J.I., Rodeiro, J., Piñeiro, R., Díaz Cosín, D.J., Sousa, J.P., Suhadolc, M., Kos, I., Krogh, P.H., Faber, J.H., Mulder, C., Bogte, J.J., van Wijnen, H.J., Schouten, A.J., & de Zwart, D. (2016). Mapping earthworm communities in Europe. *Applied Soil Ecology*, 97: 98–111. DOI: https://doi:10.1016/j.apsoil.2015.08.015.
80. Therond, O., Duru, M., Roger-Estrade, J., Richard, G. (2017). A new analytical framework of farming system and agriculture model diversities. A review. *Agronomy for Sustainaible Development*, 37: 21. https://doi.org/10.1007/s13593-017-0429-7.
81. Thornes, J. (2010). Atmospheric services. In: Hester RE, Harrison RM (eds) *Ecosystem service*. The Royal Society of Chemistry Publishing, England Atmospheric Services, pp 70–104
82. Tixier, P., Peyrard, N., Aubertot, J.N., Gaba, S., Radoszycki, J., & Caron-Lormier, G. (2013). Modelling interaction networks for enhanced ecosystem services in agroecosystems. *Advances in Ecological Research*, 49: 437–480. DOI: https://doi:10.1016/B978-0-12-420002-9.00007-X.
83. Sanderman, J., Hengl, T., & Fiske, G.J. (2017). Soil carbon debt of 12000 years of human land use Proc. *National Academy of Sciences*, 114: 9575–9580. DOI: https://doi:10.1073/pnas.1706103114
84. Savopoulous, S.M., Papadopoulos, N.T., Panagiotis, M., & Pascal, M. (2012). Abiotic factors and insect abundance. Psyche. A *Journal of Entomology*, 1: 1-2. DOI: https://doi:10.1155/2012/167420
85. Seifert, C.A., Michael, J.R., & Lobell, D.B., 2017. Continuous Corn and Soybean Yield Penalties across Hundreds

of Thousands of Fields. *Agronomy Journal*, *109*(2), 541-548. DOI: https://doi:10.2134/agronj2016.03.0134
86. Scow, K.M. (1997). Soil microbial communities and carbon flow in agro ecosystems. In: Jackson LT, editor. *Ecology in agriculture*. San Diego, CA: Academic Press pp. 367-413.
87. Shannon, C. E., & Weiner, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. University Illinois Press, Urbana, IL: The University of Illinois Press. pp. 1-117
88. Simpson, E. H. (1949). Measurement of diversity. *Nature*. 163:688. https://doi:10.1038/163688a0
89. Six, J., Elliott, E. T., & Paustian, K. (2000). Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry*, *32*(14): 2099–2103. DOI: https://doi:10.1016/S0038-0717(00)00179-6
90. Stary, P. (1999). *Aphid Parasitoides of Centeral Asian Area*,Pub. House of Czech.144 pp.
91. Stelzl, M., & Devetak, D. (1999). Neuroptera in Agricultural ecosystem. *Agriculture, Ecosystem and Environment*,74:305-321.
92. Strong, D.R., Lawton, J.H., & Southwood, R. (1984). *Insects on Plants: Community Patterns and Mechanisms*, Blackwell Scientific Publications, Oxford.
93. Su, F. L., Zhao, G. H., Wang, T. L., Li, H. F., & Li, Y. M. (2017). Characteristics of surface soil macro aggregates under different land use patterns. *Pratacultural Science*, 34: 924–931
94. Sun, Q., Qi, W., & Yu, X. (2021). Impacts of land use change on ecosystem services in the intensive agricultural area of North China based on Multi-scenario analysis. *Alexandria Engineering Journal*, *60*(1):1703–1716. DOI: https://doi:10. 1016/J. AEJ. 2020. 11. 020
95. Thornes, J. (2010). Atmospheric Services. In: Hester, R.E., Harrison, R.M. (Eds.), *Ecosystem service*, The Royal Society of Chemistry Publishing, England Atmospheric Services. pp. 70–104.
96. Walkley, A., & Black, I.A. (1934). Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37: 29-38.
97. Well, R.R. (1982). Maize-weed competition and soil erosion in unweeded maize. *Tropical Agriculture*, 59: 207-213.
98. West, T.O., & Post, W.M. (2002). Soil organic carbon by tillage and crop rotation: A global data analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 66(6),1930-1946. DOI: https://doi:10.2136/sssaj2002.1930
99. William, F. L., (2002). *Lady beetles*. Ohio State University Extension Fact Sheet, Horticulture and Crop Science. Division of Wildlife, 2021 Coffey Rd. Columbus, Ohio-43210-1086
100. Wossink, A., & Swinton, S.M. (2007). Jointness in production and farmers' willingness to supply non-marketed ecosystem services. *Ecological Economics*, *64*(2),297-304. DOI: https://doi:10.1016/j.ecolecon.2007.07.003
101. Valizadeh, M., & Moghadam, M. (2002). *Experimental Designs in Agriculture*, Prior Publications.pp. 468.
102. Van Capelle, C., Schrader, S., & Brunotte, J. (2012). Tillage-induced changes in the functional diversity of soil biota – a review with a focus on German data. *European Journal of Soil Biology*, 50: 165–181. DOI: https://doi:10.1016/j.ejsobi.2012.02.005
103. Van Driesche, R. G., & Bellows, T. S. (1996). Biological Control. Chapman & Hall, New York.pp. 539.
104. Van Groeningen, J.W., Lubbers, I.M., Vos, H.M.J., Brown, G.G., De Deyn, G.B., & van Groeningen, K.J. (2014). Earthworms increase plant production: a meta-analysis. *Scientific Reports*, 4: 63-65. DOI: https://doi: 10.1038/srep06365
105. Vargas, L. E. P., Laurance, W. F., Clements, G. R., & Edwards, W. (2015). The impacts of oil palm agriculture on Colombia’s biodiversity: what we know and still need to know. *Tropical Conservation Science*, *8* (3): 828-845 DOI: https://doi:10.1177%2F194008291500800317
106. Wolda, H., & Fisk, F.W. (1981). Seasonality of tropical insects. II. Blattaria in Panama. *Journal of Animal Ecology*, 50: 827-838. DOI: https://doi:10.2307/4140
107. Xu, Q., Chen, Q., Zhao, S., Liu, K., & Ma, J. (2018). Saving water and associated energy from distribution networks by considering landscape factors in pressure management and use of district metered areas. *Journal of Environmental Informatal*, *31*(1), 65–73. DOI: https://doi:10.3808/jei.201700361
108. Xu, SQ., Zhang, M.Y., Zhang, H.L., Chen, F., Yang, G.L., & Xiang, X.P. (2013). Soil organic carbon stocks as affected by tillage systems in a double-cropped rice field. *Pedosphere*, *23*(5), 696–704. DOI: https://doi:10.1016/S1002-0160(13)60062-4
109. Yang, Y., Wang, K., Liu, D., Zhao, X., & Fan, J. (2020). Effects of land-use conversions on the ecosystem services

in the agro-pastoral ecotone of Northern China. *Journal of Cleaner Production*, 249, 119360. DOI: https://doi:10. 1016/j. jclep ro. 2019. 119360
110. Zhang, W., Ricketts, T., Kremen, C., Carney, K., & Swinton, S. (2007). Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological Economics*, *64*(2), 253–260. DOI: https://doi:10.1016/j.ecole con.2007.02.024
111. Zhang, X.F., Zhu, A.N., & Zhang, J.B. (2015). The long-term effect research of various tillage managements on the soil aggregates and organic carbon in Fluvo-Aquic Scientific Reports. 48: 4639–4648. DOI: https://doi:10.1038/s41598-019-57193-1
112. Zhang, P., Huang, G., An, C., Fu, H., Gao, P., Yao, Y., & Chen, X. (2019). An integrated gravity-driven ecological bed for wastewater treatment in subtropical regions: Process design, performance analysis, and greenhouse gas emissions assessment. *Journal of Cleaner Production*, 212: 1143–1153. DOI: https://doi:10.1016/j.jclepro.2018.12.027
113. Zhong, L., Wang, J., Zhang, X., & Ying, L. (2020). Effects of agricultural land consolidation on ecosystem services: trade-offs and synergies. *Journal of Cleaner Production*, 264: 1-11. DOI: https://doi:10.1016/j.jclep ro.2020.121412

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

CC BY

Research Article
Vol. 15, No. 2, Summer 2023, p. 301-317

Estimation of the Yield of Some Rainfed Crops in the Present Irrigated Lands of Iran

Safora Jafar Nodeh[1], Afshin Soltani[2*], Ramtin Joolaei[3], Shahrzad Mirkarimi[3] and Ebrahim Zeinali[2]

Received: 08-07-2021 Revised: 19-01-2022 Accepted: 24-01-2022 Available Online: 24-01-2022	**How to cite this article:** Koocheki, A. (2023). Estimation of the yield of some rainfed crops in the present irrigated lands and orchards of Iran. Journal of Agroecology, *15*(2), 301-317. DOI: 10.22067/agry.2022.71149.1052

Introduction

The occurrence of drought and reduced rainfall in the future will limit the cultivation of irrigated crops. Thus, it is probable that a part of the present irrigated lands and orchards of Iran may be unavailable for the cultivation of irrigated crops, but it is possible to cultivate rainfed crops in these lands. However, the available potential for cultivation of rainfed crops with respect to the soil type, climate and other factors is not known. Limited water resources, on the one hand, and the growing population along with increasing the need to produce food, on the other, make it necessary to have a comprehensive, practical and accurate program. Therefore, research on this issue is essential. In this study, production potential of rainfed wheat (*Triticum aestivum*), barley (*Hordeum vulgare* L.), chickpea (*Cicer arietinum* L.), lentil (*Lens culinaris* Medik) and canola (*Brassica napus*) in irrigated lands (fields and orchards) was modeled.

.

Materials and Methods

Weather stations (position and distribution), long-term weather data (15 to 30 years), HC27 soil map, and crop management data plant parameters were used to determine the yield in this study using the SSM-iCrop2 model. In each zone, the yield was determined and compared with the actual data. In other words, the model output was compared with the actual current rainfed yields of each province, and then it was determined that whether the model precision was sufficient for this study. Other calculations (determining the average yield of provinces) and generation of maps were done using ArcGIS V.10.2. The yield obtained by farmers in these lands was considered 50 and 70 percent of yield potential. Also, the yields were categorized into four classes of excellent, good, medium, and non-suitable. This classification is based on economics- the agronomic profit of crop harvest.

Results and Discussion

This study showed that the conditions of rainfed production in each province of the country is suitable/appropriate for some crops and unsuitable/inappropriate for other. In case the yield of farmers reached 70 percent of yield potential by optimum management, all provinces will be classified into the upper average group (3, 18 and 10 provinces in excellent, good and medium groups) for wheat. For barley 30 (3, 10 and 17 provinces in excellent, good and medium groups), for chickpea 30 (3, 6 and 21 provinces in excellent, good and

---

1-Ph.D. Student of Agroecology, Department of Agroecology, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran
2-Professor and Associate Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, respectively.
3-Associate Professor and Assistant Professor, Department of Economics, Faculty of Agricultural Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, respectively.
(*- Corresponding author's Email: Afshin.soltani@gmail.com)

medium groups), for lentil 31 (13 and 18 and 10 provinces in good and medium groups) and for canola 30 (4, 5 and 21 provinces in excellent, good and medium groups) provinces will be placed in the upper average group. Based on 70 percent of yield potential of canola, barley and chickpea, only on province is placed in non-suitable group. On the other hand, in case the yield of farmers reaches 50 percent of yield potential due to improper management, for wheat 30 (2, 2 and 26 provinces in excellent, good and medium groups), for barley 28 (4 and 24 provinces in good and medium groups), for chickpea 18 (4 and 14 provinces in good and medium groups), for lentil 28 (3 and 10 provinces in good and medium groups) and for canola 25 (5 and 20 provinces in good and medium groups) will be classified into the upper average group. Based on 50 percent of yield potential of rainfed wheat, barley, canola, chickpea and lentil, 1, 3, 6, 13 and 3 provinces were placed in non-suitable group, respectively.

Conclusion

According to the results of this study, a major part of the provinces will be placed in medium and non-suitable groups in case of improper management, and agricultural production will not satisfy the country's needs. Therefore, it is necessary to pay special attention to the agronomic management of rainfed crops, as the country's agricultural production will not be accepted unless 70 percent of yield potential is achieved.

Keywords: Attainable yield, Cereals, GYGA protocol, Modeling, Pulses

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

مقاله پژوهشی
جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱٤۰۲، ص ۳۱۷-۳۰۱

برآورد عملکرد برخی از محصولات زراعی دیم در اراضی آبی زراعی و باغی فعلی کشور

صفورا جافر نوده[1]، افشین سلطانی[2]*، رامتین جولایی[3]، شهرزاد میرکریمی[3] و ابراهیم زینلی[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۰۴

چکیده

با توجه به وقوع کم‌آبی در آینده، احتمال می‌رود بخشی از زمین‌های آبی و باغی فعلی کشور، امکان کشت محصولات آبی را نداشته باشند، ولی احتمال دارد بتوان در این اراضی تولیدات دیم به‌عمل آورد. امّا این که با توجه به نوع خاک و اقلیم چه پتانسیلی برای کشت محصولات دیم وجود دارد، نامشخص است. بنابراین، در این مطالعه پتانسیل تولید محصولات گندم (*Triticum aestivum*)، جو (*Hordeum vulgare* L.)، نخود (*Cicer arietinum* L.)، عدس (*Lens culinaris* Medik) و کلزا (*Brassica napus*) به‌صورت کشت دیم در اراضی آبی (زراعی و باغی) فعلی مدل-سازی شد. برای تعیین عملکرد از مدل SSM-iCrop2 و برای رسم نقشه‌ها از ArcGIS استفاده شد. عملکرد کشاورزان در این اراضی به دو صورت ۵۰ و ۷۰ درصد پتانسیل عملکرد در نظر گرفته شد. همچنین عملکردهای حاصله به چهار گروه عالی، خوب، متوسط و نامناسب طبقه‌بندی شدند. این طبقه‌بندی بر اساس صرفه اقتصادی – زراعی برای برداشت محصول می‌باشد. چنانچه با مدیریت مطلوب عملکرد کشاورزان به ۷۰ درصد پتانسیل برسد برای گندم دیم همه استان‌ها در گروه متوسط به بالا (۳، ۱۸ و ۱۰ استان در گروه عالی، خوب و متوسط) قرار می‌گیرند، برای جو دیم ۳۰ (۳، ۱۰ و ۱۷ استان در گروه عالی، خوب و متوسط) و نخود دیم ۳۰ (۳، ۶ و ۲۱ استان در گروه عالی، خوب و متوسط)، عدس دیم ۳۱ (۱۳ و ۱۸ استان در وضعیت خوب و متوسط) کلزا ۳۰ استان (۴، ۵ و ۲۱ استان در گروه عالی، خوب و متوسط) در گروه متوسط به بالا قرار خواهند گرفت. بر اساس ۷۰ درصد پتانسیل عملکرد کلزا، جو و نخود فقط یک استان در گروه نامناسب قرار گرفته است. از طرفی، اگر با مدیریت نامناسب، عملکرد کشاورزان به ۵۰ درصد عملکرد پتانسیل برسد برای گندم دیم ۳۰ (۲، ۲ و ۲۶ استان در گروه عالی، خوب و متوسط)، برای جو دیم ۲۸ (۴ و ۲۴ استان در گروه خوب و متوسط) و نخود دیم ۱۸ (۴ و ۱۴ استان در گروه خوب و متوسط)، عدس دیم ۲۸ (۳ و ۲۵ استان در وضعیت خوب و متوسط) کلزا ۲۵ استان (۵ و ۲۰ استان در گروه خوب و متوسط) در گروه متوسط به بالا قرار خواهند گرفت. بر اساس ۵۰ درصد پتانسیل عملکرد گندم، جو، کلزا، نخود و عدس دیم به‌ترتیب ۱، ۳، ۶، ۱۳ و ۳ استان در گروه نامناسب قرار گرفتند. طبق نتایج این مطالعه، در صورتی‌که مدیریت نامناسبی صورت گیرد، بخش عمده‌ای از استان‌های کشور از نظر عملکرد در گروه متوسط و نامناسب قرار خواهند گرفت و تولیدات کشاورزی پاسخگوی نیاز کشور نخواهد بود. بنابراین، لازم است برای کشت محصولات دیم به مدیریت‌های زراعی توجه ویژه‌ای اختصاص یابد، زیرا تنها در صورتی که ۷۰ درصد پتانسیل عملکرد حاصل شود، تولیدات کشاورزی کشور در وضعیت قابل قبولی قرار خواهد گرفت.

واژه‌های کلیدی: پروتکل گیگا، حبوبات، عملکرد قابل دستیابی، غلات، مدل‌سازی

مقدمه

طبق برآورد وزارت نیرو، سطح مجاز (پایدار) برداشت آب برای

۱- دانشجوی دکترای زراعت، گروه اگرواکولوژی، دانشکده تولید گیاهی،دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۲- به‌ترتیب استاد و دانشیار، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۳- به‌ترتیب دانشیار و استادیار، گروه اقتصاد، دانشکده مدیریت کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: Afshin.soltani@gmail.com)
DOI: 10.22067/agry.2022.71149.1052

مصارف کشاورزی ۶۱/۷ میلیارد مترمکعب در سال است (ABFA, 2018) و حدود ۲۴ میلیارد مترمکعب در سال اضافه برداشت آب در کشاورزی وجود دارد، به‌دلیل توسعه بیش از حد کشت محصولات آبی، برآورد اضافه برداشت آب حتی از استانداردهای شناخته شده بین‌المللی بیش‌تر است(Fader et al., 2013). در گزارش‌های اخیر، آب تجدیدپذیر، سالانه در حدود ۱۰۰ تا ۱۱۰ میلیارد مترمکعب کاهش یافته و اختصاص پایدار آن از منظر زیست‌محیطی ۴۰ درصد اعلام شده است (Soltani et al., 2019). میزان اضافه برداشت آب با توجه به میزان تغذیه (۳۹/۶ میلیارد مترمکعب) و تخلیه آب‌های زیر زمینی (۴۹/۳ میلیارد مترمکعب) ۱۰ میلیارد مترمکعب برای مصارف کشاورزی می‌باشد. همچنین حجم بارش در دوره کوتاه‌مدت (۵۴±۳۳۴ میلیارد مترمکعب) نسبت به دوره ۵۰ ساله (۸۶±۴۰۳ میلیارد مترمکعب) با کاهش ۱۷ درصدی همراه بوده است (Nasseri et al., 2017). بنابراین، جهت آبیاری محصولات آبی، کمبود آب وجود دارد. کل اراضی قابل کشت کشور ۱۴/۳ میلیون هکتار شامل ۵/۹ میلیون هکتار اراضی دیم و ۸/۴۱ میلیون هکتار آن اراضی آبی می‌باشد و بیش از ۹۰ درصد محصولات زراعی فعلی در ایران از اراضی آبی برداشت می‌شود (Soltani et al., 2020a) که ۲۰ درصد بیش‌تر از میانگین جهانی (Keating et al., 2014) است و نشان می‌دهد، کشاورزی در ایران به‌شدت به آبیاری وابسته است. در شرایط کمبود آب انتظار می‌رود با مدیریت فعلی میزان تولیدات گیاهی از ۱۰۳ میلیون تن به ۶۱ میلیون تن کاهش یابد. درحالی‌که پیش‌بینی می‌شود، جمعیت کشور تا سال ۲۰۳۰ از ۸۹ میلیون نفر عبور خواهد کرد (WPP, 2017). لذا تهیه غذای کافی برای مردم یک چالش اساسی است، از طرفی، بهره‌برداری از منابع آب و زمین قبلاً انجام شده و از مرزهای پایدار عبور کرده است (Soltani et al., 2020b).

با توجه به کمبود آب و کاهش بارندگی‌ها، انتظار می‌رود در آینده امکان کشت محصولات آبی، در اراضی آبی و باغی فعلی کشور (که متکی بر آبیاری است) کاهش خواهد یافت، لذا دو حالت رخ می‌دهد؛ ۱- یا به اجبار آن زمین‌ها به‌صورت بایر می‌ماند (غیر قابل کشت رها می‌شود) و ۲- یا به اراضی دیم و کشت محصولات دیم اختصاص داده می‌شود. در حالت دوم، شناسایی توان تولید یا پتانسیل عملکرد در شرایط دیم به‌عنوان تابعی از عوامل اقلیم و خاک (ویژگی‌های رطوبتی) جهت کشت در اراضی این مناطق ضروری است.

ضروری است با افزایش دانش کشاورزی و اعمال مدیریت صحیح (سازگاری با شرایط کم‌آبی)، تولید در واحد سطح افزایش یابد، با توجه به اینکه آب برای کشت همه زمین‌های زراعی وجود ندارد، ضروری است از آب‌های موجود حداکثر استفاده را نموده و احتیاجات سالانه کشور را تأمین کرد. یکی از راه‌های سازگاری با شرایط کمبود آب، کاهش سطح زیر کشت محصولات آبی و توسعه دیم‌کاری است. با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته و شیوه‌های صحیح دیم‌کاری می‌توان تولیدات کشاورزی را تا حد قابل ملاحظه‌ای افزایش داد (MohammadiNasab, 2019).

با توجه به اینکه عملکرد زراعت دیم نسبت به زراعت آبی از هر سال به سال دیگر، و از مکانی به مکانی دیگر به‌شدت متغیر است، این موضوع نشان می‌دهد آب و هوا عامل اصلی در تغییرات عملکرد است (Lashkari & Bannayan, 2013; Alexandrov & Hoogenboom, 2000). به‌همین علت از عوامل موفقیت تولید محصول در نظام کشت دیم شناخت شرایط مکانی، محیطی و اقلیمی است. در این گونه مطالعات لازم است اثرات اقلیم در تولید محصول ارزیابی گردد (Ghaffari et al., 2015). شاخص‌ها و متغیرهای هواشناسی متناسب با نوع گونه، مراحل رشد و فنولوژی و منطقه تحقیق همواره بخش مهمی از عملکرد و تولید محصولات کشاورزی را توضیح می‌دهند (Bazgeer et al., 2008). با شناسایی نیازهای بوم‌شناختی و همچنین محدودیت‌ها و توانمندی‌های محیطی، می‌توان به عملکرد بیش‌تر و پایدار در واحد سطح همراه با حفظ منابع دست یافت (Kamali et al., 2010). مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی این امکان را برای این گونه مطالعات فراهم کرده است. مدل‌سازی گیاهان علاوه‌بر کاهش هزینه و زمان مورد نیاز برای انجام مطالعات مزرعه‌ای، به‌عنوان مفیدترین ابزار برای برآورد پتانسیل عملکرد در نظر گرفته شده و امکان ارزیابی اثرات متقابل اقلیم، خاک، رقم و مدیریت زراعی بر رشد و نمو گیاه را فراهم می‌کند (Grassini et al., 2015; Soltani, 2009).

در این مطالعه با استفاده از مدل SSM-iCrop2 عملکرد گیاهان زراعی کلزا (*Brassica napus*)، جو (*Hordeum vulgare* L.)، گندم (*Triticum aestivum*)، نخود (*Cicer arietinum* L.) و عدس دیم (*Lens culinaris* Medik) در اراضی آبی و باغی فعلی کشور با توجه به نوع خاک و اقلیم این اراضی شبیه‌سازی شد و سپس عملکرد گیاهان مورد ارزیابی کیفی قرار گرفت. با نتایج حاصل از این مطالعه پی خواهیم برد، در آینده برای اراضی آبی و باغی، چه درصدی از استان‌های کشور در وضعیت عالی، خوب، متوسط و نامناسب قرار خواهد گرفت. این طبقه‌بندی‌ها در دو سطح عملکرد قابل دستیابی ۷۰ و ۵۰ درصد ارزیابی شد، بنابراین به‌نوعی تأثیر عوامل مدیریتی نیز بررسی شد.

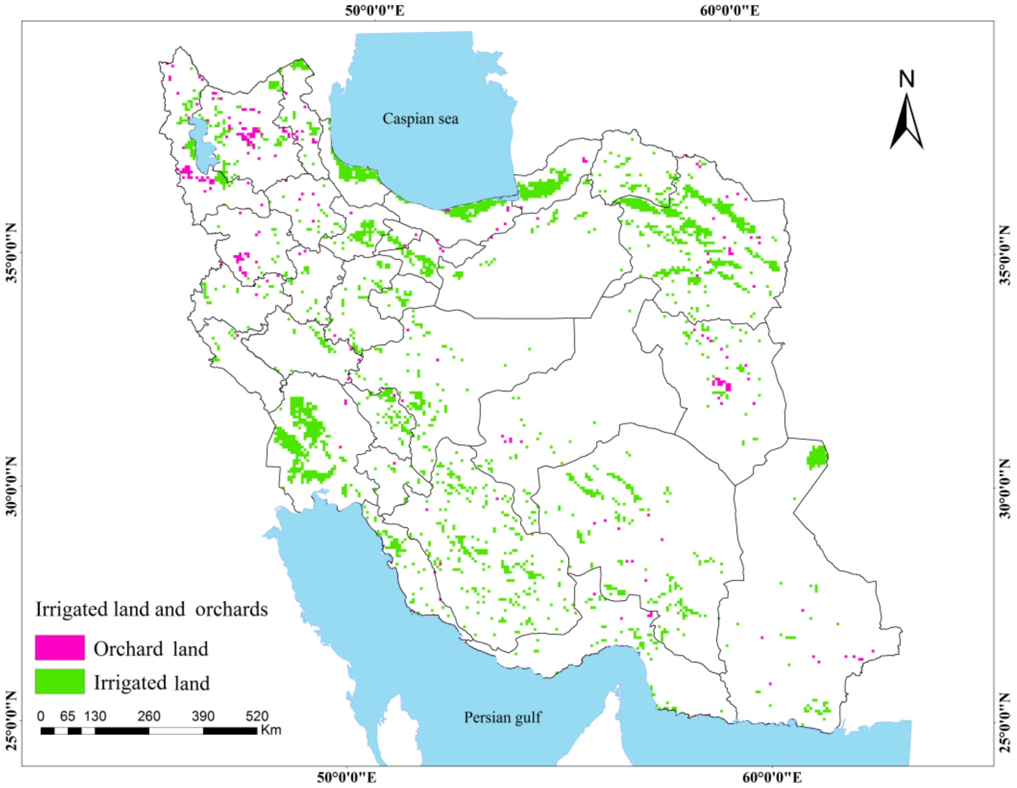
مواد و روش‌ها

در این مطالعه، عملکرد محصولات گندم، جو، عدس، نخود و کلزا به‌صورت کشت دیم در اراضی باغی و آبی کشور بررسی شد. یکی از دلایل انتخاب این محصولات، کشت پائیزه آن و وابستگی به مقادیر بارش می‌باشد. با توجه به بارندگی اندک در تابستان در بخش اعظم کشور، کشت دیم گیاهان تابستانی مثل ذرت بررسی نشد.

در ابتدا نقشه اراضی آبی و باغی کشور (به تفکیک استان) تهیه (شکل ۱)، و سپس اقلیم و ایستگاه‌های هواشناسی هر پهنه مشخص شد (شکل ۲). برای تعیین اقلیم از روش GYGA که ترکیبی از روش‌های پهنه‌بندی است، استفاده شد. این روش پهنه‌های اقلیمی با حداقل غیریکنواختی آب و هوایی را مشخص می‌کند، زیرا یک از اهداف آن به حداقل رساندن اطلاعات هواشناسی می‌باشد (WWW.yieldgap.org).

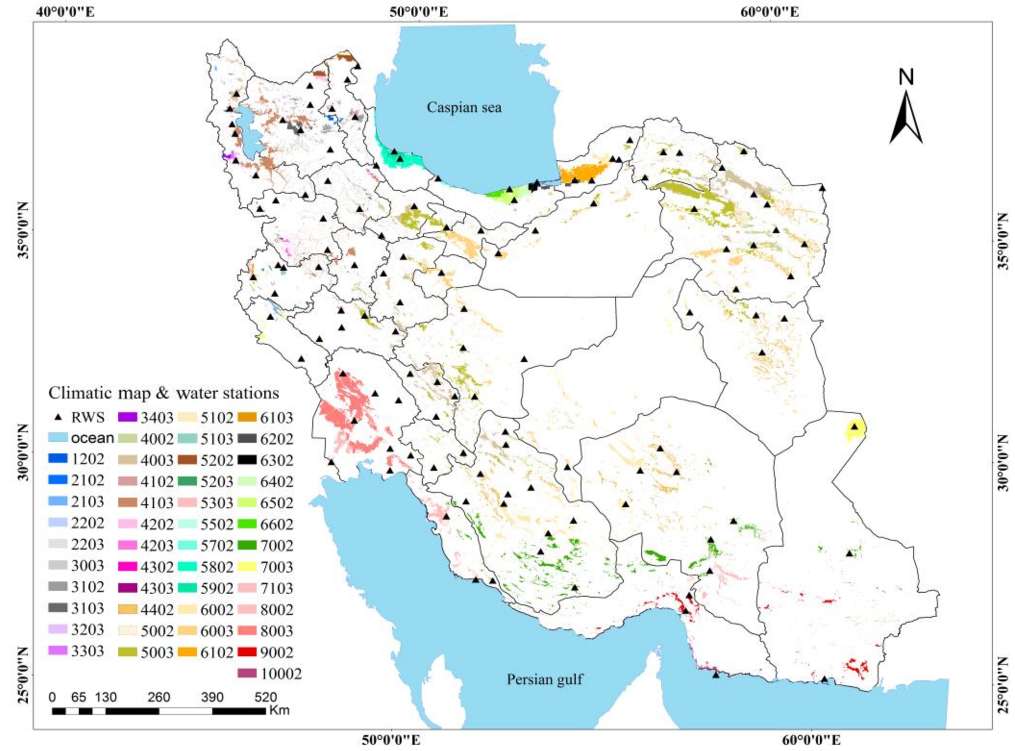
با استفاده از مدل SSM–iCrop2 عملکرد گیاهان زراعی دیم در اراضی باغی و آبی، ۵۰ و ۷۰ درصد پتانسیل عملکرد، پیش‌بینی شد. به عبارتی، در اراضی آبی کنونی، با استفاده از مدل یاد شده محصولات به‌روش دیم کشت شد (سال‌های شبیه‌سازی از ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۵ دوره ۳۰ ساله).

در مطالعات قبلی برای تعیین مقدار پتانسیل عملکرد محصولات مختلف از مدل iCrop2 (Soltani & Sinclair, 2011; Soltani, 2009) استفاده شده است. در این مدل، مقدار عملکرد پتانسیل بر مبنای داده‌های هواشناسی، شرایط خاک، نحوه مدیریت (مانند آبیاری) و پارامترهای گیاهی محاسبه می‌شود. این مدل توانایی شبیه‌سازی مراحل فنولوژی، گسترش و پیری برگ، توزیع ماده خشک، تشکیل عملکرد و موازنه آب خاک را دارد. مدل شبیه‌سازی را به‌صورت روزانه انجام می‌دهد.



شکل ۱- پراکنش اراضی آبی و باغی کشور (مساحت هر پیکسل ۸۶۰۰ هکتار)

Fig. 1- Distribution of the irrigated lands and orchards of Iran (Area per pixel is 8600 hectares)



شکل ۲- نقشه اقلیم اراضی آبی و باغی به همراه ایستگاه‌های هواشناسی (منبع: سایت جهانی گیگا)

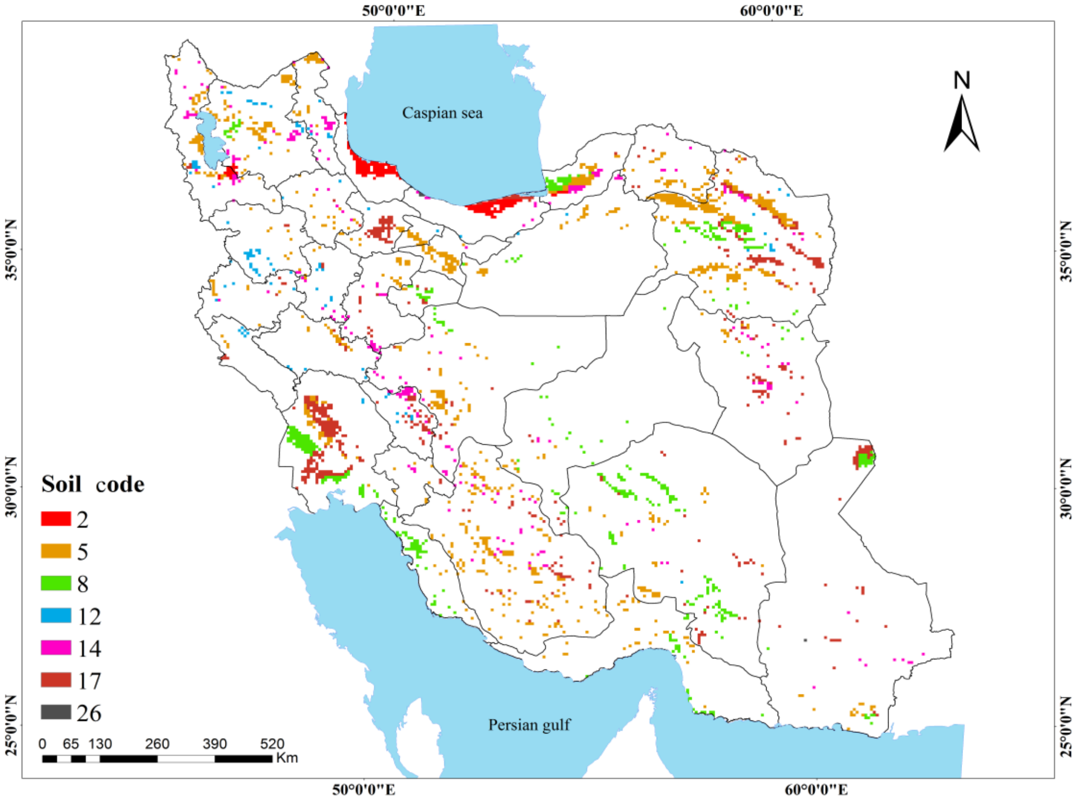
Fig. 2- Climatic map of the irrigated lands and orchards along with the weather stations (WWW.yieldgap.org)

اطلاعات هواشناسی و خاک بر اساس گزارش پهنه‌بندی (Soltani et al., 2018) در اراضی آبی و باغی فعلی کشور تهیه شد. بر اساس همین شرایط اقلیمی و ویژگی‌های خاک مدل را اجرا نموده، با این تفاوت که نوع نظام کشت در قسمت مدیریت، زراعت دیم تعریف شده است. عملکرد محصولات مختلف (گندم، جو، کلزا، نخود و عدس) برای هر ایستگاه با توجه به شرایط خاک و اقلیم شبیه‌سازی شد. برای مدل‌سازی این گیاهان پارامترهایی نیاز است که خوشبختانه مدل برای ۳۷ گیاه مهم کشاورزی (زراعی و باغبانی) پارامتریابی شده است. نتایج این پارامتریابی رضایت‌بخش بوده است (Soltani et al., 2020b)، لذا آن مقادیر مبنای کار این مطالعه قرار گرفته است.

اطلاعات خاک در مدل‌های شبیه‌سازی یکی از کلیدی‌ترین اطلاعات ورودی می‌باشد. در این مطالعه، از نقشه خاک HC27 استفاده شده است، این نقشه بر اساس سه معیار بافت خاک، عمق ریشه و کربن آلی (حاصلخیزی) بوده و در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی پرکاربرد است (Koo & Dimes, 2013). کد خاک موجود در منطقه مورد بررسی در شکل ۳ ارائه شده است.

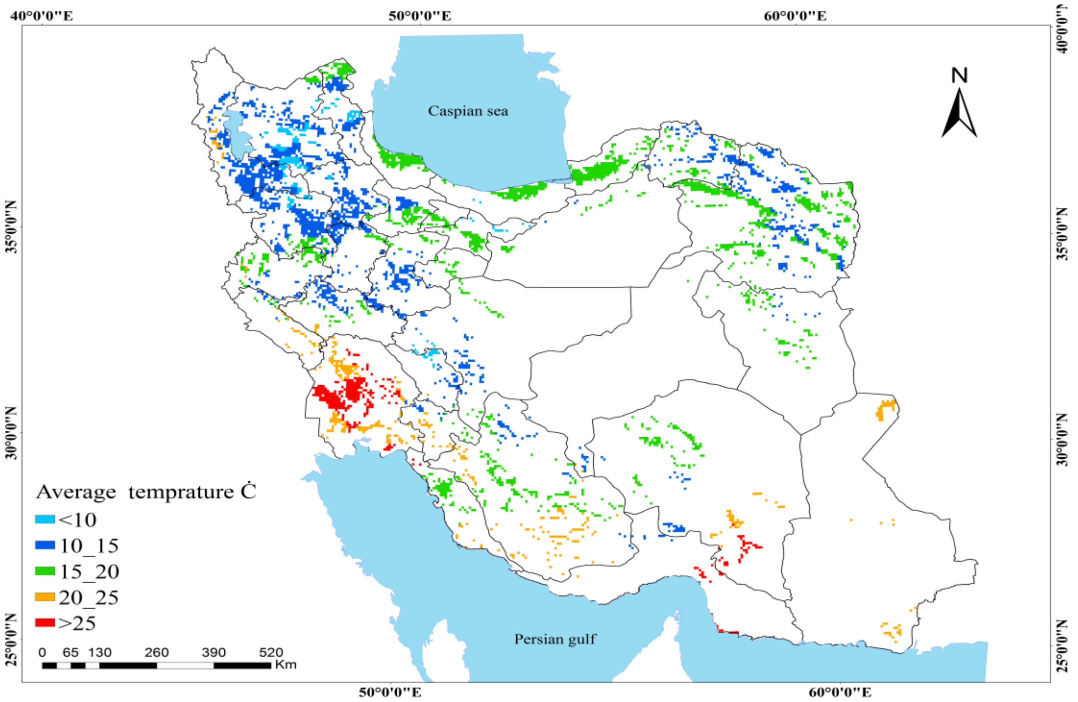
در بررسی نهبندانی و همکاران (Nehbandani et al., 2020) مدل SSM-iCrop2 با نقشه خاک HC27 و اطلاعات واقعی خاک در سه منطقه برای عملکرد گیاهان زراعی و باغی مختلف تحت شرایط آبیاری و دیم اجرا شد. نتایج حاصل از نقشه خاک HC27 و اطلاعات واقعی خاک مشابه بوده و حاکی از این است که با استفاده از نقشه خاک HC27 نتایج مناسبی حاصل خواهد شد.

در این مطالعه، به‌دلیل اینکه محصولات دیم مورد بررسی قرار گرفته است. منظور از عملکرد پتانسیل، عملکرد پتانسیل آب محدود می‌باشد، در واقع حداکثر عملکرد به‌دست آمده از یک رقم در یک محیط معین و تحت شرایط مطلوب و بدون محدودیت مواد غذایی، به‌طوری‌که آفات و بیماری‌ها تا حد مطلوب کنترل شده باشند، امّا رشد گیاهان تحت تأثیر میزان فراهمی آب، توزیع آن در طی فصل رشد گیاه و نوع خاک قرار می‌گیرد (Van Ittersum et al., 2013; Hajjarpoor, 2016).



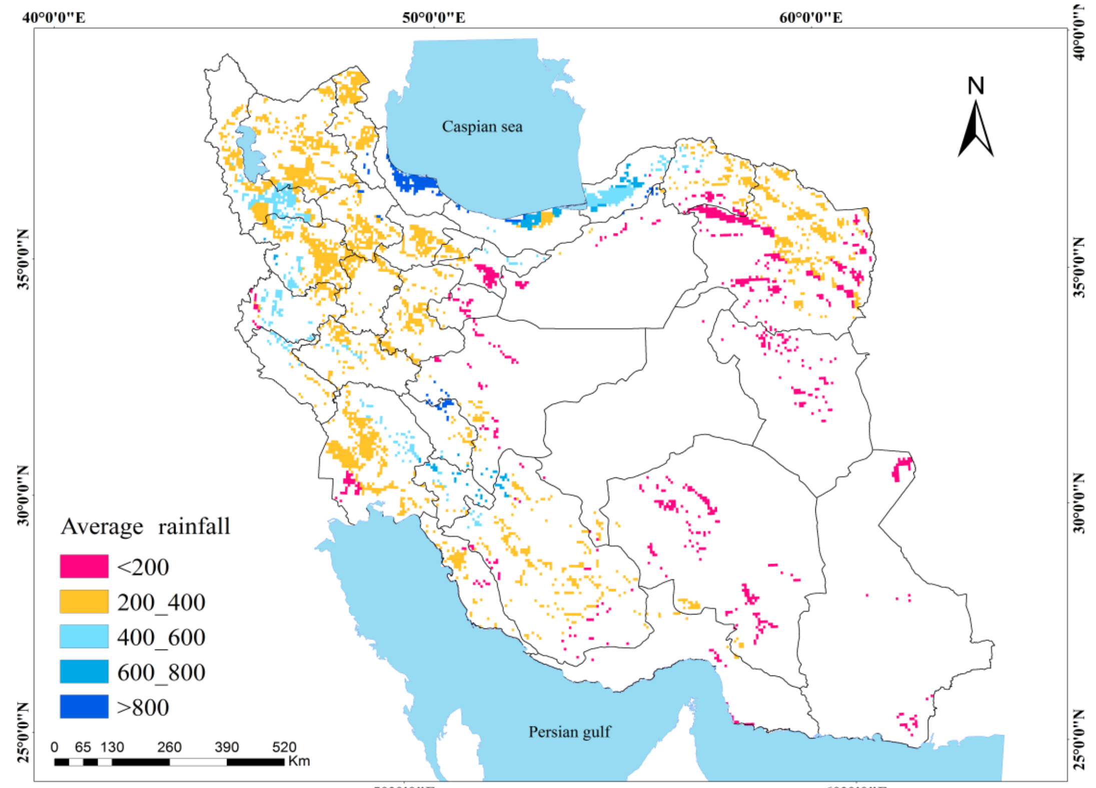
شکل ۳- پراکنش انواع پروفیل خاک در اراضی آبی و باغی ایران

Fig. 3- Distribution of soil profile code in irrigated lands and orchards of Iran



شکل ٤- پراکنش میانگین سالانه دمای هوا در اراضی آبی و باغی کشور

Fig. 4- Distribution of average temperature in irrigated lands and orchards of Iran



شکل ۵- میانگین میزان بارش سالانه در اراضی آبی و باغی کشور

Fig. 5- Average rainfall in irrigated lands and orchards of Iran

در بخش بعدی این مطالعه عملکرد هر گیاه و برای هر استان از لحاظ کیفی به چهار سطح نامناسب، متوسط، خوب و عالی طبقه‌بندی شد. این طبقه‌بندی بر اساس نظر متخصصان زراعت انجام شده و در واقع عملیاتی بودن و به‌صرفه بودن کشت را نشان می‌دهد. به عبارتی، اگر کشت یک محصول بر اساس میزان عملکرد دیم توجیه زراعی و اقتصادی ندارد، در گروه نامناسب قرار داده شده است. گروه متوسط و نامناسب احتمالاً در شرایط خاص و به‌ویژه برای کشاورزانی با مزارع کوچک‌تر و سنتی قابل استفاده است، زیرا در مناطقی که عملکردهای کم هستند، ممکن است با توجه به ارتفاع بوته‌ها و سایر عوامل، برداشت مکانیزه به‌راحتی قابل انجام نباشد و توسط کارگر و پرداخت هزینه‌های بالا قابل انجام خواهد بود که این امر نیز هزینه‌های تولید را افزایش خواهد داد. گروه‌های خوب و عالی برای کشاورزان با مزارع بزرگ و مکانیزه مناسب هستند. با توجه اینکه از عملکرد میانه برای ارزیابی استفاده شد، بدیهی است که در ۵۰ درصد از سال‌ها عملکرد کمتر و در ۵۰ درصد از سال‌ها عملکردهای بیشتری حاصل شد. طبقه‌بندی بر اساس جدول ۱ انجام شد:

نتایج و بحث

نتایج عملکرد پتانسیل در قالب نقشه ارائه شده است (شکل ۶). رسیدن به پتانسیل عملکرد مد نظر مطالعه نبوده است. زیرا رسیدن به عملکرد پتانسیل توسط کشاورزان تقریباً غیر ممکن بوده و صرفه اقتصادی ندارد (با صرف هزینه‌های کود و سموم شیمیایی، مدیریت زراعی شدید)، از طرفی، مخاطرات محیط زیستی (استفاده بیش از حد نهاده‌های کشاورزی موجب آلودگی محیط زیست، آب و ...) را به همراه خواهد داشت. بنابراین، ۷۰ و ۵۰ درصد عملکرد پتانسیل محصولات در نظر گرفته شده است. ۷۰ و ۵۰ درصد عملکرد پتانسیل به‌ترتیب با مدیریت‌های زراعی مناسب و نامناسب حاصل خواهد شد و به‌نوعی بیان‌گر اهمیت مدیریت در زراعت دیم می‌باشد.

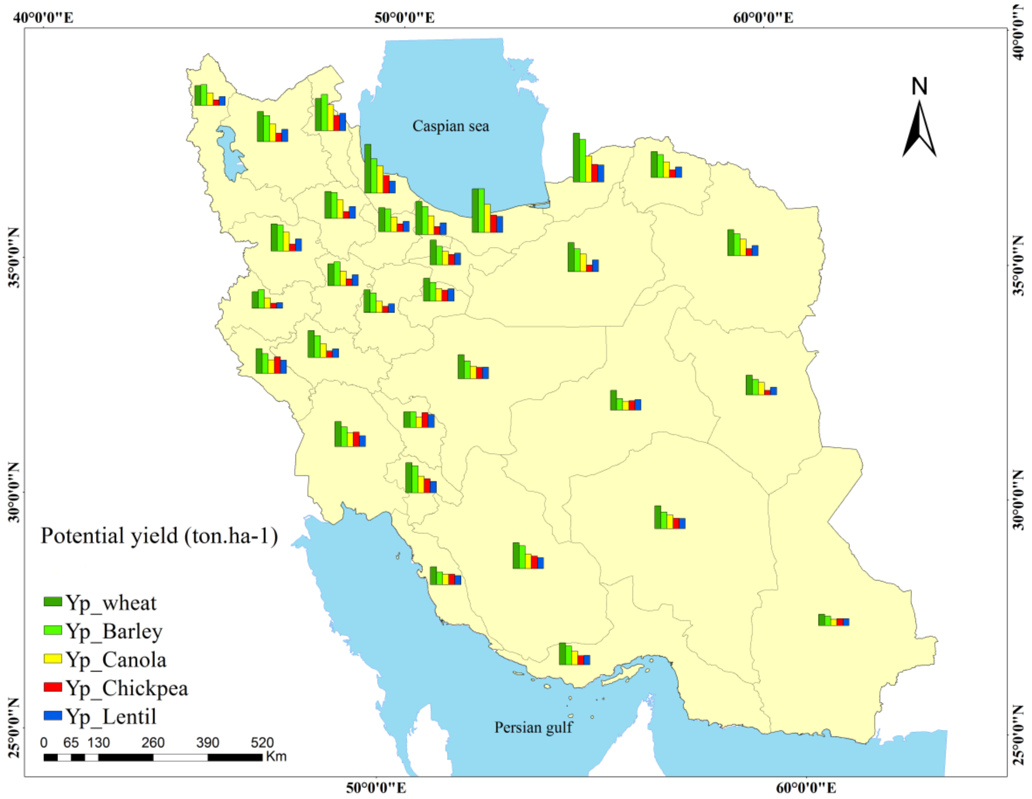
جدول ۱- طبقه بندی کیفی تولید محصولات زراعی گندم، جو، نخود، عدس و کلزا (تن در هکتار)

Table 1_ Qualitative classification of wheat, barley, chickpea, lentil, and canola crops (ton.ha-1)

گیاه زراعی Crop	نامناسب Unsuitable	متوسط Medium	خوب Good	عالی High
گندم و جو Wheat and barley	<1	1.1_2	2.1_3	>3
نخود و عدس Chickpea and lentil	<0.5	0.56_1	1.1_2	>2
کلزا Canola	<0.75	0.76_1.5	1.6_2.25	>2.25

همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است، سیستان و بلوچستان در همه محصولات عملکرد کمتری داشته، در مقابل، استان‌های شمالی و اردبیل از تولید بالاتری برخوردار بودند. از جمله دلایل آن می‌توان به شرایط اقلیمی مناسب و خاک مطلوب اشاره کرد. در مورد عملکرد پتانسیل غلات در اکثر موارد گندم عملکرد بالاتری نسبت به جو داشت، با این حال در برخی استان‌ها (آذربایجان غربی، اردبیل و همدان) عملکرد جو بهتر از گندم بود.

در رابطه با حبوبات استان‌های ایلام، خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد، گیلان و بوشهر عملکرد عدس از مقادیر بالاتری نسبت به نخود برخوردار بود. کلزا نیز در اغلب استان‌ها عملکردی حد واسط بین غلات و حبوبات تولید کرد. این نتایج می‌دهد، پتانسیل و ظرفیت تولید استان‌های مختلف کشور در تولید گیاهان متفاوت (متنوع) است.



شکل ٦- نقشه پتانسیل عملکرد محصولات مختلف در قالب نمودار ستونی جهت مقایسه محصولات زراعی گندم،جو، نخود، عدس و کلزا (به‌روش کشت دیم)

Fig. 6- Potential yield map of different crops as a histogram for comparison of wheat, barley, chickpea, lentil, and canola (rainfed)

میانگین عملکرد قابل دستیابی (۷۰ و ۵۰ درصد عملکرد پتانسیل) محصولات گندم، جو، نخود، عدس و کلزا دیم در جدول ۲ ارائه شده است. در بخش بعدی این مطالعه؛ برای هر گیاه در هر استان از لحاظ کیفی (چهار سطح نامناسب، متوسط، خوب و عالی) بر اساس مقادیر عملکرد طبقه‌بندی انجام شده است (جداول ۳ و ۴).

جدول ۲- عملکرد قابل دستیابی (بر اساس ۷۰ و ۵۰ درصد عملکرد پتانسیل) گیاهان مورد بررسی (بر حسب تن در هکتار)

Table 2- Attainable yield (based on 50 and 70 percent of potential yield) of the studied crops (ton.ha^-1^)

استان Province	گندم Wheat		جو Barley		نخود Cheakpea		عدس Lentil		کلزا Canola	
	۷۰ درصد عملکرد پتانسیل $Y_{70\%}$	۵۰ درصد عملکرد پتانسیل $Y_{50\%}$	۷۰ درصد عملکرد پتانسیل $Y_{70\%}$	۵۰ درصد عملکرد پتانسیل $Y_{50\%}$	۷۰ درصد عملکرد پتانسیل $Y_{70\%}$	۵۰ درصد عملکرد پتانسیل $Y_{50\%}$	۷۰ درصد عملکرد پتانسیل $Y_{70\%}$	۵۰ درصد عملکرد پتانسیل $Y_{50\%}$	۷۰ درصد عملکرد پتانسیل $Y_{70\%}$	۵۰ درصد عملکرد پتانسیل $Y_{50\%}$
البرز Alborz	3	2.1	2.5	1.8	0.7	0.51	1.1	0.75	1.7	1.2
اردبیل Ardabil	2.9	2	3.3	2.4	1.4	0.98	1.6	1.12	2.3	1.7
بوشهر Boushehr	1.6	1.1	1.2	0.8	0.9	0.66	0.8	0.58	0.9	0.6
چهارمحال و بختیاری Chaharmahal and Bakhtiari	1.4	1	1.4	1	1.3	0.95	1.2	0.83	0.9	0.7
آذربایجان شرقی East Azarbaijan	2.7	2	2.3	1.7	0.8	0.54	1.1	0.79	1.6	1.2
فارس Fars	2.3	1.7	2.1	1.5	1.1	0.8	1	0.71	1.3	0.9
گیلان Guilan	4.3	3.1	3	2.2	1.6	1.13	1.1	0.77	2.5	1.8
گلستان Golestan	4.4	3.1	3.8	2.7	1.6	1.12	1.5	1.09	2.4	1.7
همدان Hamedan	2	1.4	2.1	1.5	0.6	0.44	1	0.7	1.3	1
هرمزگان Hormozga	1.9	1.4	1.6	1.2	0.8	0.57	0.8	0.6	1.2	0.86
ایلام Ilam	2.3	1.6	1.8	1.3	1.5	1.08	1.2	0.86	1.2	0.83
اصفهان Esfahan	2.2	1.6	1.6	1.1	1	0.72	1	0.74	1.2	0.83
کرمان Kerman	2	1.5	1.5	1.1	0.9	0.67	0.9	0.65	1.2	0.83
کرمانشاه Kermanshah	1.5	1.1	1.7	1.2	0.5	0.32	0.5	0.37	1	0.68
خوزستان Khoozestan	2.2	1.6	1.7	1.2	1.3	0.92	1	0.69	1.2	0.85

کهگیلویه و بویر احمد Kohkilooye-Boyerahmad	2.7	1.9	2.4	1.7	1.3	0.91	1	0.72	1.5	1.1
کردستان Kordestan	2.5	1.8	2.3	1.7	0.6	0.44	1.1	0.76	1.7	1.2
لرستان Lorestan	2.4	1.7	2	1.4	0.6	0.41	0.8	0.56	1.2	0.9
مرکزی Markazi	2.1	1.5	1.7	1.2	0.6	0.40	0.8	0.56	1	0.7
مازندران Mazandaran	3.9	2.8	3.9	2.8	1.6	1.1	1.4	1.03	2.5	1.8
خراسان شمالی North Khorasan	2.4	1.7	2.1	1.5	0.7	0.49	0.9	0.67	1.4	1
قزوین Ghazvin	2.2	1.5	2	1.4	0.7	0.49	0.9	0.66	1.3	1
قم Ghom	2.1	1.5	1.7	1.2	1	0.7	1.1	0.78	1.2	0.8
خراسان رضوی Razavi Khorasan	2.3	1.7	1.9	1.4	0.6	0.45	0.9	0.65	1.5	1.1
سمنان Semnan	2.6	1.9	2.1	1.5	0.6	0.43	1.1	0.76	1.6	1.1
سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan	1.1	0.8	0.9	0.6	0.6	0.44	0.6	0.44	0.6	0.42
خراسان جنوبی South Khorasan	1.8	1.3	1.4	1	0.4	0.29	0.7	0.49	1.1	0.77
تهران Tehran	2.2	1.6	1.7	1.2	0.9	0.67	1.1	0.76	1.3	0.9
آذربایجان غربی West Azarbaijan	1.8	1.3	1.9	1.4	0.5	0.35	0.8	0.57	1.2	0.83
یزد Yazd	1.7	1.2	1.1	0.8	0.8	0.6	0.9	0.68	0.8	0.55
زنجان Zanjan	2.5	1.8	2.3	1.7	0.6	0.44	1.1	0.76	1.7	1.2

چنانچه در اراضی فعلی آبی، کشت به‌صورت دیم صورت گیـرد و عملکردهای حاصله ۷۰ درصد پتانسیل عملکرد گیاهان مربوطه باشند، برای گندم دیم سه استان (گیلان، گلستان و مازنـدران) از ۳۱ اسـتان در وضعیت عالی، ۱۸ استان در وضعیت خوب، ۱۰ اسـتان در وضـعیت متوسط قرار خواهند گرفت و هیچ یک از اسـتان‌هـای کشـور از نظـر عملکرد گندم دیم در وضعیت نامناسبی قرار نخواهد داشت (جدول ۲). بر اساس نتایج این مطالعه، برای عملکرد جودیم سه استان از وضعیت عالی برخوردار بودند. ۱۰ اسـتان خـوب و ۱۷ اسـتان از ۳۱ اسـتان در گروه متوسط قرار گرفتند. اسـتان سیسـتان و بلوچسـتان در وضـعیت نامناسبی داشت (جدول ۲).

بر اساس عملکرد ۷۰ درصد پتانسیل نخود دیم سه استان گیلان، گلستان و مازندران در گروه عالی، شش استان گروه خوب ۲۱ اسـتان در گروه متوسط قرار گرفتند و خراسان جنوبی در گروه نامناسب قـرار گرفت (جدول ۲). برای عدس دیم چنانچه ۷۰ درصد عملکـرد توسـط کشاورزان حاصل شود، هیچ یک از استان‌های کشور در گروه عـالی و نامناسب قرار نخواهند گرفت، ۱۳ استان در گروه خوب و ۱۸ استان در

گروه متوسط قرار گرفتند (جدول ۲). در صورتی‌که ۷۰ درصد از عملکرد پتانسیل کلزا دیم توسط کشاورزان حاصل شود، چهار استان در گروه عالی، ۵ استان خوب، ۲۱ استان متوسط و تنها یک استان در گروه نامناسب قرار خواهند گرفت.

سیستان و بلوچستان هم از نظر عملکرد قابل دستیابی ۷۰ درصد پتانسیل، و هم از عملکرد قابل دستیابی ۵۰ درصد پتانسیل در گروه متوسط تا نامناسب قرار گرفت. به‌طوری‌که از نظر تولید عملکرد قابل دستیابی ۷۰ درصد پتانسیل برای عدس، نخود و گندم تولید متوسطی داشته است. از نظر عملکرد قابل دستیابی ۵۰ درصد پتانسیل تولید نامناسبی داشت. بنابراین، تولید محصولات دیم در استان سیستان و بلوچستان حتی برای کشاورزان خوب و با مدیریت خوب، به‌دلیل محدودیت‌های اکولوژیکی امکان‌پذیر نخواهد بود.

جدول ۳- دسته‌بندی کیفی عملکرد قابل دستیابی (بر اساس ۷۰ درصد عملکرد پتانسیل) گیاهان مورد بررسی

Table 3- Grouping of the attainable yield (based on 70 percent of potential yield) of the studied crops

استان Province	گندم ۷۰ درصد عملکرد پتانسیل Wheat $Y_{70\%}$	جو ۷۰ درصد عملکرد پتانسیل Barley $Y_{70\%}$	نخود ۷۰ درصد عملکرد پتانسیل Cheakpea $Y_{70\%}$	عدس ۷۰ درصد عملکرد پتانسیل Lentil $Y_{70\%}$	کلزا ۷۰ درصد عملکرد پتانسیل Canola $Y_{70\%}$
البرز Alborz	خوب Good	خوب Good	متوسط Medium	خوب Good	خوب Good
اردبیل Ardabil	خوب Good	عالی High	خوب Good	خوب Good	عالی High
بوشهر Boushehr	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium
چهارمحال و بختیاری Chaharmahal Bakhtiari	متوسط Medium	متوسط Medium	خوب Good	خوب Good	متوسط Medium
آذربایجان شرقی East Azarbaijan	خوب Good	خوب Good	متوسط Medium	خوب Good	خوب Good
فارس Fars	خوب Good	خوب Good	خوب Good	متوسط Medium	متوسط Medium
گیلان Guilan	عالی High	خوب Good	عالی High	خوب Good	عالی High
گلستان Golestan	عالی High	عالی High	عالی High	خوب Good	عالی High
همدان Hamedan	متوسط Medium	خوب Good	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium
هرمزگان Hormozga	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium
ایلام Ilam	خوب Good	متوسط Medium	خوب Good	خوب Good	متوسط Medium
اصفهان Esfahan	خوب Good	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium
کرمان Kerman	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium
کرمانشاه Kermanshah	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium
خوزستان Khoozestan	خوب Good	متوسط Medium	خوب Good	متوسط Medium	متوسط Medium
کهگیلویه و بویر احمد Kohkilooye-Boyerahmad	خوب Good	خوب Good	خوب Good	متوسط Medium	متوسط Medium

کردستان Kordestan	خوب Good	خوب Good	متوسط Medium	خوب Good	خوب Good
لرستان Lorestan	خوب Good	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium
مرکزی Markazi	خوب Good	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium
مازندران Mazandaran	عالی High	عالی High	عالی High	خوب Good	عالی High
خراسان شمالی North Khorasan	خوب Good	خوب Good	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium
قزوین Ghazvin	خوب Good	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium
قم Ghom	خوب Good	متوسط Medium	متوسط Medium	خوب Good	متوسط Medium
خراسان رضوی Razavi Khorasan	خوب Good	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium
سمنان Semnan	خوب Good	خوب Good	متوسط Medium	خوب Good	خوب Good
سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan	متوسط Medium	نامناسب Unsuitable	متوسط Medium	متوسط Medium	نامناسب Unsuitable
خراسان جنوبی South Khorasan	متوسط Medium	متوسط Medium	نامناسب Unsuitable	متوسط Medium	متوسط Medium
تهران Tehran	خوب Good	متوسط Medium	متوسط Medium	خوب Good	متوسط Medium
آذربایجان غربی West Azarbaijan	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium
یزد Yazd	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium
زنجان Zanjan	خوب Good	خوب Good	متوسط Medium	خوب Good	خوب Good

† نحوه تعیین طبقه‌بندی کیفی با ذکر علت در بخش مواد و روش‌ها بیان شده است.

The method used to determine the qualitative classification is stated in the materials and methods section by mentioning the cause

طبق نتایج این مطالعه، اگر سطح مدیریت ضعیف باشد و هدف-گذاری بر اساس ۵۰ درصد عملکرد پتانسیل صورت گیرد، وضعیت تولید کشور در وضعیت نگران‌کننده‌ای قرار خواهد گرفت، به‌طوری‌که اگر ۵۰ درصد از عملکرد پتانسیل توسط کشاورزان تولید گردد، برای گندم دیم دو استان در وضعیت عالی، دو استان خوب، ۲۶ استان متوسط و یک استان در گروه نامناسب، و برای جو دیم چهار استان خوب، ۲۴ استان متوسط و سه استان در وضعیت نامناسبی قرار گرفته‌اند (جدول ۴). از نظر عملکرد نخود دیم چهار استان (ایلام، گیلان، گلستان و مازندران) در گروه خوب، ۱۴ استان در گروه متوسط و ۱۳ در گروه نامناسب قرار گرفتند. درحالی‌که برای عدس دیم سه استان در گروه خوب، ۲۵ استان متوسط و سه استان در گروه نامناسب قرار گرفته است. برای کلزا دیم بر اساس ۵۰ درصد عملکرد پتانسیل پنج استان در گروه خوب، ۲۰ استان در گروه متوسط و شش استان از ۳۱ استان در وضعیت نامناسبی قرار گرفتند (جدول ۴).

بیش‌ترین عملکرد در محصولات زراعی (گندم، جو، نخود، عدس و کلزا) به نواحی شمالی و اردبیل تعلق داشت. خاک این مناطق دارای بافت خاک رسی، حاصلخیزی بالا و عمق خاک مناسب می-باشد. از طرفی، کم‌ترین مقادیر عملکرد در استان‌های چهارمحال و بختیاری و سیستان و بلوچستان حاصل شد، خاک این مناطق از حاصلخیزی کم برخوردار بوده، بنابراین نوع پروفیل خاک نیز می‌تواند به‌دلیل تأثیر بر نفوذ و ذخیره آب بارندگی در میزان عملکرد محصولات دیم تأثیرگذار بوده است.

جدول ٤- دسته‌بندی کیفی عملکرد قابل دستیابی (بر اساس ۵۰ درصد عملکرد پتانسیل) گیاهان مورد بررسی

Table 4- Grouping of the attainable yield (based on 50 percent of potential yield) of the studied crops

استان Province	گندم ۵۰ درصد عملکرد پتانسیل Wheat $Y_{50\%}$	جو ۵۰ درصد عملکرد پتانسیل Barley $Y_{50\%}$	نخود ۵۰ درصد عملکرد پتانسیل Cheakpea $Y_{50\%}$	عدس ۵۰ درصد عملکرد پتانسیل Lentil $Y_{50\%}$	کلزا ۵۰ درصد عملکرد پتانسیل Canola $Y_{50\%}$
البرز Alborz	خوب Good	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium
اردبیل Ardabil	متوسط Medium	خوب Good	متوسط Medium	خوب Good	خوب Good
بوشهر Boushehr	متوسط Medium	نامناسب Unsuitable	متوسط Medium	متوسط Medium	نامناسب Unsuitable
چهارمحال و بختیاری Chaharmahal Bakhtiari	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	نامناسب Unsuitable
آذربایجان شرقی East Azarbaijan	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium
فارس Fars	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium
گیلان Guilan	عالی High	خوب Good	خوب Good	متوسط Medium	خوب Good
گلستان Golestan	عالی High	خوب Good	خوب Good	خوب Good	خوب Good
همدان Hamedan	متوسط Medium	متوسط Medium	نامناسب Unsuitable	متوسط Medium	متوسط Medium
هرمزگان Hormozga	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium
ایلام Ilam	متوسط Medium	متوسط Medium	خوب Good	متوسط Medium	متوسط Medium
اصفهان Esfahan	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium
کرمان Kerman	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium
کرمانشاه Kermanshah	متوسط Medium	متوسط Medium	نامناسب Unsuitable	نامناسب Unsuitable	نامناسب Unsuitable
خوزستان Khoozestan	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium
کهگیلویه و بویر احمد Kohkilooye-Boyerahmad	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium
کردستان Kordestan	متوسط Medium	متوسط Medium	نامناسب Unsuitable	متوسط Medium	متوسط Medium
لرستان Lorestan	متوسط Medium	متوسط Medium	نامناسب Unsuitable	متوسط Medium	متوسط Medium
مرکزی Markazi	متوسط Medium	خوب Good	نامناسب Unsuitable	متوسط Medium	نامناسب Unsuitable
مازندران Mazandaran	خوب Good	متوسط Medium	خوب Good	خوب Good	خوب Good

خراسان شمالی North Khorasan	متوسط Medium	متوسط Medium	نامناسب Unsuitable	متوسط Medium	متوسط Medium
قزوین Ghazvin	متوسط Medium	متوسط Medium	نامناسب Unsuitable	متوسط Medium	متوسط Medium
قم Ghom	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium
خراسان رضوی Razavi Khorasan	متوسط Medium	متوسط Medium	نامناسب Unsuitable	متوسط Medium	متوسط Medium
سمنان Semnan	متوسط Medium	متوسط Medium	نامناسب Unsuitable	متوسط Medium	متوسط Medium
سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan	نامناسب Unsuitable	نامناسب Unsuitable	نامناسب Unsuitable	نامناسب Unsuitable	نامناسب Unsuitable
خراسان جنوبی South Khorasan	متوسط Medium	متوسط Medium	نامناسب Unsuitable	نامناسب Unsuitable	متوسط Medium
تهران Tehran	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium	متوسط Medium
آذربایجان غربی West Azarbaijan	متوسط Medium	متوسط Medium	نامناسب Unsuitable	متوسط Medium	متوسط Medium
یزد Yazd	متوسط Medium	نامناسب Unsuitable	متوسط Medium	متوسط Medium	نامناسب Unsuitable
زنجان Zanjan	متوسط Medium	متوسط Medium	نامناسب Unsuitable	متوسط Medium	Good

† نحوه تعیین طبقه‌بندی کیفی با ذکر علت در بخش مواد و روش‌ها بیان شده است.

†The method used to determine the qualitative classification is stated in the materials and methods section by mentioning the cause.

در مطالعات قبلی، از مدل SSM-iCrop2 برای محاسبه پتانسیل عملکرد برخی گیاهان زراعی استفاده شده است (soltani et al., 2019). پتانسیل عملکرد جو دیم ۱۰۷۲ تا ۴۰۰۲، پتانسیل عملکرد نخود دیم بین ۴۹۶ تا ۱۲۴۹، کلزای دیم ۲۱۱۱ تا ۴۵۵۱ کیلوگرم در هکتار تعیین شد. در مطالعات پیشین، عملکرد محصولات دیم در اراضی دیم فعلی، و عملکرد محصولات آبی در اراضی آبی فعلی بررسی شده بود. درحالی‌که در این مطالعه عملکرد محصولات دیم در اراضی آبی و باغی فعلی (اقلیم و نوع خاک متفاوت با اراضی دیم) ارزیابی شد، زیرا در آینده آب کافی برای آبیاری و کشت محصولات آبی در این اراضی وجود نخواهند داشت. این عوامل بر دوره رشد محصول، تاریخ کاشت، فنولوژی، تبخیر و تعرق، شاخص برداشت و نهایتاً بر عملکرد محصول مؤثر بوده و تاکنون در مطالعات گذشته بررسی نشده بود.

همان‌طور که در این مطالعه مشخص شد، نقش مدیریت زراعی در تولیدات دیم بسیار با اهمیت است، به‌طوری‌که با مدیریت مطلوب و نامطلوب به‌ترتیب می‌توان به ۷۰ و ۵۰ درصد پتانسیل عملکرد دست یافت و بر این اساس، نتایج متفاوتی حاصل خواهد شد. با مدیریت مطلوب و رسیدن به ۷۰ درصد پتانسیل عملکرد، برای گندم، جو، نخود، کلزا دیم به‌ترتیب ۲۱، ۱۳، ۹، ۱۳ و ۹ استان از ۳۱ استان کشور وضعیت عالی تا خوب خواهند داشت و با مدیریت نامناسب و رسیدن به ۵۰ درصد پتانسیل عملکرد برای گندم، جو، نخود، کلزا دیم به‌ترتیب چهار، چهار، چهار، سه و پنج استان از ۳۱ استان کشور وضعیت عالی تا خوب خواهند داشت. بنابراین، در زراعت دیم نقش عوامل مدیریتی بسیار تأثیرگذار و با اهمیت بوده است. تاریخ کاشت، ارقام مناسب، کنترل مناسب علف‌های هرز و آفات از جمله عوامل مدیریتی مؤثر در تعیین عملکرد می‌باشند.

نتیجه‌گیری

حدود ۹۰ درصد از محصولات زراعی کشور از اراضی آبی تأمین می‌شود، درحالی‌که با توجه به کاهش بارندگی‌ها و اضافه برداشت از منابع آب، آب کافی برای آبیاری اراضی آبی (زراعی و باغی) جهت کشت محصولات آبی وجود نخواهند داشت. به‌دلیل موقعیت جغرافیایی کشور و وقوع خشک‌سالی‌ها و تغییر اقلیم، باید به دنبال راه کارهایی جهت سازگاری و مدیریت شرایط کمبود آب باشیم. چنانچه مدیریت‌های زراعی به‌گونه‌ای باشد که، ۷۰ درصد عملکرد پتانسیل

دیم محصولات گندم، جو، نخود، عدس و کلزا قابـل دسـتیابی باشـد، عملکردهای حاصله دیم در اغلب استان‌های کشور در گروه عـالی تـا خوب خواهند بود. درحالی‌که اگر مدیریت زراعی ضعیف باشـد و تنهـا ۵۰ درصد از عملکرد پتانسیل دیم قابل دسـتیابی باشـد، عملکردهـای حاصله در اغلب استان‌های کشور در وضعیت متوسط و نامناسب قـرار خواهند گرفت. بنابراین، نقش مدیریت و بهبـود آن بـه‌شـدت اهمیـت خواهد داشت. لذا در صورت ضرورت کشت دیم گیاهان زراعـی مهـم در اراضی آبی و باغی فعلی، ضروری اسـت برنامـه‌ریـزی لازم بـرای رسیدن به عملکردهای قابل دستیابی بـر اسـاس ۷۰ درصـد پتانسیل صورت پذیرد.

References

1. ABFA (National water and wastewater engineering company).(2018). Ministry of Energy Announcement about Programmable Water Supply for Different Uses in Provinces and Basins. *Iran Ministry of Energy*. (In Persian)
2. Alexandrov, V.A., & Hoogenboom, G.(2000). The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. *Agricultural and Forest Meteorology*, *104*(4), 315-327. https://doi.org/10.1016/S0168-1923(00)00166-0
3. Bazgeer, S., Mahey, R.K., Sidhu, S., Sharma, P.K., Sood, A., Noorian, A.M., & Kamali, G.H. (2008). Wheat yield prediction using remotely sensed agromet trend-based models for Hoshiarpur district of Punjab, India. *Journal of Applied Sciences*, *8*(3), 510-515. https://doi.org/10.3923/jas.2008.510.515
4. Fader, M., Gerten, D., Krause, M., Lucht, W., & Cramer, W.(2013). Spatial decoupling of agricultural production and consumption: quantifying dependences of countries on food imports due to domestic land and water constraints. *Environmental Research Letters*, *8*, 14046. DOI: 10.1088/1748-9326/8/1/014046
5. Ghaffari, A., Ghasemi, V.R., & De Pauw, E. (2015). Agro-Climatically Zoning of Iran by UNESCO approach. *Iran's Rainfed Agriculture*, *4*(1), 63-95. (In Persian) https://doi.org/10.22092/idaj.2015.102248
6. Grassini, P., van Bussel, L.G.J., van Wart, J., Wolf, J., Claessens, L., Yang, H., Boogaard, H., de Groot, H., van Ittersum, M.K., & Cassman, K.G. (2015). How good is good enough? Data requirements for reliable crop yield simulations and yield-gap analysis. *Field Crop Research*, *177*, 49-63. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.03.004
7. Hajjarpoor, A. (2016). Yield gap analysis of wheat in Golestan province. A Thesis of Ph.D. in Crop Ecology, Gorgan *University of Agricultural Sciences and Natural Resources*, *Iran. 128* p. (In Persian)
8. Koo, J., & Dimes, J. (2013). HC27 Generic Soil Profile Database. Available at: http://hdl.handle.net/1902. 1/20299 Harvard Dataverse (V2).
9. Kamali, G.A., Molaei, P., & Behyar, M.B. (2010). Development of Zanjan province dry land wheat Atlas by using climatic data and GIS. *Journal of Water and Soil*, *24*(5), 894-907. https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.5281
10. Keating, B.A., Herrero, M., Carberry, P.S., Gardner, J., & Cole, M.B. (2014). Food wedges: Framing the global food demand and supply challenge towards 2050. *Global Food Security*, *3*, 125-132. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2014.08.004
11. Lashkari, A., & Bannayan, M. (2013). Agrometeorological study of crop drought vulnerability and avoidance in northeast of Iran. Theoretical and Applied change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy*, *16*(4), 239-262. (In Persian with English Summary) doi:10.1007/s00704-012-0769-9
12. MohammadiNasab, B. (2010). Trend Analysis of annual rainfall over Iran. *Geography and Environmental Planning Journal*, *43*(3), 95-106. (In Persian with English Summary)
13. Nasseri, A., Abbasi, F., & Akbari, M. (2017). Estimating agricultural water consumption by analyzing water balance. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, *18*, 17-32. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22092/aridse.2017.105338.1057
14. Nehbandani, A., Soltani, A., Taghdisi, R., Dadrasi, A., & Alimagham, S.M. (2020). Assessing HC_{27} soil database for modeling plant production. *International Journal of Plant Production*, 14, 679–687.
15. Soltani, A.(2009). Mathematical Modeling in Field Crops. *Mashhad Univsity Press*, *Iran, 175* p. (In Persian)
16. Soltani, A., and Sinclair, T.R.(2011). A simple model for chickpea development, growth and yield. *Field Crop Research 124*(2), 252-260.
17. Soltani., A., Nehbandani, A.R., Dadresi, A., Alimagham, S.M., Zeinali, E., & Torabi, B.(2018). Agro-Ecological Zoning (AEZ) of Iran for plant production. Research report. *Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*, *Iran. 159* p. (In Persian)

18. Soltani., A., Zand, A., Alimagham, S.M., Nehbandani, A., Barani, H., Soltani., A., Torabi, B., Zeinali, E., Mirkarimi, S., & Joolaei, R. (2019). Analyzing the Country's Food Security to 2050 by Modeling the Correlation between Water, Land, Food and the Environment: Perspectives and Necessary Policies. *Research Report. Organization Education and Extension Research Agricultural*, *130* p. (In Persian)
19. Soltani, A., Alimagham, M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Zand, E., Ghassemi, S., Vadez, V., Sinclair, T.R., & Van Ittersum, M.K. (2020a). Modeling plant production at country level as affected by availability and productivity of land and water. In: *Agricultural Systems*,*183*, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102859
20. Soltani, A., Alimagham, M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Dadrasi, A., Zand, E., Ghassemi, S., Pourshirazi, S., Alasti, O., Hosseini, R.S., Zahed, M., Arabameri, R., Mohammadzadeh, Z., Rahban, S., Kamari., H., Fayazi, H., Mohammadi, S., Keramat, S., Vadez, V., Van Ittersum, M.K., & Sinclair, T.R. (2020b). SSM-iCrop2: A simple model for diverse crop species over large areas. *Agricultural Systems* p. 1-7. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102855
21. van Ittersum, M.K., Cassman, K.G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., & Hochman, Z.(2013). Yield gap analysis with local to global relevance-A review. *Field Crops Research*, *143*, 4-17.
22. WPP., 2017. United Nations, department of economic and social affairs, population division. In: World Population Prospects, Online Edition. https://population.un.org/wpp/

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

CC BY

Research Article
Vol. 15, No. 2, Summer 2023, p. 319-335

Evaluating the Sustainability Indices for Rapeseed (*Brassica napus* L.) Production Systems Using Emergy Analysis (Case Study: Kalaleh County, Golestan Province)

Samaneh Lotfi[1], Hossein Kazemi[2]*, Behnam Kamkar[3] and Hamid Reza Shahhoseini[4]

Received: 30-08-2021
Revised: 06-02-2022
Accepted: 15-05-2022
Available Online: 15-05-2022

How to cite this article:
Lotfi, S., Kazemi, H., Kamkar, B., & Shahhoseini, H.R. (2023). Evaluating the sustainability indices for rapeseed (*Brassica napus* L.) production systems using emergy analysis (Case study: Kalaleh county, Golestan province). *Journal of Agroecology*, *15*(2), 319-335.
DOI: 10.22067/agry.2022.72035.1063

Introduction

Sustainability in agriculture at the regional scale is about balancing food security with maintaining environmental health. Therefore, agricultural operations are sustainable when they maintain the environment's health, the interaction between plant and animal production, social acceptance, and economic benefits (Kumaraswamy, 2012). Excessive use of environmental resources and excessive consumption of chemicals in agriculture have caused environmental problems and reduced sustainability (Quintero-Angel & Gonzales-Acevedo, 2018). Therefore, it is necessary to study the patterns of energy consumption and efficient use of energy in agriculture, which is one of the basic principles of sustainable agriculture. As a suitable tool for this purpose, Emergy analysis is used in various ecosystems (Odum, 2000; Brown & Ulgiati, 2004). Emergy analysis can determine the degree of sustainability of connected ecological and economic systems. Emergy indices are effective tools for integrating ecological-economic systems and make it possible to measure and compare all aspects of these ecosystems (Patterson et al., 2017). This study aimed to evaluate sustainability indices for rapeseed (Brassica napus L.) production systems using emergy indices and provide suggestions for sustainable crop production in Kalaleh County.

Materials and Methods

In this study, production systems of rapeseed were evaluated using emergy sustainability indices in Kalaleh County (Golestan province) between 2018 and 2019. For this purpose, 50 rapeseed fields were selected as Cochran equation. First, the spatial and temporal boundaries of the system were defined (Odum, 1996; Odum, 2000), and resources were divided into four categories: renewable environmental resources, non-renewable environmental resources, purchased renewable resources, and purchased non-renewable resources (Amiri et al., 2019). Emergy flow for each input was multiplied by their transformities in joules and grams (Odum, 2000). Finally, emergy indices such as renewability, emergy yield ratio, emergy self-support ratio, environmental loading ratio and

1-M.Sc. Graduated of Agrotechnology, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran
2- Associated Professor, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
3- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
4- Ph.D. Graduated of Agroecology, Deptment of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran.
(*- Corresponding author's Email: hkazemi@gau.ac.ir)

emergy sustainability index were calculated and evaluated in rapeseed production systems.

Results and Discussion

Total emergy input for the rapeseed production was estimated as 1.64E+16 sej ha^{-1} $year^{-1}$. In rapeseed production, dependence on environmental and non-renewable inputs was higher than on purchased and renewable inputs. Soil erosion emergy was the largest emergy input of the total rapeseed production system, with a share of 47.31%. Also, fossil fuel emergy was the largest emergy input of the purchase, with a share of 38.41%. In this research, we calculated the transformity equal to 2.59E+05 sej j^{-1}, specific emergy equal to 7.33E+09 sej g^{-1}, emergy renewability equal to 8.16%, emergy yield ratio equal to 2.17 and emergy investment ratio equal to 0.85. Also, emergy self-support ratio, standard environmental loading ratio, modified environmental loading ratio, standard emergy sustainability index, and modified emergy sustainability index were estimated at 0.54, 13.81, 11.27, 0.16, and 0.19, respectively. Despite the higher contribution of environmental resources in the rapeseed production system, the high share of soil erosion as a non-renewable input and the unreasonable consumption of some non-renewable purchased inputs, such as fossil fuels, led to a decrease in renewability and an increase in environmental load. Based on evaluation of emergy indices, rapeseed ecosystem had the high production efficiency and resource consumption efficiency and it had the great potential to increase economic productivity. However, rapeseed production in Kalaleh county had low environmental and economic sustainability. The implementation of conservation tillage methods and the modernization of machinery can contribute to a reduction in the consumption of non-renewable and economic inputs in rapeseed production ecosystems. This reduction in input consumption not only alleviates environmental pressure but also enhances sustainability. By prioritizing the use of renewable environmental inputs and minimizing the utilization of non-renewable and economic inputs, the emergy sustainability index can be improved.

Conclusion

The rapeseed ecosystems exhibited high production and resource consumption efficiency, along with the significant potential for increasing economic productivity. However, despite the substantial contribution of environmental resources in these systems, the prevalence of soil erosion as a significant portion of the total emergy input resulted in a decline in renewability, an escalation in environmental burden, and ultimately a decrease in sustainability. Enhancing management methods to minimize the consumption of non-renewable and economic resources would be effective in bolstering the environmental and economic sustainability of rapeseed farming ecosystems in Kalaleh County.

Keywords: Emergy indices, Environmental load, Fossil fuel, Renewability, Soil erosion

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

مقاله پژوهشی
جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۳۳۵-۳۱۹

ارزیابی وضعیت پایداری در بوم‌نظام‌های زراعی کلزا (*Brassica napus* L.) با استفاده از تحلیل امرژی (مطالعه موردی: شهرستان کلاله، استان گلستان)

سمانه لطفی[۱]، حسین کاظمی[۲*]، بهنام کامکار[۳] و حمید رضا شاه حسینی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۰۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۵

چکیده

بهره‌برداری بیش از حد از منابع محیطی و مصرف بی‌رویه مواد شیمیایی سبب بروز مشکلات زیست‌محیطی و کاهش پایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی شده است. بنابراین، بررسی الگوهای مصرف انرژی و استفاده کارآمد از انرژی در کشاورزی که از اصول اساسی در کشاورزی پایدار محسوب می‌شود، مفید است. تحلیل امرژی، به‌عنوان ابزار مناسبی برای این منظور، در بوم‌نظام‌های مختلف استفاده می‌شود. این مطالعه با هدف ارزیابی پایداری کشت‌بوم‌های کلزا (*Brassica napus* L.) با استفاده از ارزیابی امرژی در شهرستان کلاله در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ انجام شد. به این منظور، تعداد ۵۰ پرسشنامه برای کلزاکاران در نظر گرفته شد. پس از تعیین مرزهای مکانی و زمانی و تقسیم‌بندی منابع به چهار گروه محیطی تجدیدپذیر، محیطی تجدیدناپذیر، خریداری شده تجدیدپذیر و خریداری شده تجدیدناپذیر، شاخص‌های امرژی در بوم‌نظام زراعی کلزا، محاسبه شد. نتایج نشان داد، ورودی امرژی کل برای بوم‌نظام زراعی کلزا $1/64 \times 10^{16}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال بود. در بوم‌نظام زراعی کلزا وابستگی به ورودی‌های محیطی و تجدیدناپذیر، بیشتر از ورودی‌های خریداری شده و تجدیدپذیر بود. بیشترین سهم از ورودی امرژی کل در بوم‌نظام کلزا مربوط به فرسایش خاک با ۴۷/۳۱ درصد بود. همچنین در بین ورودی‌های خریداری شده، بیشترین سهم مربوط به سوخت فسیلی با ۳۸/۴۱ درصد بود. در بوم‌نظام کلزا به‌ترتیب، شاخص‌های ضریب تبدیل $2/59 \times 10^{5}$ امژول خورشیدی بر ژول، امرژی ویژه $7/33 \times 10^{9}$ امژول خورشیدی بر گرم، تجدیدپذیری امرژی ۸/۱۶ درصد، نسبت عملکرد امرژی ۲/۱۷، نسبت سرمایه‌گذاری امرژی ۰/۸۵، نسبت خودحمایتی امرژی ۰/۵۴، نسبت بارگذاری محیطی استاندارد ۱۳/۸۱، نسبت بارگذاری محیطی اصلاح شده ۱۱/۲۷، شاخص پایداری امرژی استاندارد ۰/۱۶ و شاخص پایداری امرژی اصلاح شده ۰/۱۹ بود. علی‌رغم سهم بالاتر ورودی‌های محیطی نسبت به خریداری شده در بوم‌نظام کلزا، فرسایش بالا، به‌عنوان یک ورودی تجدیدناپذیر، در کنار مصرف نامعقول برخی ورودی‌های اقتصادی تجدیدناپذیر، مانند سوخت‌های فسیلی، موجب تجدیدپذیری پایین و فشار محیطی زیاد در این بوم‌نظام شد. بر اساس ارزیابی شاخص‌های امرژی، بوم‌نظام زراعی کلزا از کارآیی تولید محصول و کارآیی مصرف منابع بالایی برخوردار است و پتانسیل زیادی برای افزایش بهره‌وری اقتصادی دارد. با این وجود، تولید کلزا در شهرستان کلاله پایداری محیطی و اقتصادی کمی دارد. به‌کارگیری روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و نوسازی ماشین‌آلات، موجب کاهش مصرف ورودی‌های تجدیدناپذیر و اقتصادی و در نتیجه، کاهش فشار محیطی و افزایش پایداری در بوم‌نظام زراعی کلزا خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: تجدیدپذیری، سوخت فسیلی، شاخص‌های امرژی، فرسایش خاک، فشار محیطی

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اگروتکنولوژی، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
۳- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی،دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۴- دانش‌آموخته دکتری اگرواکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی،دانشگاه زابل، زابل، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: hkazemi@gau.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2022.72035.1063

مقدمه

نظام‌های کشاورزی به‌عنوان مصرف‌کننده هر دو منابع طبیعی و اقتصادی، از دو راه مصرف زیاد منابع طبیعی و اضافه کردن ترکیبات آلوده‌کننده به محیط، اثرات منفی از خود برجا می‌گذارند (Quintero-Angel & Gonzales-Acevedo, 2018). امنیت غذایی، وابسته به بهره‌وری در کشاورزی، کارآیی مصرف منابع و پایداری بلندمدت نظام‌های کشاورزی است. پایداری در کشاورزی، ایجاد تعادل بین امنیت غذایی و حفظ کیفیت محیط است و عملیات کشاورزی زمانی پایدار است که حافظ کیفیت محیط بوده و مقبولیت اجتماعی و مزایای اقتصادی داشته باشد (Kumaraswamy, 2012). دستیابی به این امر نیازمند روش‌های ارزیابی است که اطلاعات مفیدی در خصوص وضعیت بوم‌نظام و شدت و جهت تغییرات آن در اختیار قرار دهد. این روش‌ها باید شامل جنبه‌های محیطی، اجتماعی و اقتصادی باشد (Quintero-Angel & Gonzales-Acevedo, 2018). روش های ارزیابی محیطی، برای ارزیابی استفاده از منابع، آلودگی‌ها و پایداری در یک نظام به‌کار می‌روند و شامل ارزیابی ورودی- خروجی محیطی، تعیین ردپای بوم شناختی مانند ردپای کربن، ارزش‌گذاری بوم شناختی، ارزیابی چرخه حیات، ارزیابی انرژی و ارزیابی امرژی است (Patterson et al., 2017).

پژوهش‌های زیادی در زمینه ارزیابی انرژی صورت گرفته است، امّا به‌دلیل نادیده گرفتن سهم عوامل طبیعی در بوم‌نظام کشاورزی، محاسبات آن از دقت کافی برخوردار نیست. در این پژوهش‌ها فقط عوامل و متغیرهای اقتصادی محاسبه شده و محیط، به‌عنوان یک عامل مهم در میزان پایداری بوم‌نظام، مورد توجه قرار نمی‌گیرد. تجزیه و تحلیل امرژی نوعی از تجزیه و تحلیل انرژی است که در آن سهم محیط زیست و منابع طبیعی که عمدتاً در کشاورزی فشرده نادیده گرفته می‌شود، کمّی‌سازی شده و بر مبنای واحد مشترک ارزیابی می‌شود (Brown & Ulgiati, 2004). مزیت روش ارزیابی امرژی نسبت به سایر روش‌ها این است که جریان‌های متنوع انرژی و ماده را به شکل واحدی در نظام مورد مطالعه منعکس می‌کند که نشان‌دهنده هر دو مورد کمیت و کیفیت آن است (Brown et al., 2016). تحلیل امرژی با تبدیل تمام جریان‌ها و ذخایر طبیعی و منابع اقتصادی به واحدهای امرژی خورشیدی، پایداری یک بوم‌نظام را به‌طور کامل بررسی می‌کند (Odum, 1996). ارزیابی امرژی با تعیین میزان پایداری نظام‌های بوم‌شناختی و اقتصادی پیوسته، فهم ما از این نظام‌ها و چگونگی اثرات متقابل آن‌ها بر هم را افزایش می‌دهد. شاخص‌های امرژی، ابزار خوبی برای تلفیق نظام‌های بوم‌شناختی- اقتصادی هستند و امکان اندازه‌گیری و مقایسه جنبه‌های مختلف این بوم‌نظام‌ها را فراهم می‌سازند (Patterson et al., 2017). این شاخص‌ها قادر به تعیین میزان کارآیی، تجدیدپذیری، فشار محیطی و پایداری محیطی و اقتصادی یک نظام هستند (Odum, 2000; Brown & Ulgiati, 2004). امرژی، مقدار کل انرژی مصرفی در یک سامانه است و امرژی خورشیدی، مقدار انرژی در دسترس خورشیدی است که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم مصرف شده تا به ارائه خدمت یا تولید محصول منجر شود. به امرژی، انرژی مجسم یا حافظه انرژی نیز می‌گویند که با امژول خورشیدی (sej) بیان می شود (Odum, 1996).

ارزیابی امرژی برای ارزیابی پایداری نظام‌های تولید در مقیاس‌های مختلف کاربرد دارد (Zhai et al., 2017). برای مثال، ارزیابی سه نظام کشاورزی در آمریکا شامل تولید ذرت (*Zea mays* L.)، توت سیاه (*Morus nigra* L.) و سامانه سنتی کشت چندگانه نشان داد، سامانه سنتی دارای کمترین بارگذاری زیست‌محیطی و بیشترین پایداری و سامانه تولید ذرت دارای بیشترین بارگذاری محیطی و کمترین پایداری بود (Martin et al., 2006). همچنین، ارزیابی پایداری نظام‌های تولید سیر (*Allium sativum* L.)، پیاز (*Allium cepa* L.) و گندم (*Triticum aestivum* L.) در منطقه سیستان با تحلیل امرژی نشان داد، تولید گندم نظام برتری برای دست‌یابی به پایداری نسبت به تولید سیر و پیاز بود (Yasini et al., 2020). با این وجود، پژوهش‌های بسیار کمی در زمینه ارزیابی امرژی گیاهان زراعی به‌صورت موردی در ایران و حتی جهان انجام شده است. هدف از این پژوهش، ارزیابی امرژی بوم‌نظام زراعی کلزا (*Brassica napus* L.) به‌منظور تعیین میزان پایداری آن و ارائه پیشنهاداتی برای مدیریت بهینه و پایدار نظام تولید این محصول مهم در منطقه مورد مطالعه، به عنوان یکی از قطب‌های تولید کلزا در ایران بود.

مواد و روش‌ها

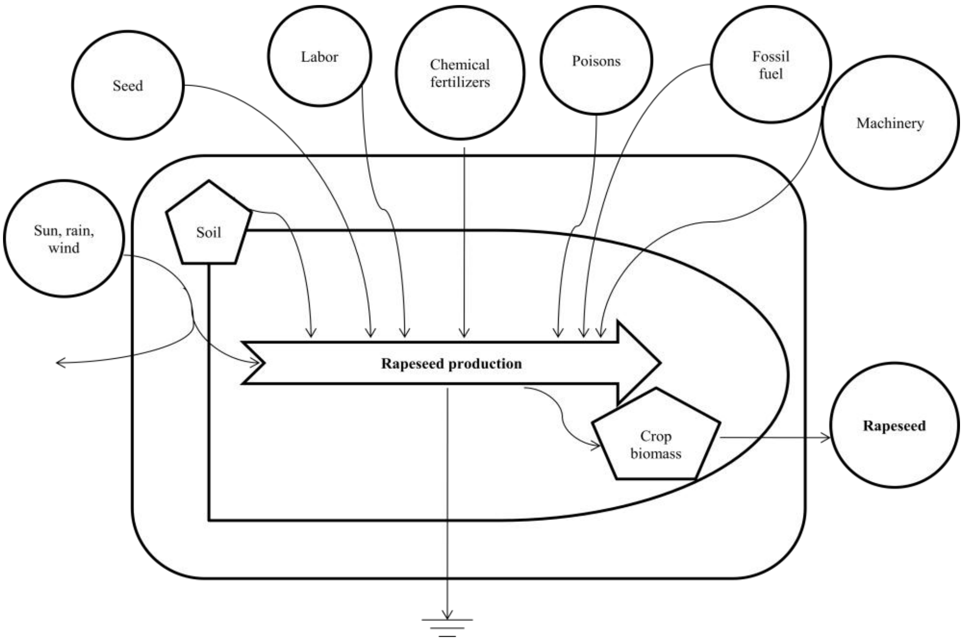
مشخصات منطقه مورد مطالعه و جمع آوری داده‌ها: این پژوهش در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در شهرستان کلاله، در استان

گلستان، انجام شد. جمع‌آوری داده‌ها از طریق پرسشنامه و مصاحبه چهره به چهره با کلزاکاران انجام شد. برای تعیین تعداد پرسشنامه از معادله کوکران (معادله ۱) استفاده شد (Cochran, 2003).

$$n = \frac{\frac{z^2pq}{d^2}}{1+\frac{1}{N}\left(\frac{z^2pq}{d^2}-1\right)}$$ معادله (۱)

که در آن، n: حجم نمونه، N: حجم جامعه آماری، z: خطای معیار ضریب اطمیان قابل قبول (۱/۹۶)، p: نسبتی از جمعیت دارای صفتی خاص (۰/۵)، q: نسبتی از جمعیت فاقد صفتی خاص (۰/۵) و d: دقت احتمالی قابل قبول بود. تعداد پرسشنامه برای کلزاکاران ۵۰ در نظر گرفته شد. انتخاب کشاورزان با روش نمونه‌برداری تصادفی انجام گرفت.

تحلیل امرژی: نخستین مرحله در تحلیل امرژی، تعیین مرزهای مکانی و زمانی، مهم‌ترین ورودی‌های نظام و جریان‌های ماده، انرژی و اقتصادی در آن (شکل ۱) است (Odum, 1996; Odum, 2000). این عمل، ورودی‌ها به نظام را، به محیطی یا غیرمحیطی، خریداری شده یا رایگان و تجدیدپذیر یا تجدیدناپذیر تقسیم می‌کند (Odum, 2000).



شکل ۱- دیاگرام جریان امرژی بوم‌نظام زراعی کلزا در شهرستان کلاله
Fig. 1- Emergy flow diagram of rapeseed farming ecosystem in Kalaleh county

تحلیل امرژی بر اساس تقسیم تمام ورودی‌ها به چهار گروه ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر[1] (R) مانند نور خورشید، باران و باد، ورودی‌های محیطی که به‌طور بالقوه تجدیدپذیر هستند، امّا به‌دلیل زمان بسیار زیاد در تجدید آن ها به‌عنوان ورودی های محیطی تجدیدناپذیر در نظر گرفته می‌شوند[2] (N0) مانند فرسایش ماده آلی خاک، ورودی‌های خریداری شده تجدیدپذیر[3] (F_R) و ورودی‌های خریداری شده تجدیدناپذیر[4] (F_N) می‌باشد (Campbell & Laherrere, 1998; Asgharipour et al., 2019). تمام مزارع انتخابی از مرحله آماده‌سازی زمین تا برداشت محصول مورد پایش قرار گرفته و اطلاعاتی شامل سابقه کشاورزی مزرعه، زمان و نوع انجام عملیات آماده سازی زمین، روش کاشت، کودپاشی، سمپاشی و برداشت، نوع و مقدار نهاده‌های مصرفی مانند کود شیمیایی و سموم

1 -Renewable environmental inputs
2 -Non-renewable environmental inputs
3 -Renewable purchased inputs
4- Non-renewable purchased inputs

شـیمیایی، نوع ماشـین‌آلات و دفعات اسـتفاده از آن‌ها، نوع و میزان سـوخت مصـرفی در هر عملیات زراعی، نوع، تعداد و مدت زمان به‌کارگیری نیروی کارگری و عملکرد دانه ثبت شـد. داده‌های مربوط به‌میزان فرسایش و ماده آلی خاک و داده‌های اقلیمی، به‌ترتیب از اداره منابع طبیعی و آبخیزداری و اداره هواشناسی شهرستان کلاله جمع‌آوری گردید (جدول ۱).

جدول ۱- میانگین سالانه متغیرهای اقلیمی و خاکی در شهرستان کلاله

Table 1- Average climatic and edaphic variables in Kalaleh county

متغیر Variable	واحد Unit	میانگین سالانه Annual average
تشعشع خورشیدی Solar radiation	ژول در مترمربع $j.m^{-2}$	1.73×10^{9}
بارندگی Rainfall	میلی‌متر mm	980
سرعت باد Wind speed	متر در ثانیه $m.s^{-1}$	3.06
میزان فرسایش خاک Soil erosion	کیلوگرم در هکتار $kg.ha^{-1}$	2430
ماده آلی خاک Soil organic matter	درصد %	1.5

جریان امرژی منابع تجدیدپذیر برای تمام مزارع در این پژوهش، یکسان در نظر گرفته شد. برای تعیین مقدار ورودی کودها و سموم شیمیایی، مقدار ترکیب اثرگذار آن‌ها محاسبه شد (Jafari et al., 2018). برای محاسبه ورودی ماشین‌آلات، مجموع وزن ماشین‌آلات مورد استفاده بر مساحت کاربرد سالانه آن‌ها و سپس بر عمر مفید آن‌ها تقسیم گردید. مساحت کاربرد سالانه و عمر مفید ماشین‌آلات در ایران به‌ترتیب ۱۰۰۰ هکتار و ۱۰ سال است (Houshyar et al., 2018). ضریب تجدیدپذیری نیز برای تمام ورودی‌ها تعیین شد. این ضریب برای نیروی کارگری و بذر کلزا به‌ترتیب ۰/۱۰ (Ulgiati & Brown, 2002) و ۰/۴۳ (Amiri et al., 2019) است. تمام محاسبات مربوط به تحلیل امرژی، توسط نرم‌افزار EXCEL 2019 انجام شد. برای محاسبه میزان امرژی خورشیدی ورودی‌ها و خروجی در بوم‌نظام زراعی کلزا، ابتدا مقدار مهم‌ترین ورودی‌ها و خروجی (دانه) در هر کدام از ۵۰ مزرعه بر حسب واحد جرم (گرم) یا واحد انرژی (ژول) یا واحد پول (ریال)، در هکتار در سال تعیین شد. ضریب تبدیل برای محاسبه مقدار انرژی سوخت فسیلی ۵۶/۳۱ (Houshyar et al., 2018)، نیروی کارگری ۱/۹۶ (Rajabi Hamedani et al., 2011) و دانه کلزا ۲۸/۳ (Kazemi et al., 2016) بود. برای محاسبه ورودی‌های محیطی نور خورشید، باد، باران و فرسایش خاک بر حسب واحد ژول، به‌ترتیب از معادله‌های ۲ تا ۵ استفاده شد.

معادله (۲)

Solar energy= (10000 $m^2.ha^{-1}$)×(radiation)×(1-albedo)

که در آن، میزان آلبدو برای کلزا ۰/۲۳ بود (Amiri et al., 2019).

معادله (۳)

Wind energy= (10000 $m^2.ha^{-1}$)×(density of wind)×(drag coefficient)×(wind speed)^3×(time)

که در آن، چگالی باد ۱/۳ کیلوگرم بر متر مکعب، ثابت درگ ۰/۰۰۱ و زمان $۳/۱۵\times۱۰^{۷}$ ثانیه بود (Ghaley et al., 2018).

معادله (۴)

Rain energy= (10000 $m^2.ha^{-1}$) × (rainfall) × (density) × (gibbs free energy)

که در آن، چگالی باران ۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و انرژی آزاد گیبس ۴۹۴۰ ژول بر کیلوگرم بود (Houshyar et al., 2018).

معادله (۵)

Energy of soil erosion= (soil loss) × (%organic matter) × (organic matter energy) × (conversion)

که در آن، انرژی ماده آلی ۵۴۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم و عامل تبدیل ۴۱۸۶ ژول بر کیلوکالری بود (Houshyar et al., 2018).

جدول ۲- معادلات و خصوصیات شاخص‌های امرژی برای ارزیابی بوم‌نظام زراعی کلزا

Table 2- Specifications and formula of emergy-based indices for evaluation of rapeseed farming ecosystem

شاخص Index	فرمول Formula	خصوصیات Specifications	منبع Reference
ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر Renewable environmental inputs	R	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع محلی رایگان Renewable flows from free local resources	Asgharipour et al., 2019
ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر Non-renewable environmental inputs	N0	جریان‌های بالقوه تجدیدپذیر از منابع محلی رایگان که به‌عنوان تجدیدناپذیر در نظر گرفته می‌شوند Local potentially renewable flows from free local resources that is being used in a nonrenewable	Campbell & laherrere, 1998
ورودی‌های خریداری شده تجدیدپذیر Renewable purchased inputs	F_R	جریان‌های تجدیدپذیر از منابع خریداری شده Renewable flows from purchased resources	Asgharipour et al., 2019
ورودی‌های خریداری شده تجدیدناپذیر Non-renewable purchased inputs	F_N	جریان‌های تجدیدناپذیر از منابع خریداری شده Non-renewable flows from purchased resources	Asgharipour et al., 2019
ورودی امرژی کل Total emergy input	$U=R+N0+F_R+F_N$	کل منابع امرژی مورد نیاز برای حمایت از نظام تولید Total emergy resources required to support the production system	Asgharipour et al., 2019
خروجی امرژی کل Total emergy output	$Y= R+N0+F_R+F_N$	امرژی کل تولیدات نظام Total emergy of system products	Asgharipour et al., 2019
ضریب تبدیل Transformity	$Tr = \frac{U}{AE}$	مقدار امرژی برای تولید یک واحد خروجی بر حسب ژول است. AE انرژی قابل استفاده محصول است Amount of emergy required to produce an output unit in joules. AE is the accessible energy of the product	Brown & Ulgiati, 2004
امرژی ویژه Specific emergy	$SpE = \frac{U}{W}$	مقدار امرژی برای تولید یک واحد خروجی بر حسب گرم است. W جرم محصول است. Amount of emergy required to produce an output unit in grames. W is the mass of the product	Brown & Ulgiati, 2004
تجدیدپذیری امرژی Emergy renewability	$\%R = \frac{R + FR}{U} \times 100$	درصد امرژی تجدیدپذیر استفاده شده توسط نظام Percentage of the renewable energy used by the system	Odum, 2000
نسبت عملکرد امرژی Emergy yield ratio	$EYR = \frac{Y}{FR + FN}$	مقیاس استفاده از منابع محیطی با سرمایه‌گذاری در منابع اقتصادی Ability of a process to use renewable and nonrenewable environmental resources with economic resources as a capital	Odum, 2000
نسبت سرمایه‌گذاری امرژی Emergy investment ratio	$EIR = \frac{FR + FN}{R + N0}$	مقیاس شدت سرمایه‌گذاری اقتصادی و کاربرد منابع محیطی Indicates the intensity of economic investment and its matching to the free renewable and nonrenewable resources of the environment	Asgharipour et al., 2019
نسبت خودحمایتی امرژی Emergy self-support ratio	$ESR = \frac{R + N0}{U}$	مقیاس وابستگی نظام تولید به محیط Measure of production system dependence on the environment	Zhai et al., 2017
نسبت بارگذاری محیطی استاندارد Standard environmental loading ratio	$ELR = \frac{N0 + FR + FN}{R}$	فشار محیطی ایجاد شده توسط یک نظام Environmental pressure produced by a process	Lu et al., 2014
نسبت بارگذاری محیطی اصلاح شده Modified environmental loading ratio	$ELR^* = \frac{N0 + FN}{R + FR}$	فشار محیطی ایجاد شده توسط یک نظام Environmental pressure produced by a process	Lu et al., 2014
شاخص پایداری امرژی استاندارد Standard emergy sustainability index	$ESI = \frac{EYR}{ELR}$	مقیاسی از پایداری نظام Measure of the sustainability of the system	Lu et al., 2014
شاخص پایداری امرژی اصلاح شده Modified emergy sustainability index	$ESI^* = \frac{EYR}{ELR^*}$	مقیاسی از پایداری نظام Measure of the sustainability of the system	Lu et al., 2014

پس از تعیین مناسب‌ترین ضریب تبدیل امرژی خورشیدی برای هر ورودی، مقدار امرژی خورشیدی از طریق ضرب مقدار عددی آن ورودی در ضریب تبدیل مربوط‌اش محاسبه گردید (Odum, 2000). ارزیابی امرژی در این پژوهش بر اساس ضریب سیاره‌ای $12/00 \times 10^{24}$ امژول خورشیدی در سال انجام گرفت و ضرایب تبدیل نیز بر این اساس تعیین شد (Brown et al., 2016). ورودی امرژی کل در هر مزرعه با جمع مقادیر امرژی تمام ورودی‌ها به آن مزرعه محاسبه گردید. سپس، ورودی امرژی و خروجی امرژی برای بوم‌نظام زراعی کلزا با میانگین‌گیری از تمام ۵۰ مزرعه مورد مطالعه محاسبه گردید. در نهایت، شاخص‌های ضریب تبدیل، امرژی ویژه، نسبت عملکرد امرژی و نسبت سرمایه‌گذاری امرژی برای ارزیابی کارآیی و شاخص‌های نسبت خودحمایتی امرژی، نسبت بارگذاری محیطی استاندارد، نسبت بارگذاری محیطی اصلاح شده، شاخص پایداری امرژی استاندارد و شاخص پایداری امرژی اصلاح شده برای ارزیابی پایداری در بوم‌نظام زراعی کلزا محاسبه شد.

نتایج و بحث

ساختار امرژی ورودی: مقادیر امرژی مهم‌ترین جریان‌های منابع محیطی و ورودی‌های خریداری شده و سهم هر یک از آن‌ها از ورودی امرژی کل در بوم‌نظام زراعی کلزا در جدول ۳ نشان داده شده‌اند.

امرژی خورشیدی برای هر ورودی در این جدول، با ضرب مقدار آن ورودی در ضریب تبدیل خورشیدی مربوط‌اش به‌دست آمده است. ورودی امرژی کل، به‌عنوان امرژی کل حمایت‌کننده بوم‌نظام زراعی کلزا برابر با $1/64 \times 10^{16}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال (جدول ۳) محاسبه شد. قبلاً این مقدار برای نظام تولید معیشتی و تجاری کلزا در شهرستان خرم‌آباد به‌ترتیب $2/47 \times 10^{16}$ و $4/13 \times 10^{16}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال (Amiri et al., 2019) بود.

ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر (R): این ورودی‌ها شامل نور خورشید، باران و باد هستند. سهم این ورودی‌ها از ورودی امرژی کل در بوم‌نظام زراعی کلزا پایین (۶/۷۶ درصد) بود (شکل ۲) که نشان‌دهنده مصرف کم منابع محیطی تجدیدپذیر برای تولید کلزا در شهرستان کلاله است.

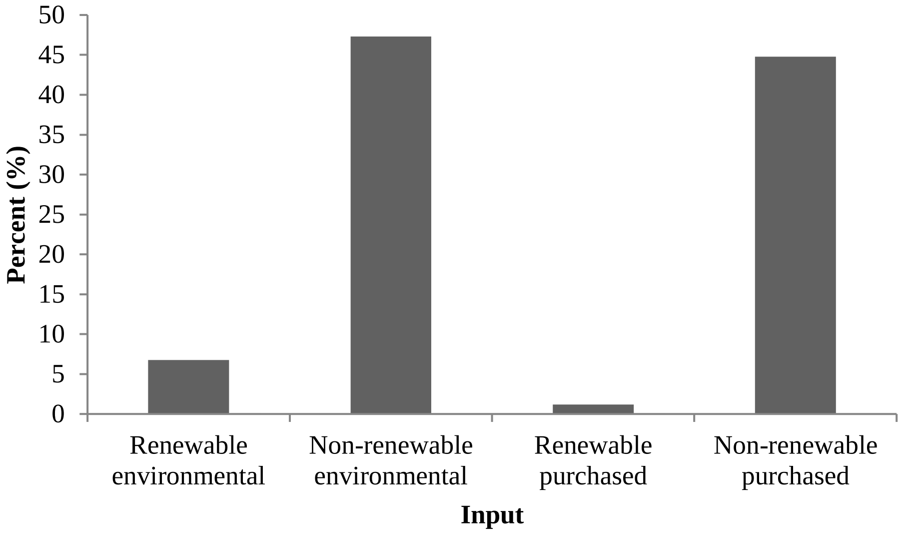
باران بیشترین مقدار امرژی بین منابع تجدیدپذیر محیطی در نظام زراعی کلزا را داشت (جدول ۳). سرچشمه تمام منابع تجدیدپذیر محیطی در ژئوبیو سفر از یک منبع یکسان است. بنابراین، برا ساس نظر (Odum, 2000) برای پرهیز از دوباره‌کاری، بزرگ‌ترین ورودی امرژی تجدیدپذیر محیطی، به‌عنوان ورودی محیطی تجدیدپذیر کل در نظر گرفته می‌شود که در اینجا باران می‌باشد. بیشتر بودن امرژی باران نسبت به سایر ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر، به‌دلیل بارندگی مطلوب و روزهای ابری زیاد و همچنین سرعت پایین باد در این شهرستان است. در مطالعه ارزیابی پایداری بوم‌نظام‌های زراعی پاییزه و بهاره سیب‌زمینی در شهرستان گرگان هم مشخص شد که بیشترین میزان امرژی بین ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر، متعلق به باران بود (Shahhoseini et al., 2020).

ورودی‌های محیطی تجدید ناپذیر (N0): بین ورودی‌های محیطی و خریداری شده تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر، بیشترین سهم از ورودی امرژی کل به ورودی¬های محیطی تجدید¬ناپذیر تعلق داشت (۴۷/۳۱ درصد) (شکل ۲). سهم بالای این ورودی در بوم‌نظام زراعی کلزا نشان‌دهنده این موضوع است که هزینه‌های محیطی تولید کلزا در شهرستان کلاله بحرانی است. ورودی محیطی تجدیدناپذیر برای این پژوهش، شامل فر سایش خاک بود. همچنین در میان تمام ۱۴ ورودی در نظر گرفته شده در این پژوهش، سهم فرسایش خاک از ورودی امرژی کل، بالاترین مقدار بود (جدول ۳). علت اصلی این امر، بارندگی سالانه زیاد در این شهرستان (۹۸۰ میلی‌متر) و عملیات خاک‌ورزی نامناسب و کاربرد زیاد ماشین‌آلات در مزارع کلزا در شهرستان کلاله می‌باشد. به نظر می‌رسد، اجرای روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و کاربرد ماشین‌آلات چند منظوره، با هدف کاهش دفعات ورود آن ها به مزرعه، در جلوگیری از افزایش فرسایش خاک و در نتیجه، کاهش ورودی امرژی به مزارع مؤثر است. سهم فرسایش خاک از ورودی امرژی کل در تحقیقی با شرایط مشابه این پژوهش، برای کشت رایج ذرت علوفه‌ای در دانمارک، ۳/۳ درصد به‌دست آمد (Ghaley et al., 2018).

جدول ۳- منابع طبیعی و اقتصادی، تجدیدپذیری، ضریب تبدیل و امرژی خورشیدی کلزا

Table 3- Natural and economic flow, renewability, transformity and solar emergy for rapeseed

متغیر Variable	واحد Unit	جریان یک‌ساله خام Raw annual flow	ضریب تجدیدپذیری Renewability factor	ضریب تبدیل خورشیدی Solar transformity (sej.unit^{-1})	امرژی خورشیدی Solar emergy (sej.ha^{-1}.yr^{-1})	امرژی خورشیدی Solar emergy (%)	منابع ضریب تبدیل References for transformity
ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر Renewable environmental inputs							
نور خورشید Sunshine	ژول J	1.33E+13	1	1	1.33E+13	0	Odum (1996)
باران Rainfall	ژول J	4.84E+10	1	2.30E+04	1.11E+15	6.76	Odum (1996)
باد Wind	ژول J	1.17E+10	1	1.86E+03	2.18E+13	0	Odum (1996)
جمع Subtotal					1.11E+15	6.76	
ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر Non-renewable environmental inputs							
شدت فرسایش خاک Soil erosion	ژول J	8.24E+10	0	9.42E+04	7.76E+15	47.31	Ghaley et al. (2018)
جمع Subtotal					7.76E+15	47.31	
ورودی‌های بازاری Purchased inputs							
کود نیتروژن N fertilizer	گرم g	8.49E+04	0	4.84E+09	4.11E+14	2.50	Ghisellini et al. (2014)
کود فسفر P fertilizer	گرم g	4.21E+04	0	4.97E+09	2.09E+14	1.07	Ghisellini et al. (2014)
کود گوگرد S fertilizer	گرم g	2.44E+04	0	6.94E+07	1.69E+12	0.01	Martin et al. (2006)
علف‌کش Herbicide	گرم g	1.30E+03	0	1.13E+10	1.47E+13	0.08	Bastianoni et al. (2001)
حشره‌کش Insecticide	گرم g	1.20E+03	0	1.13E+10	1.36E+13	0.08	Bastianoni et al. (2001)
قارچ‌کش Fungicide	گرم g	1.25E+03	0	1.13E+10	1.41E+13	0.08	Bastianoni et al. (2001)
ماشین‌آلات Machinery	گرم g	2.92E+03	0	1.01E+10	2.95E+13	0.17	Campbell et al. (2005)
بذر Seed	ریال Rial	2.06E+06	0.43	2.50E+08	5.15E+14	3.14	Amiri et al. (2019)
سوخت فسیلی و روغن Fossil fuel and lubricant	ژول J	7.32E+10	0	8.60E+04	6.30E+15	38.41	Brandt-Wiliams (2002)
نیروی کارگری Human labor	ژول J	2.94E+07	0.10	2.22E+06	6.53E+13	0.39	Lu et al. (2009)
جمع Subtotal					7.57E+15	45.93	
جمع کل Total					1.64E+16	100.00	
عملکرد دانه Grain yield	ژول J	6.34E+10		2.59E+05	1.64E+16		محاسبه شده Calculated



شکل ۲- سهم ورودی‌های محیطی و خریداری شده تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در بوم‌نظام زراعی کلزا
Fig. 1- Share of environmental and purchased renewable and non-renewable inputs in the rapeseed farming ecosystem

ورودی‌های خریداری شده تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر

(F_R, F_N): ورودی های بازاری تجدیدپذیر،کمترین سهم در میان ورودی‌های محیطی و خریداری شده تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر را داشت (۱/۱۷ درصد)؛ درحالی‌که سهم ورودی‌های بازاری تجدیدناپذیر، بسیار زیادتر از آن (۴۴/۷۶ درصد) بود (شکل ۲)، که نشان‌دهنده وابستگی زیاد ورودی‌های خریداری شده به منابع تجدیدناپذیر و در نتیجه، فشار زیاد به محیط، برای تولید کلزا در شهرستان کلاله است. همچنین، سهم زیاد ورودی‌های خریداری شده که اغلب خارجی نیز هستند، در نظام تولید کلزا نشان‌دهنده این موضوع است که این نظام زراعی، یک نظام باز است و به شدت تحت تأثیر ورودی‌های خریداری شده از بازار قرار دارد. بنابراین، مدیریت و مصرف بهینه ورو‌ی‌های بازاری، به‌ویژه ورودی های تجدیدناپذیر، به‌منظور کنترل و کاهش سهم منابع تجدیدناپذیر در تولید محصول ضروری است. در مطالعه‌ای میزان ورودی امرژی خریداری شده برای بوم‌نظام سیب‌زمینی در فلوریدای آمریکا ۱/۰۳×10^{16} امژول خورشیدی در هکتار محاسبه شد (Brandt-Wiliams, 2002).

در این مطالعه، ماشین‌آلات کمترین سهم بین تمام ورودی‌ها به بوم‌نظام زراعی کلزا را داشت (۰/۱۷ درصد) (جدول ۳)، امّا سهم سوخت فسیلی، بیشترین میزان بین تمام ورودی‌های خریداری شده در نظام زراعی کلزا بود (۳۸/۴۱ درصد). براساس مطالعه میدانی، پمپ‌های آبیاری در اغلب مزارع، گازوئیلی و فرسوده بودند. همچنین، عملیات مکرر خاک‌ورزی و کاربرد ماشین‌آلات فرسوده، به‌ویژه تراکتور، در اغلب مزارع، موجب افزایش مصرف سوخت و در نتیجه، سهم زیاد این ورودی در تولید کلزا در این شهرستان شد. آموزش و تشویق کشاورزان به کاربرد روش‌های خاک‌ورزی مناسب، نوسازی ماشین‌آلات و پمپ‌های دیزلی آبیاری یا برقی کردن آن‌ها، می‌تواند در کاهش مصرف سوخت و در نتیجه، کاهش ورودی امرژی به نظام تولید کلزا مؤثر باشد. در عین حال، میزان امرژی ورودی نیروی کارگری ۶/۵۳×10^{13} امژول خورشیدی در هکتار در سال بود. سهم بسیار کم این ورودی در تولید محصول (۰/۳۹)، نشان می‌دهد که نظام تولید کلزا در شهرستان کلاله، تا حدود زیادی، تجاری است. میزان امرژی نیروی کارگری برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در منطقه سیستان به‌ترتیب ۵/۲۲×10^{14}، ۲/۸۲×10^{15} و ۵/۰۴×10^{15} امژول خورشیدی در هکتار محاسبه شد (Yasini et al., 2020).

در این پژوهش، میزان امرژی برای ورودی بذر ۵/۱۵×10^{14} امژول خورشیدی در هکتار در سال به‌دست آمد (جدول ۳) که بیشتر از مقدار گزارش شده برای تولید معیشتی (۴/۴۰×10^{14} امژول خورشیدی در هکتار در سال) و تجاری (۳/۳۰×10^{14} امژول خورشیدی در هکتار

در سال) کلزا در خرم‌آباد (Amiri et al., 2019) بود. بر اساس اطلاعات پرسشنامه‌ها، مصرف بذر برای کاشت در شهرستان کلاله، در هر دو شرایط دست‌پاش و ماشینی، بیشتر از مقدار توصیه شده بود. بنابراین، آموزش کشاورزان در خصوص نحوه کشت مناسب و تنظیم ماشین‌های کاشت، در کاهش مصرف این ورودی و در نتیجه، کاهش ورودی امرژی و افزایش کارآیی در نظام تولید کلزا می‌تواند مؤثر باشد. سهم ورودی آفت‌کش در نظام زراعی کلزا در شهرستان کلاله پایین (۰/۲۴ درصد) بود که نشان‌دهنده سلامت نسبی این محصول از لحاظ کاربرد سموم شیمیایی در مزارع این شهرستان است. کنترل دستی علف‌های هرز و عدم شیوع آفت و بیماری در اغلب مزارع، در کاهش قابل توجه سهم این ورودی در تولید کلزا مؤثر بود. همچنین کود نیتروژن، بیشترین سهم از ورودی امرژی کل بین کودهای شیمیایی را داشت (۲/۵۰ در صد) (جدول ۳). مصرف کودهای آلی می‌تواند تا حد امکان، در کاهش سهم این ورودی شیمیایی و در نتیجه، افزایش سلامت محصول مؤثر باشد.

ارزیابی شاخص‌های امرژی: شاخص‌های امرژی برای تعیین کارآیی، تجدیدپذیری، فشار محیطی و پایداری نظام‌های تولید به‌کار می‌رود (Odum, 2000; Brown & Ulgiati, 2004). ارزیابی این شاخص‌ها در بوم‌نظام‌ها به شناسایی و کمّی‌سازی اثرات محیطی، اقتصادی و پایداری آن‌ها کمک کرده و نتایج آن در سطح محلی برای کشاورزان و سیاست‌گذاران برای اتخاذ بهترین تصمیم برای رسیدن به کشاورزی پایدار مؤثر است (Jafari et al., 2018).

ضریب تبدیل (Tr) و امرژی ویژه (SpE): متوسط عملکرد دانه در نظام زراعی مورد بررسی ۲۲۳۸/۶ کیلوگرم در هکتار بود که کارآیی نظام در تبدیل ورودی‌ها به خروجی اقتصادی را نشان می‌دهد. همچنین امرژی اختصاص یافته به عملکرد دانه در نظام تولید کلزا در شهرستان کلاله $1/64\times10^{16}$ امژول خورشیدی در هکتار در سال برآورد شد. ضریب تبدیل و امرژی ویژه، به‌عنوان مقادیر امرژی واحد، بیانگر کارآیی یک نظام تولید هستند. مقادیر کمتر این شاخص‌ها نشان‌دهنده عملکرد و کارآیی بیشتر فرآیند تولید در رقابت محیطی و اقتصادی است؛ به این معنی که به‌ازای هر واحد از محصول خروجی، ورودی امرژی کمتری اختصاص یافته است (Odum, 2000).

جدول ٤- مقادیر شاخص‌های امرژی در بوم‌نظام زراعی کلزا
Table 4- The values of emergy indices in rapeseed production system

شاخص Index	واحد Unit	بوم‌نظام کلزا Rapeseed ecosystem
ضریب تبدیل Transformity	امژول خورشیدی بر ژول $sej.j^{-1}$	2.59E+05
امرژی ویژه Specific emergy	امژول خورشیدی بر گرم $sej.g^{-1}$	7.33E+09
تجدیدپذیری امرژی Renewability	درصد %	8.16
نسبت عملکرد امرژی Emergy yield ratio	-	2.17
نسبت سرمایه‌گذاری امرژی Emergy investment ratio	-	0.85
نسبت خودحمایتی امرژی Emergy self-support ratio	-	0.54
نسبت بارگذاری محیطی استاندارد Standard environmental loading ratio	-	13.81
نسبت بارگذاری محیطی اصلاح شده Modified environmental loading ratio	-	11.27
شاخص پایداری امرژی استاندارد Standard emergy sustainability index	-	0.16
شاخص پایداری امرژی اصلاح شده Modified emergy sustainability index	-	0.19

مقدار ضریب تبدیل و امرژی ویژه نظام زراعی کلزا به‌ترتیب ۲/۵۹×۱۰^۵ امژول خورشیدی بر ژول و ۷/۳۳×۱۰^۹ امژول خورشیدی بر گرم بود (جدول ۴) که نشان می‌دهد، بوم‌نظام زراعی کلزا در شهرستان کلاله از کارآیی تولید بالایی برخوردار است. مقدار ضریب تبدیل در این تحقیق کمتر از مقادیر ۸/۰۲×۱۰^۵ و ۲/۶۰×۱۰^۵ امژول خورشیدی بر ژول به‌ترتیب برای نظام‌های معیشتی و تجاری تولید کلزا در خرم‌آباد بود. همچنین، میزان امرژی ویژه در این پژوهش کمتر از مقدار ۲/۲۵×۱۰^{۱۰} و بیشتر از مقدار ۷/۲۴×۱۰^۹ امژول خورشیدی بر گرم، به‌ترتیب برای تولید معیشتی و تجاری کلزا در خرم‌آباد بود (Amiri et al., 2019).

تجدیدپذیری امرژی (%R): این شاخص نشان‌دهنده سهم منابع تجدیدپذیر در حمایت از یک نظام تولید می‌باشد (Odum, 2000). نسبت تجدیدپذیری امرژی در این پژوهش برای نظام زراعی کلزا ۸/۱۶ درصد بود (جدول ۴). به عبارت دیگر، ۹۱/۸۴ درصد از کل امرژی ورودی در این نظام تولید، وابسته به منابع تجدیدناپذیر است که بخش عمده آن مربوط به فرسایش خاک و سوخت فسیلی می‌باشد. با کاهش سهم این منابع در نظام زراعی کلزا تا حد امکان، می‌توان تجدیدپذیری و در نتیجه، پایداری نظام زراعی را افزایش داد. افزایش سهم منابع تجدیدپذیر و کاهش مصرف منابع تجدیدناپذیر در یک نظام تولید، موجب موفقیت آن نظام در رقابت اقتصادی و در نتیجه، افزایش پایداری می شود (Asgharipour et al., 2019)؛ زیرا منابع تجدیدناپذیر با گذشت زمان کمیاب‌تر می‌شوند (Brown & Ulgiati, 2004). مقدار تجدیدپذیری در این پژوهش بیشتر از مقدار ۵/۳۰ برای نظام تجاری و کمتر از مقدار ۱۹/۹۰ درصد برای نظام معیشتی تولید کلزا در خرم آباد (Amiri et al., 2019) بود. این شاخص برای بوم‌نظام تولید متداول ذرت علوفه‌ای در دانمارک ۱۶ درصد گزارش شده است (Ghaley et al., 2018).

نسبت عملکرد امرژی (EYR): این شاخص نشان‌دهنده کارآیی مصرف منابع و توانایی یک نظام در مصرف منابع محیطی، از طریق سرمایه‌گذاری در منابع خریداری شده می‌باشد و مقادیر بیشتر آن نشان‌دهنده جذب بیشتر امرژی محیطی در نظام است (Brown & Ulgiati, 2004). مقدار EYR در این تحقیق ۲/۱۷ بود (جدول ۴) که نشان می‌دهد، نظام زراعی کلزا در شهرستان کلاله از کارآیی مصرف منابع بالایی برخوردار است. کمترین مقدار EYR برای یک نظام تولید، سهم منابع محیطی در یک نظام تولید، کمترین مقدار و وابستگی به منابع اقتصادی در بالاترین سطح است؛ بنابراین، مقادیر بیشتر این شاخص، مطلوب‌تر است (Asgharipour et al., 2019). اجرای راهکارهای کاهش مصرف منابع اقتصادی، برای مثال، نوسازی ماشین‌آلات و پمپ‌های آبیاری برای افزایش راندمان و در نتیجه، کاهش مصرف سوخت و نیز استفاده از بذور با قوه نامیه و درصد جوانه‌زنی بیشتر برای کاهش مصرف بذر (به‌عنوان ورودی اقتصادی) موجب افزایش این شاخص و در نتیجه، کارآیی مصرف بیشتر خواهد شد. این شاخص، حاصل تقسیم خروجی امرژی کل (محیطی و خریداری شده) بر امرژی ورودی خریداری شده است. بنابراین، کاهش مصرف منابع اقتصادی و افزایش مصرف ورودی‌های محیطی، در افزایش این شاخص و بهبود کارآیی مؤثر است (Odum, 2000). مقدار EYR در این پژوهش کمتر از مقدار ۲/۳۱ برای نظام تولید تجاری کلزا در خرم‌آباد (Amiri et al., 2019) و بیشتر از مقادیر ۱/۵۳، ۱/۲۰، ۱/۱۵، ۱/۰۵ و ۱/۰۷ به‌ترتیب برای نظام های تولید معیشتی کلزا در خرم‌آباد (Amiri et al., 2019) و تولید ذرت (Zhang et al., 2012)، برنج، سبزیجات و تناوب برنج و سبزیجات در چین (Lu et al., 2010) به‌دست آمد.

نسبت سرمایه‌گذاری امرژی (EIR): این شاخص، میزان سرمایه‌گذاری یک نظام تولید در منابع اقتصادی و میزان وابستگی آن به محیط را نشان می‌دهد (Odum, 2000). مقدار EIR در این تحقیق ۰/۸۵ بود (جدول ۴) که نشان‌دهنده کارآیی اقتصادی بالای نظام زراعی کلزا می‌باشد. مقادیر کمتر برای این شاخص در یک نظام، نشان‌دهنده هزینه‌های اقتصادی کمتر و وابستگی بیشتر به محیط بوده و مطلوب‌تر است (Odum, 2000). بنابراین، افزایش سهم منابع محیطی در نظام تولید و کاهش مصرف ورودی‌های اقتصادی و جایگزین کردن این ورودی‌ها با منابع محیطی، برای مثال استفاده از منابع انرژی محیطی در تامین سوخت یا کنترل زیستی آفات، در کاهش این شاخص و افزایش کارآیی اقتصادی و پایداری مؤثر است. مقدار EIR در این تحقیق کمتر از مقادیر ۱/۸۶ برای نظام معیشتی تولید کلزا در خرم‌آباد (Amiri et al., 2019)، ۲/۷۴ و ۲/۲۹ به‌ترتیب برای تولید گندم و ذرت در جهرم (Houshyar et al., 2018) و ۲/۹۴ و ۱/۳۰ به‌ترتیب برای تولید گندم و یولاف در چین (Zhai et al., 2017) و بیشتر از مقدار ۰/۷۶ برای نظام تجاری تولید کلزا در خرم‌آباد

(Amiri et al., 2019) بود.

نسبت خودحمایتی امرژی (ESR): این شاخص، توانایی یک نظام در حمایت از خود را نشان داده و بیان‌کننده میزان وابستگی آن نظام به محیط زیست است. بنابراین، مقادیر بیشتر این شاخص مطلوب‌تر است (Xi & Qin, 2009). مقدار ESR در این تحقیق برای بوم‌نظام زراعی کلزا ۰/۵۴ بود (جدول ۴) که نشان می‌دهد، این نظام وابستگی زیادی به محیط زیست داشته و پتانسیل زیادی برای افزایش بهره‌وری و سرمایه‌گذاری اقتصادی دارد. افزایش سهم ورودی‌های محیطی در نظام زراعی کلزا، برای مثال، استفاده از نور خورشید (به‌عنوان یک منبع محیطی) برای تولید الکتریسیته مورد نیاز پمپ‌های آبیاری، موجب افزایش این شاخص و پایداری بیشتر نظام خواهد شد. مقدار ESR در این تحقیق بسیار بیشتر از مقدار ۰/۰۳ محاسبه شده برای نظام تولید سیب‌زمینی در چین (Zhai et al., 2017) بود.

نسبت بارگذاری محیطی استاندارد (ELR) و نسبت بارگذاری محیطی اصلاح شده (ELR*): ELR نشان‌دهنده فشار یک نظام تولید بر محیط است (Asgharipour et al., 2019). این شاخص برای بوم‌نظام زراعی کلزا ۱۳/۸۱ بود (جدول ۴) که نشان‌دهنده فشار زیاد این نظام تولید بر محیط زیست و پایداری محیطی کم می‌باشد. دلیل اصلی این موضوع مقدار زیاد فرسایش خاک (به‌عنوان یک ورودی محیطی تجدیدناپذیر) در نظام زراعی کلزا و مصرف نامعقول برخی ورودی‌های اقتصادی، به‌ویژه سوخت فسیلی در این نظام است که موجب تمرکز جریان وسیعی از منابع تجدیدناپذیر در یک محیط کوچک شده است. این شاخص نشان‌دهنده فشار ناشی از مصرف ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر و ورودی‌های اقتصادی بوده و مقادیر کمتر آن مطلوب‌تر است (Lu et al., 2014). ELR بر اساس جمع ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر و اقتصادی تقسیم بر ورودی‌های محیطی تجدیدپذیر می‌باشد. بنابراین، تغییر کمیت و کیفیت مصرف این ورودی‌ها در راستای کاهش سهم آن‌ها از ورودی امرژی کل درکاهش فشار محیطی مؤثر است. افزایش سطح کشت با هدف کاهش تمرکز شدت جریان ورودی تجدیدناپذیر، اجرای روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی به‌منظور کاهش فرسایش خاک (به عنوان یک ورودی محیطی تجدیدناپذیر) در کنار کاربرد منابع تجدیدپذیر برای تامین ورودی‌های اقتصادی، مانند مصرف کودهای آلی به‌جای شیمیایی، در کاهش فشار محیطی و در نتیجه، افزایش پایداری نظام تولید کلزا مؤثر است. ارزیابی پایداری نظام‌های تولید لوبیا در خرم‌دشت نشان داد، کاربرد روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و جایگزینی کودهای شیمیایی تو سط کودهای آلی، در افزایش پایداری محیطی نظام تولید مؤثر است (Asgharipour et al., 2019). توجه کشاورزان در خصوص اهمیت کاهش فشار محیطی در دستیابی به پایداری بلندمدت و حمایت مالی از آن‌ها در جهت نوسازی تجهیزات برای مصرف کمتر منابع تجدیدناپذیر، در رسیدن به این هدف مؤثر است. مقدار ELR در این پژوهش برای نظام زراعی کلزا کمتر از مقادیر ۳۱ و ۱۹/۷۵ به‌ترتیب برای تولید سیب‌زمینی در چین (Zhai et al., 2017) و تولید تجاری کلزا در خرم‌آباد (Amiri et al., 2019) و بیشتر از مقادیر ۱۲/۶۸، ۱۰/۵۹ و ۰/۴۷ به‌ترتیب برای نظام تولید معیشتی کلزا در خرم‌آباد (Amiri et al., 2019) و تولید گندم و ذرت در چین (Wang et al., 2014) بود.

ELR* نشان‌دهنده رابطه متقابل بین امرژی تجدیدپذیر کل و امرژی تجدیدناپذیر کل و مقیاس معکوسی از پایداری است. بنابراین، مقادیر پایین‌تر این شاخص، مطلوب‌تر است (Asgharipour et al., 2019). مقدار ELR* برای بوم‌نظام زراعی کلزا ۱۱/۲۷ بود (جدول ۴) که نشان‌دهنده پایداری محیطی پایین در این نظام تولید است. در هر دو شاخص ELR و ELR*، مقادیر ۲>، ۱۰-۲ و ۱۰< به‌ترتیب نشان‌دهنده فشار محیطی پایین، متوسط و بالا هستند (Brown & Ulgiati, 2004). تفاوت ELR* با ELR، جابجا شدن ورودی خریداری شده تجدیدپذیر از صورت کسر در ELR به مخرج کسر در ELR* است. به‌دلیل سهم بسیار کم منابع اقتصادی تجدیدپذیر از ورودی امرژی کل در نظام زراعی کلزا، مقدار دو شاخص ELR و ELR* در این نظام تولید تفاوت کمی داشت. بنابراین، راهکارهای توصیه شده برای کاهش مقدار ELR، به‌ویژه کاهش مصرف ورودی‌های اقتصادی تجدیدناپذیر، در کاهش مقدار ELR* نیز مؤثر است. این شاخص بر عدم سنخیت بین منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تاکید داشته و به‌عنوان مکملی برای ضریب تبدیل می‌باشد (Martin et al., 2006). افزایش سهم منابع تجدیدپذیر در هر دو ورودی محیطی و خریداری شده، موجب کاهش فشار محیطی و افزایش پایداری محیطی در نظام خواهد شد. گسترش امکانات و تجهیزات مورد نیاز برای تامین انرژی‌های محیطی تجدیدپذیر مانند نور خورشید و باد، برای مصارفی مانند تامین الکتریسیته مورد نیاز برای پمپ‌های آبیاری، در کاهش سهم ورودی‌های تجدیدناپذیر و در نتیجه، افزایش

پایداری محیطی در بوم‌نظام زراعی کلزا مؤثر است. به‌دلیل اینکه ELR*، نسبت ورودی‌های تجدیدناپذیر به ورودی‌های تجدیدپذیر است، کاهش سهم منابع تجدیدناپذیر موجب کاهش این شاخص و پایداری بیشتر بوم‌نظام در بلندمدت نیز می‌شود؛ زیرا منابع تجدیدناپذیر با گذشت زمان کمیاب‌تر می شوند. مقدار ELR* در این پژوهش کمتر از مقدار ۱۷/۸۵ برای نظام تولید تجاری کلزا در خرم‌آباد (Amiri et al., 2019) و بیشتر از مقادیر ۴/۰۰، ۴/۱۸، ۴/۳۵، ۴/۴۶ و ۴/۶۲ به ترتیب برای تولید معیشتی کلزا در خرم‌آباد (Amiri et al., 2019) و تولید گلخانه‌ای خیار، گوجه‌فرنگی، فلفل دلمه‌ای و بادمجان در جیرفت (Asgharipour et al., 2020) بود.

شاخص پایداری امرژی استاندارد (ESI) و شاخص پایداری امرژی اصلاح شده (ESI*):

ESI، شاخصی مرکب است و میزان سود به‌دست آمده در واحد سطح را نسبت به هزینه‌های آن در یک نظام تعیین می‌کند. بنابراین، بیشتر به بررسی جنبه اقتصادی پایداری می‌پردازد (Asgharipour et al., 2019). مقدار این شاخص برای نظام زراعی کلزا ۰/۱۶ بود (جدول ۴) که نشان‌دهنده پایداری اقتصادی کم این نظام زراعی در شهرستان کلاله است. پایین‌ترین و بالاترین مقدار برای این شاخص، به‌ترتیب صفر و بی‌نهایت می‌باشد. نظام‌هایی که مقدار این شاخص در آن‌ها کمتر از یک است، بسیار پرمصرف بوده، اثرات محیطی را تشدید کرده و به انرژی زیادی برای بقا نیاز دارند (Ulgiati & Brown, 1998). با وجود اهمیت مصرف کارآمد انرژی در کشاورزی پایدار، بر اساس اطلاعات پرسشنامه، مهم‌ترین دلیل کم بودن ESI در نظام زراعی کلزا، سهم زیاد ورودی محیطی تجدیدناپذیر (فرسایش خاک) و مصرف غیر معقول برخی ورودی‌های اقتصادی از جمله سوخت فسیلی، بذر و کود نیتروژن در این نظام تولید بود که موجب کاهش پایداری شد. آگاهی دادن، تشویق و آموزش کشاورزان در خصوص مزیت اجرای روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، نوسازی ماشین‌آلات، مصرف بذور با کیفیت، استفاده از کودهای دامی به‌جای شیمیایی (تا حد امکان) و به کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر محیطی، در کاهش مصرف ورودی‌های محیطی تجدیدناپذیر و اقتصادی و در نتیجه، کاهش فشار بر محیط و افزایش پایداری اقتصادی نظام تولید کلزا مؤثر است. در نظام‌های تولید، افزایش عملکرد و کاهش فشار محیطی، موجب افزایش ESI و در نتیجه، پایداری اقتصادی می‌شود (Jafari et al., 2018). مقدار ESI در این پژوهش بیشتر از مقادیر ۰/۰۳ برای نظام زراعی سیب‌زمینی در چین (Zhai et al., 2017)، ۰/۱۱۷ و ۰/۱۲۱ به‌ترتیب برای نظام‌های تولید تجاری و معیشتی کلزا در خرم‌آباد (Amiri et al., 2019) و ۰/۰۸، ۰/۰۹ و ۰/۰۵ به‌ترتیب برای نظام‌های تولید گندم، پیاز و سیر در منطقه سیستان (Yasini et al., 2020) بود.

ESI*، مقیاس معکوسی از پایداری، در ارتباط با نسبت عملکرد یک نظام بوده و بیان‌گر مزایای نظام در رابطه با پایداری نسبی آن می‌باشد. کمترین و بیشترین مقدار برای این شاخص نیز به‌ترتیب صفر و بی‌نهایت است (Lu et al., 2014). مقدار این شاخص برای نظام زراعی کلزا ۰/۱۹ بود (جدول ۴) که نشان‌دهنده فشار محیطی زیاد طی تولید محصول و پایداری محیطی کم این نظام در شهرستان کلاله است. هر دو شاخص ESI و ESI* به بررسی بوم شناختی یک نظام تولید، ولی از منظر متفاوت پرداخته و مقادیر بیشتر هر دو شاخص نشان‌دهنده پایداری بوم شناختی بیشتر نظام است. در هر دو شاخص ESI و ESI* مقادیر ۱۰<، ۱۰-۱ و ۱> به‌ترتیب نشان‌دهنده نظام پایدار با فشار بسیار کم، نظام‌های زنده و خوب و نظام‌های خالی‌کننده منابع هستند (Asgharipour et al., 2019). با توجه به اهمیت پایداری محیطی برای حفظ مزیت اقتصادی یک نظام تولید، مطلوب‌ترین سیاست برای تولید کلزا در شهرستان کلاله، حفظ تعادل بین مزیت اقتصادی و پایداری محیطی در آن است. ESI* نشان‌دهنده پایداری محیطی نظام بوده و مقادیر بالاتر آن مطلوب‌تر است (Amiri et al., 2019). افزایش سهم منابع تجدیدپذیر، از جمله کاربرد منابع تجدیدپذیر به جای منابع تجدیدناپذیر در تامین ورودی‌های اقتصادی، در کاهش فشار و افزایش پایداری محیطی و در نتیجه، افزایش ESI* در نظام زراعی کلزا مؤثر است. مقدار ESI* در این پژوهش بیشتر از مقدار ۰/۱۳ برای نظام تولید تجاری کلزا در خرم‌آباد (Amiri et al., 2019) و مقادیر ۰/۰۴، ۰/۰۶، ۰/۱۱ و ۰/۱۸، به‌ترتیب برای نظام با ورودی زیاد، متوسط، کم و تلفیقی تولید لوبیا در خرمدشت (Asgharipour et al., 2019) وکمتر از مقادیر ۰/۳۸ برای تولید معیشتی کلزا در خرم‌آباد (Amiri et al., 2019)، ۰/۴۵ برای تولید ذرت در چین (Zhang et al., 2012) و ۱/۴۸ برای نظام بوم شناختی تولید لوبیا در خرم دشت (Asgharipour et al., 2019) بود.

نتیجه‌گیری

بیشترین سهم از ورودی امرژی کل در بوم‌نظام زراعی کلزا مربوط به ورودی محیطی تجدیدناپذیر (فرسایش خاک) و کمترین سهم مربوط به ورودی‌های خریداری شده تجدیدپذیر بود. سوخت فسیلی بیشترین سهم، در میان تمام ورودی‌های خریداری شده، از ورودی امرژی کل را داشت. ارزیابی شاخص‌های ضریب تبدیل و امرژی ویژه نشان داد، بوم‌نظام زراعی کلزا کارآیی تولید بالایی در شهرستان کلاله دارد. امّا ارزیابی شاخص تجدیدپذیری امرژی نشان داد، تجدیدپذیری در این نظام تولید پایین بود که دلیل آن وابستگی زیاد به منابع تجدیدناپذیر بود. بر اساس نسبت عملکرد امرژی، کارآیی مصرف منابع نیز در این نظام زراعی، زیاد بود. تحلیل نسبت سرمایه‌گذاری امرژی نشان داد، هزینه‌های اقتصادی در این نظام، به نسبت کم و کارآیی اقتصادی زیاد می‌باشد. ارزیابی نسبت خودحمایتی امرژی نشان داد وابستگی این نظام به محیط زیاد بوده و پتانسیل بالایی برای افزایش سرمایه‌گذاری و بهره‌وری اقتصادی دارد. بر اساس تحلیل نسبت‌های بارگذاری محیطی، این نظام فشار زیادی به محیط زیست وارد ساخته و پایداری محیطی آن پایین می‌باشد. دلیل این امر، فرسایش بالای خاک، به‌عنوان یک ورودی محیطی تجدیدناپذیر و مصرف غیر معقول برخی ورودی‌های خریداری شده تجدیدناپذیر از جمله سوخت فسیلی بود. اجرای روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و استفاده از انرژی‌های محیطی تجدیدپذیر، مانند انرژی خورشیدی در تامین الکتریسیته مورد نیاز پمپ‌های آبیاری، در کاهش مصرف منابع تجدیدناپذیر و در نتیجه، کاهش فشار محیطی و افزایش پایداری محیطی در این نظام مؤثر است.

ارزیابی شاخص‌های پایداری امرژی نشان داد، پایداری اقتصادی در این نظام زراعی پایین بود که به‌دلیل وابستگی زیاد به برخی ورودی‌های اقتصادی و فشار محیطی زیاد در این نظام بود. کاهش مصرف منابع خریداری شده، به‌ویژه منابع خریداری شده تجدیدناپذیر در کنار حفظ یا بهبود عملکرد در این نظام زراعی، موجب بهبود این شاخص و افزایش پایداری اقتصادی خواهد شد. کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی از طریق نوسازی ماشین‌آلات و پمپ‌های آبیاری و مصرف کودهای آلی به‌جای شیمیایی، تا حد امکان، در این خصوص مؤثر است. به‌عنوان نتیجه نهایی، کارآیی تولید، کارآیی مصرف منابع و کارآیی اقصادی در نظام زراعی کلزا بالا بود. علی‌رغم وابستگی زیاد به محیط در این نظام، سهم زیاد فرسایش خاک به‌عنوان یک ورودی محیطی تجدیدناپذیر موجب تجدیدپذیری پایین، فشار محیطی زیاد و پایداری محیطی و اقتصادی پایین در این نظام شد. اجرای راهکارهای توصیه شده برای کاهش مصرف منابع تجدیدناپذیر و استفاده از منابع تجدیدپذیر در تامین ورودی‌های خریداری شده، در کنار آگاهی، آموزش و تشویق کشاورزان در این زمینه، در افزایش پایداری محیطی و اقتصادی بوم‌نظام زراعی کلزا مؤثر است.

سپاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، کشاورزان کلزا کار و اداره جهاد کشاورزی شهرستان کلاله برای مساعدت و همکاری در این پژوهش سپاسگزاری می‌گردد.

References

1. Amiri, Z., Asgharipour, M.R., Campbell, D.E., & 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. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.091
2. Asgharipour, M.R., Amiri, Z., & Campbell, D.E. (2020). Evaluation of the sustainability of four greenhouse vegetable production ecosystems based on an analysis of emergy and social characteristics. *Ecological Modelling*, *424*, 109021. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109021
3. Asgharipour, M.R., Shahgholi, H., Campbell, D.E., Khamari, I., & Ghadiri, A. (2019). Comparison of the sustainability of bean production systems based on emergy and economic analyses. *Environmental Monitoring and Assessment*, *191*(2), 1-21. https://doi.org/10.1007/s10661-018-7123-3
4. Bastianoni, S., Marchettini, N., Panzieri, M., & Tiezzi, E. (2001). Sustainability assessment of a farm in the Chianti area (Italy). *Journal of Cleaner Production*, *9*, 365-373. doi:10.1016/j.ecolmodel.2008.09.003
5. Brandt-Williams, S.L. (2002). Handbook of Emergy Evaluation: Folio #4 Emergy of Florida Agriculture. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, FL, USA.
6. Brown, M.T., Campbell, D.E., De Vilbiss, C., & Ulgiati, S. (2016). The geobiosphere emergy baseline: A synthesis.

Ecological Modelling, *339*, 92-95. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.03.018
7. Brown, M.T., & Ulgiati, S. (2004). Energy quality, emergy, and transformity: H.T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems. *Ecological Modelling*, *178*, 201-213. doi:10.1016/j.ecolmodel.2004.03.002
8. Campbell, D.E., Brandt-Williams, S.L., & Meisch, M.E.A. (2005). Environmental accounting using Emergy: Evaluation of the state of West Virginia. EPA/600/R-02/011. USEPA, Office of Research and Development, Washington, DC, P. 116.
9. Campbell, D.E., & Laherrere, J. (1998). The end of cheap oil. *American Journal of Science*, *278*(3), 78-83.
10. Cochran, J. (2003). Patterns of sustainable agriculture adoption/non-adoption in Panama. A thesis submitted to McGill University. McGill University, Montreal, Canad: 1-114.
11. Ghaley, B.B., Kehli, N., & Mentler, A. (2018). Emergy synthesis of conventional fodder maize (*Zea mays* L.) production in Denmark. *Ecological Indicators*, *87*, 144-151. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.027
12. Ghisellini, P., Zucaro, A., Viglia, S., & Ulgiati, S. (2014). Monitoring and evaluating the sustainability of Italian agricultural system. An emergy decomposition analysis. *Ecological Modelling*, *271*, 132-148. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.02.014
13. Houshyar, E., Wu, X.F., & Chen, G.Q. (2018). Sustainability of wheat and maize production in the warm climate of southwestern Iran: An emergy analysis. *Journal of Cleaner Production*, *172*, 2246-2255. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.187
14. Jafari, M., Asgharipour, M.R., Ramroudi, M., Galavi, M., & Hadarbadi, G. (2018). Sustainability assessment of date and pistachio agricultural systems using energy, emergy and economic approaches. *Journal of Cleaner Production*, *193*, 642-651. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.089
15. Kazemi, H., Hassanpour Bourkheili, S., Kamkar, B., Soltani, A., Gharanjic, K., & Nazari, N.M. (2016). Estimation of greenhouse gas (GHG) emission and energy use efficiency (EUE) analysis in rainfed canola production (Case study: Golestan province, Iran). *Energy*, *116*, 694-700. http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.010
16. Kumaraswamy, S. (2012). Sustainability issues in agro-ecology: Socio-ecological perspective. *Agricultural Sciences*, *3*(2), 153-169. DOI:10.4236/as.2012.32018
17. Lu, H., Yuan, Y., Campbell, D.E., Qin, P., & Cui, L. (2014). Integated water quality, emergy and economic evaluation of three bioremediation treatment systems for eutrophic water. *Ecological Engineering*, *69*, 244-254. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.04.024
18. Lu, H., Bai, Y., Ren, H., & Campbell, D.E. (2010). Integrated emergy, energy and economic evaluation of rice and vegetable production systems in alluvial paddy fields: Implications for agricultural policy in China. *Journal of Environmental Management*, *91*, 2727-2735. doi:10.1016/j.jenvman.2010.07.025
19. Lu, H.F., Kang, W.L., Campbell, D.E., Ren, H., Tand, Y.W., Fengd, R.X., Luo, J.T., & Chen, F.P. (2009). Emergy and economic evaluations of four fruit production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. *Ecological Engineering*, *35*, 1743-1757. doi:10.1016/j.ecoleng.2009.08.001
20. Martin, J.F., Diemont, S.A.W., Powell, E., Stanton, M., & Levy-Tacher, S. (2006). Emergy evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with different scales and management. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *115*, 128-140. doi:10.1016/j.agee.2005.12.016
21. Odum, H.T. (1996). Environmental accounting: Emergy and Environmental Decision Making. John Wiley and Sons, New York. USA. 384 pp.
22. Odum, H.T. (2000). Handbook of Emergy Evaluation. A Compendium of Data for Emergy Computation Folio #2 Emergy global processes. Center of Environmental Policy, University of Florida, Gainesville. 28 pp.
23. Patterson, M., McDonald, G., & Hardy, D. (2017). Is there more in common than we think? Convergence of ecological footprinting, emergy analysis, life cycle assessment and other methods of environmental accounting. *Ecological Modelling*, *362*, 19-36. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.07.022
24. Quintero-Angel, M., & Gonzalez-Acevedo, A. (2018). Tendencies and challenges for the assessment of agricultural sustainability. Agriculture, *Ecosystems and Environment*, *254*, 273-281. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.030
25. Rajabi Hamedani, S., Shahabi, Z., & Rafiee, S. (2011). Energy inputs and crop yield relationship in potato production in Hamadan province of Iran. *Energy*, *36*, 2367-2371. doi:10.1016/j.energy.2011.01.013
26. Shahhoseini, H.R., Ramroudi, M., & Kazemi, H. (2020). Evaluating the resources use efficiency and sustainability indices for two potato production systems using emergy analysis (Case study: Gorgan county). *Journal of Agroecology*, *12*(1), 127-142. (In Persian with English Summary) Doi:10.22067/jag.v12i1.81189

27. Ulgiati, S., & Brown, M.T. (1998). Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecological Modelling*, *108*, 23-36.
28. Ulgiati, S., & Brown, M.T. (2002). Quantifying the environmental support for dilution and abatement of process emissions. The case of electricity production. *Journal of Cleaner Production*, *10*, 335-348.
29. Wang, X., Dadouma, A., Chen, Y., Sui, P., Gao, W., Qin, F., Zhang, J., & Xia, W. (2014). Emergy analysis of grain production systems on large-scale farms in the North China Plain based on LCA. *Agricultural Systems*, *128*, 66–78. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.03.005
30. Xi, Y.G., & Qin, P. (2009). Emergy evaluation of organic rice-duck mutualism system. *Ecological Engineering*, *35*, 1677-1683. doi:10.1016/j.ecoleng.2007.11.006
31. Yasini, H., Ghanbari, S.A., Asgharipour, M.R., & Seyedabadi, E. (2020). Evaluation of sustainability in wheat, onion and garlic cropping systems by joint use of emergy and economic accounting. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *30*(2), 269-288. (In Persian with English Summary)
32. Zhai, X., Huang, D., Tang, S., Li, S., Guo, J., Yang, Y., Liu, H., Li, J., & Wang, K. (2017). The emergy of metabolism in different ecosystems under the same environmental conditions in the agro-pastoral ecotone of Northern China. *Ecological Indicators*, *74*, 198-204. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.028
33. Zhang, L.X., Song, B., & Chen, B. (2012). Emergy-based analysis of four farming systems: insight into agricultural diversification in rural China. *Journal of Cleaner Production*, *28*, 33–44. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.042

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

Research Article
Vol. 15, No. 2, Summer 2023, p. 337-357

Effect of Competition on Morphological, Physiological, and Productivity Characteristics in Soybean (*Glycine max* (L) Merrill) and Millet (*Panicum miliaceum* L.) Intercropping

Meisam Namdari[1], Rahmat Abbasi[2*], Hemmatolaah Pirdashti[2] and Faezeh Zaefarian[2]

Received: 24-07-2021
Revised: 11-10-2021
Accepted: 06-11-2021
Available Online: 06-11-2021

How to cite this article:
Namdari, M., Abbasi, R., Pirdashti, H., & Zaefarian, F. (2023). Effect of competition on morphological, physiological, and productivity characteristics in soybean (*Glycine max* (L) Merrill) and millet (*Panicum miliaceum* L.) intercropping. *Journal of Agroecology*, *15*(2), 337-357.
DOI: 10.22067/agry.2021.71312.1056

Introduction

Intercropping cultivation is an excellent method to increase agricultural productivity per unit area based on environmental mechanisms. In this planting system, it is necessary to select crops with different capabilities in uptake resources and establish a complementary relationship. However, legumes in intercropping cultivation can be used as an alternative and sustainable way to increase efficiency. Besides, studying the interactions in the above and belowground parts is necessary to achieve the mentioned goals. Therefore, this study aimed to investigate inter-specific interactions in millet and soybean intercropping cultures.

Material and Methods

A field experiment was conducted for two years (2018-19) at the research farm of Sari agricultural science and natural resources university, Iran (33º, 36′ N, 53º, 03′ E with 43 m altitude). The experimental design was a randomized complete block with four replications. The experimental treatment was 75% Soybean + 25% Niger, 50% Soybean + 50% Niger, and 25% Soybean+75%Niger based on the replacement method and monoculture. This study investigated the agronomic traits, LAI, TDW, nitrogen derived from the atmosphere, and total microbial activity in the soil in different planting ratios.

Result and Discussion

The results showed that soybean monoculture had the highest plant height during different stages of growth. Furthermore, with the increase in the share of planting soybean in intercropping cultivation, the shoot height of the millet also increased. Also, unlike the millet, the soybean succeeded in producing more leaf area indexes among different mixed cultivation ratios than monoculture. The leaf area index of millet showed a significant decrease as the proportion of soybean plantings increased. However, despite this decrease, the total dry matter of soybean exhibited a higher percentage increase at various growth stages compared to the decrease in millet yield. As a result, after 60 days of planting, millet and soybean intercropping cultivation demonstrated positive complementarity regarding competition impact. Additionally, intercropping cultivation showed a higher percentage of nitrogen derived from the atmosphere compared to soybean monoculture. During the study period, the planting ratio of 75%

1- Ph.D. Student of Agronomy, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.
2- Assistant Professor, Professor and Associate Professor, Department of Agronomy, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.
(*- Corresponding author's Email: r.abasi@sanru.ac.ir)

millet and 25% soybean exhibited the highest increase in nitrogen fixation (Ndfa), with average values of 93.84% and 83.85% at 90 days after planting, respectively. Increasing the number of millet sowing rows in the intercropping patterns played a crucial role in intensifying competition with soybeans during the early growth stages and had an impact on the biological activity of soybeans. Moreover, the microbial activity in the soil (at a depth of 0-30 cm) was higher in the different intercropping ratios compared to monocultures of soybean and millet. In addition, soybean and millet monoculture had the highest and lowest grain yields. Among the different intercropping ratios, the 75:25 in 1398 with an average of 4639.77 kg. ha^{-1} had the highest grain yield. Besides, the planting ratio of 25:75 and 50:50, with an average of 1.23 and 1.02, respectively, had an LER higher than one. With increasing the share of soybean planting in intercropping, the competitiveness of the plant increases, and the competition ratio of millet was higher than the unit only in the planting ratio of 25:75 (millet-soybean). Therefore, the competitiveness of millet in mixed cultivation is significantly reduced by reducing the share of planting row. Finally, increasing productivity in the 25:75 combinations reduced soybean's competitive dominance, increasing millet grain yield in comparison to expected values and improving total microbial activity.

Conclusion

Due to the limited growth period, millet competition played an essential role in increasing total microbial activity and the percentage of nitrogen derived from the atmosphere at a 25:75 planting ratio before the initial reproductive growth. In addition, 25:75 and 50:50 planting ratios reduce soybeans' competitive dominance, resulting in enhanced productivity. Finally, selecting complementary plants based on physiological, and morphological characteristics, and competitiveness in intercropping cultivation can be effective in the above and belowground interactions.

Keywords: Biological nitrogen fixation, Competition, LAI, Total soil microbial activity

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

مقاله پژوهشی
جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۳۵۷-۳۳۷

اثر رقابت بر خصوصیات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بهره‌وری در کشت مخلوط سویا (*Glycine max* (L) Merrill) و ارزن (*Panicum miliaceum* L.)

میثم نامداری[۱]، رحمت عباسی[۲]*، همت‌الله پیردشتی[۲] و فائزه زعفریان[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۷/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۵

چکیده

تفاوت در خصوصیات فیزیولوژیکی و زراعی گیاهان نقش مهمی در ارتباط بین گونه‌ای دارد. لذا به‌منظور ارزیابی رقابت و تعاملات بین گونه‌ای ارزن (*Panicum miliaceum* L.) و سویا (*Glycine max* (L.) Merrill) در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط به‌صورت جایگزینی آزمایشی در دو سال زراعی (۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷) و به‌صورت طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل نسبت‌های کاشت ۰:۱۰۰، ۲۵:۷۵، ۵۰:۵۰، ۷۵:۲۵ و ۱۰۰:۰ (به‌ترتیب ارزن- سویا) بود. نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی و فعالیت کل میکروبی خاک ارزن و سویا داشت. نتایج نشان داد، کشت خالص سویا در طی مراحل مختلف رشد دارای بیشترین ارتفاع بوته بود. با افزایش سهم کاشت سویا در کشت مخلوط ارتفاع ساقه ارزن افزایش یافت. سویا بر خلاف گیاه ارزن در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، موفق به تولید شاخص سطح برگ بیشتری در مقایسه با کشت خالص شد. درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی و میزان فعالیت کل میکروبی خاک (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر) نیز در کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص بود. نسبت کاشت ۲۵:۷۵ و ۵۰:۵۰ به‌ترتیب با میانگین ۱/۲۳ و ۱/۰۲ دارای نسبت برابری زمین بالاتر از یک بودند و افزایش بهره‌وری در تولید محصول در الگوی کشت مخلوط ۲۵:۷۵ مربوط به کاهش تسلط رقابتی گیاه سویا، ایجاد رابطه مکملی و افزایش عملکرد دانه ارزن بود.

واژه‌های کلیدی: تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، شاخص سطح برگ، فعالیت کل میکروبی خاک، نسبت برابری زمین

مقدمه

علاقه به کشت مخلوط در کشاورزی پایدار در حال افزایش و تعداد تحقیقات علمی (Zhang et al., 2014; Wang et al., 2020; Khammar et al., 2020) در این خصوص به‌شدت افزایش یافته است. زیرا کشت مخلوط می‌تواند عملکرد پتانسیل و قابل دسترس گیاه را از طریق ایجاد رابطه مکملی بین گونه‌ها و افزایش قابلیت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن تحت تأثیر قرار دهد (Stomph et al., 2020). بیشتر تحقیقات در این زمینه معطوف به عملکرد و اجزای عملکرد گیاه بوده و فرآیندهای درون‌گیاهی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این در حالی است که مزیت و برتری کشت مخلوط به درک فیزیولوژی گونه‌ها در طی رشد، سازگاری، ساختار ریشه، کانوپی و در مجموع، اثرات متقابل در دو بخش بالایی و زیرزمینی

۱- دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۲- به‌ترتیب استادیار، استاد و دانشیار گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: r.abasi@sanru.ac.ir)
DOI: 10.22067/agry.2021.71312.1056

بستگی دارد (Crews et al., 2016; Oluwaseyi et al., 2019).

در این خصوص، بر اساس نتایج بررسی کشت مخلوط گیاهان لگوم با ارزن انگشتی (*Eleusine coracana*) مشخص گردید، تعداد و وزن تر گره و فعالیت آنزیم نیتروژناز گیاه سویا (*Glycine max* (L.) Merrill)، نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) در کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص بود. علاوه‌بر آن، تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و کارایی افزایش حاصلخیزی خاک در گیاهان لگوم به‌میزان زیادی تحت تأثیر تغییرات فنولوژی، الگوی کاشت و عوامل محیطی است و در نتیجه، ترکیب گیاهان کاشته شده در سیستم کشاورزی می‌تواند موجب افزایش انعطاف‌پذیری و پایداری تولید در کشورهای در حال توسعه شود (Maikhuri et al., 2016).

در همین زمینه، برخی از محققان با مطالعه اثرات متقابل بین‌گونه‌ای ریشه در کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.)– بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.) نشان دادند که مقدار نیتروژن کل و نیتروژن قابل دسترس در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص، افزایش و منابع کربن مانند کربوهیدرات‌ها و آمین‌ها با کاهش مصرف کود نیتروژن در کشت مخلوط افزایش یافت (Khan et al., 2014). همچنین، سایر پژوهشگران نیز بیان داشتند، کشت مخلوط لوبیا و ذرت ضمن افزایش ۳۱ درصدی عملکرد، سبب افزایش تعداد و وزن خشک گره تثبیت‌کننده نیتروژن و وزن خشک ساقه لوبیا در مقایسه با کشت خالص شد و کاربرد نیتروژن معدنی اثر زیان‌باری بر فرآیند تشکیل گره دارد (Cardoso et al., 2007). در همین راستا و بر اساس نتایج مطالعات، میزان عملکرد دانه نخود فرنگی و ذرت (*Zea mays* L.) و قابلیت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در سیستم کشت مخلوط به‌دلیل هماهنگی در رقابت بین‌گونه‌ای به‌ترتیب ۳۷، ۲۹ و ۳۴ درصد در مقایسه با کشت خالص افزایش یافت (Hu et al., 2016). علاوه‌بر آن، نتایج بررسی نسبت‌های کشت مخلوط نخودفرنگی-جو (*Hordeum vulgaris* L.) در اراضی ارگانیک اروپای مرکزی نشان داد در هر سه فصل کاشت، نیتروژن بخش بالایی گیاه نخودفرنگی حاصل از تثبیت بیولوژیکی در کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص بود و کشت مخلوط به‌طور میانگین ۴۰-۳۰ درصد کارایی بیشتری در استفاده از نیتروژن در مقایسه با کشت خالص هر یک از گیاهان مذکور داشت (Hauggaard-Nielsen et al., 2009). همچنین، بر اساس گزارشات به‌دست آمده، کشت مخلوط می‌تواند فعالیت کل آنزیمی خاک را در عمق‌های ۱۰-۰، ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ سانتی‌متری تحت تأثیر قرار داده و در مقایسه با کشت خالص مقدار آن را افزایش دهد (Nyawade et al., 2019). در این زمینه، سایر محققان نیز افزایش ۱۶/۵ درصدی فعالیت کل میکروبی خاک در کشت مخلوط را نسبت به کشت خالص گیاه ارزن گزارش کردند (Diakhate et al., 2016). در ادامه، برخی از پژوهشگران نیز بهبود جذب عناصر غذایی، میزان تابش فعال فتوسنتزی جذب شده و افزایش نسبت برابری زمین در کشت مخلوط گیاه ارزن با گیاهان لگوم مانند سویا، بادام‌زمینی و لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) را گزارش کردند (Ganbari et al., 2010; Ahmadvand & Hajinia, 2016; Khommar et al., 2020)

بر طبق آمار ارائه شده در سال ۱۳۹۷ توسط وزارت جهاد کشاورزی، ۵۹ درصد از سطح زیر کشت سویا به‌صورت دیم در ایران متعلق به استان مازندران (۳۱۶۸ هکتار) است و متوسط عملکرد سویا در این استان در کشت دیم و آبی به‌ترتیب ۴۱/۹۲ و ۷/۶ درصد بیشتر از میانگین تولید کل کشور می‌باشد (Ahmadi et al., 2018). علاوه‌بر آن، سویا در بین دانه‌های روغنی دارای بیشترین سطح زیر کشت ارگانیک در جهان است (Willer & Lernoud, 2017) و دارای بالاترین قابلیت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در بین گیاهان لگوم دانه‌ای می‌باشد (Hangria & Mendes, 2015). مطالب مذکور نشان‌دهنده اهمیت این گیاه زراعی از نظر تولید، قابلیت تثبیت نیتروژن و بهبود حاصلخیزی خاک در سیستم کشاورزی پایدار است. همچنین گیاه ارزن (*Panicum miliaceum* L.) نیز به‌عنوان یکی از گیاهان زراعی چهار کربنه، زودرس، مناسب برای کاشت در خاک‌های فقیر و کم‌بازده می‌باشد (Mehrani et al., 2013) که با توجه به مسیر فتوسنتزی و خصوصیات فیزیولوژیکی می‌تواند به‌عنوان گیاه همراه گزینه مناسبی در کشت مخلوط محسوب شود.

وجود تعاملات بین‌گونه‌ای در بخش بالایی و زیرزمینی کشت مخلوط اکنون به‌عنوان یک موضوع کلیدی مورد توجه قرار گرفته و تحقیقات در این زمینه به افزایش شناخت و دانش در مدیریت سیستم‌های کشت مخلوط نیازمند است. لذا هدف از این پژوهش بررسی رقابت و ارتباط بین‌گونه‌ای گیاه سویا و ارزن در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط به‌صورت جایگزینی است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در طی دو سال زراعی (۹۷-۱۳۹۶و ۹۸-۱۳۹۷) در

مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با عرض جغرافیایی ۳۶°۳۳′ شمالی و طول جغرافیایی ۵۳°۰۳′ شرقی و ارتفاع ۴۳ متر از سطح دریا به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار اجرا شد. گیاه ارزن رقم پیشاهنگ و سویا رقم ساری (J.K.695) در نسبت‌های کاشت ۲۵:۷۵ (۱:۳)، ۵۰:۵۰ (۲:۲) و ۷۵:۲۵ (۳:۱) به همراه کشت خالص گیاه سویا ۱۰۰:۰ (۴:۰) و ارزن ۰:۱۰۰ (۰:۴) به‌روش جایگزینی قرار گرفتند. چهار ردیف از هر کرت به‌عنوان مبنا در تعیین نسبت‌های مختلف در نظر گرفته شد و اعداد داخل پرانتز به‌ترتیب نشان‌دهنده تعداد ردیف کاشت گیاه ارزن- سویا است. بطور مثال، در نسبت کاشت ۵۰:۵۰ دو ردیف به‌صورت متناوب از هر یک از گیاهان مورد مطالعه کشت شد. پس از تهیه بذور گیاهان سویا و ارزن به‌ترتیب از مرکز تحقیقات شرکت توسعه کشت دانه‌های روغنی شهرستان ساری و مؤسسه تحقیقات اصلاح نهال و بذر شهرستان کرج، عملیات کاشت در تاریخ ۱۵ اردیبهشت به‌صورت هیرم‌کاری و به طریقه دستی انجام شد. بذور سویا پیش از کاشت با باکتری *رایزوبیوم ژاپونیکوم* (با تراکم سلولی ۱۰^۷×۲) تلقیح گردید. تعداد خطوط کاشت در هر کرت ۱۲، فاصله بین خطوط ۳۵ سانتی‌متر، طول خطوط چهار متر و تراکم نهایی برای هر دو گیاه به‌طور ثابت ۲۸ بوته در مترمربع بود. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری پیش از کاشت تعیین و بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل آزمون خاک (جدول ۱) در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ به میزان ۹۰ کیلوگرم فسفر و ۶۶ کیلوگرم پتاس و در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ به‌میزان ۳۳ کیلوگرم فسفر از به‌ترتیب از منابع سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم تأمین گردید. آبیاری گیاهان به‌صورت قطره‌ای و همچنین عملیات وجین به‌صورت دستی در چهار مرحله و با فاصله زمانی ۱۴ روز اجرا گردید. عملیات برداشت برای گیاه ارزن و سویا به‌ترتیب در تاریخ ۲۲ مرداد و ۵ آبان ماه با رعایت اثرات حاشیه (نیم متر از دو طرف هر کرت) با دست و به‌وسیله قیچی باغبانی از چهار ردیف میانی به‌تفکیک گیاه مورد نظر و نسبت کاشت انجام شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک محل آزمایش

Table 1- Result of soil analysis of experimental field

سال Year	عمق نمونه‌برداری Depth (cm)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	بافت Texture	ماده آلی OM (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P_2O_5 $mg.kg^{-1}$	پتاسیم K_2O $mg.kg^{-1}$	هدایت الکتریکی $EC\times10^{-3}$ ($dS.m^{-1}$)	شاخص واکنش pH
2018	0-30	28	39	33	لوم رسی	1.21	0.06	1.3	95	0.51	8.04
2019	0-30	26	40	34	Clay loam	1.83	0.09	4	163	0.61	7.74

نمونه‌برداری خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی از ۴۵ روز پس از کاشت و با فاصله زمانی ۱۵ روز در مراحل مختلف رشد گیاه سویا شامل انتهای رشد رویشی (V_{12}) (Fehr et al., 1971)، آغاز گل‌دهی (R_1)، پایان گل‌دهی (R_2)، آغاز غلاف‌دهی (R_3)، پایان غلاف‌دهی (R_4) و آغاز دانه‌بندی (R_5) و در گیاه ارزن (Ventura et al., 2020) شامل پنجه‌دهی (BBCH:20)، ظهور خوشه (BBCH:51)، گل‌دهی (BBCH:69)، آغاز رسیدگی (BBCH:80) و رسیدگی (BBCH 89) انجام شد. جهت ارزیابی شاخص سطح برگ نیز ۴۵ روز پس از کاشت نمونه‌برداری از تیمارهای کشت خالص و مخلوط (با فاصله زمانی ۱۵ روز) به‌صورت تخریبی انجام شد. بدین ترتیب در هر دوره، از تیمار کشت خالص تعداد سه بوته و از تیمار کشت مخلوط شش بوته انتخاب و با رعایت اثر حاشیه‌ای برداشت گردید. پس از ثبت خصوصیات مورفولوژیکی، به‌کمک نرم‌افزار Digimizer (v.5.4) سطح برگ گیاه اندازه‌گیری و جهت تعیین ماده خشک اندام‌های مختلف نمونه گیاهان برداشت شده در آون الکتریکی تهویه‌دار با درجه حرارت ۷۰°C و به‌مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت. شاخص سطح برگ از معادله ۱ تعیین شد (Hunt, 1990).

$$LAI = \frac{LA_2+LA_1}{2} \times \frac{1}{G_A}$$ معادله (۱)

که در آن، LA_1: سطح برگ در نمونه‌برداری n-1، LA_2: سطح برگ در نمونه‌برداری n و G_A: سطح زمین می‌باشد.

جهت محاسبه درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی گیاه سویا از تکنیک استخراج اورئید از آوند چوب (Unkovich et al., 2008) استفاده شد. این عملیات در طی شش مرحله از زمان ۴۵ روز

پس از کاشت با فاصله زمانی هر ۱۵ روز یک‌بار انجام شد. به‌طور خلاصه جهت انجام عملیات مذکور، ابتدا با استفاده از قیچی باغبانی ساقه‌های با قطر بیشتر از سه میلی‌متر، نزدیک به سطح زمین قطع و بلافاصله ساقه جدا شده به درون لوله‌های لاستیکی سیلیکون یا لاتکس با قطر داخلی کوچک‌تر از ساقه وارد و با استفاده از یک اتصال‌دهنده با اندازه مناسب روی یک سوزن سرنگ دو طرفه قرار گرفت. سپس سوزن از طریق پیستون لاستیکی به لوله آزمایش پنج میلی‌لیتری که از طریق یک اتصال سوزن سرنگ و یک خط پلاستیکی لوله انعطاف‌پذیر به یک پمپ خلاء متصل است، وارد و سپس خلاء (۶۰-۷۰ کیلو پاسکال) اعمال و نمونه‌های شیره آوند چوب استخراج شد. سنجش میزان اورئید با دستگاه اسپکتوفتومتر[1] با طول موج ۵۲۵ نانومتر به‌کمک ترسیم منحنی استاندارد آلانتوئین ($y=7.3215x+0.0725$, $R^2=0.99$) از روش یانگ و کانوی (Yong & Conway, 1942)، آمینو- نیتروژن با معرف نین‌هیدرین با در طول موج ۵۷۰ نانومتر و به‌کمک ترسیم منحنی استاندارد آسپاراژین/گلوتأمین ($y=1.2222x+0.0010$, $R^2=0.99$) با روش اصلاح شده هیریدج (Herridge, 1984) و در نهایت، نیترات نیز در طول موج ۴۱۰ نانومتر و به‌کمک ترسیم منحنی استاندارد نیترات پتاسیم ($y=0.0576x+0.0368$, $R^2=0.99$) از منبع کاتالدو و همکاران (Cataldo et al., 1975) تعیین گردید. سپس مقدار اورئید، آمینو و نیترات از معادله ۲، فراوانی اورئید (Ru-N) از معادله ۳ و نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی در مراحل مختلف با کالیبراسیون میزان فراوانی نسبی اورئید در مراحل مختلف رشد با مقادیر ایزوتوپ نیتروژن ۱۵ از طریق معادله ۴ تعیین شد (Unkovich et al., 2008)

معادله (۲) $Sa_C = St_{C.} \times (O.D_S / O.D._S) \times$

معادله (۳)

$$Ru\text{-}N\ (\%) = [4\times ureide\ /\ (4\times ureide + nitrate + amino\text{-}N)] \times 100$$

معادله (۴)

$Ru\text{-}N(\%) = 0.64\ Ndfa + 7.7$ (تا مرحله گل‌دهی)

$Ru\text{-}N(\%) = 0.64\ Ndfa + 15.9$ (پس از گل‌دهی)

که در آن‌ها، $Sa._{C.}$: غلظت نمونه، $St._{C.}$: غلظت استاندارد، $O.D._{Sa}$: تراکم بصری نمونه، $O.D._{St}$: تراکم بصری استاندارد، D_i: غلظت محلول رقیق شده، Ru-N: فراوانی نسبی اورئید و Ndfa: درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی می‌باشند.

برای اندازه‌گیری میزان کل فعالیت میکروبی خاک نیز طی دو مرحله (۶۰ روز پس از کاشت و رسیدگی) نمونه خاک به‌کمک لوله حفاری دستی[2] از عمق ۱۰-۰، ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ سانتی‌متری جمع-آوری شد. بدین ترتیب که از چهار ردیف میانی در کرت‌های آزمایش (که به‌عنوان مبنا در نظر گرفته شد) شش نمونه‌برداری با فاصله ۲۰ سانتی‌متر انجام و نمونه‌ها از الک نمره ۱۸ (یک میلی‌متری) عبور داده شد. پس از آن، میزان فعالیت کل آنزیمی به‌روش آدام و دانکن (Adam & Duncan, 2001) با استفاده از فلورسئین دی‌استات (Fluorescein diacetate) اندازه‌گیری شد. به‌طور خلاصه، دو گرم از نمونه خاک تهیه شده با ۱۵ میلی‌لیتر محلول بافر فسفات ۶۰ میلی-مولار مخلوط و مقدار ۰/۲ میلی‌لیتر محلول فلورسئین دی‌استات ($1000 \mu g.ml^{-1}$) برای شروع واکنش به آن اضافه شد. همچنین محلول بلانک بدون اضافه کردن فلورسئین دی‌استات تهیه شد. به هر یک از نمونه‌ها پس از قرار گرفتن روی شیکر با دور ۱۰۰ به‌مدت ۲۰ دقیقه، ۱۵ میلی‌لیتر محلول حجمی (۲:۱) متانول/کلروفرم اضافه گردید و به‌مدت سه دقیقه درون سانتریفیوژ[3] با دور ۲۰۰۰ قرار گرفت. پس از عبور نمونه‌ها از کاغذ صافی نمره دو، تراکم بصری به‌کمک دستگاه اسپکتوفتومتر در طول موج ۴۹۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. سپس میزان فعالیت آنزیمی خاک بر اساس میکروگرم فلورسئین در هر گرم خاک در ساعت به‌کمک ترسیم منحنی کالیبراسیون ($y=0.0109x+0.0426$, $R^2=0.94$) تعیین شد.

برای محاسبه نسبت برابری زمین (Mead & Willey, 1980)، شاخص رقابت (McGilchrist, 1965) و شاخص تهاجم (Willey & Rao, 1980) به‌ترتیب از معادله‌های زیر استفاده شد.

معادله (۶)

$$LER = (LER\ a + LER\ b)$$

$$LER_a = \left(\frac{Yi_a}{Ym_a}\right) \quad LER_b = \left(\frac{Yi_b}{Ym_b}\right)$$

معادله (۷)

$$RCC_a = \frac{Yi_a Zi_b}{(Ym_a - Yi_a) Zi_a} \quad RCC_b = \frac{Yi_b Zi_a}{(Ym_b - Yi_b) Zi_b} \quad RCC = RCC_a \times RCC_b$$

معادله (۸)

$$A_a = \left(\frac{Yi_a}{Ym_a Zi_a}\right) - \left(\frac{Yi_b}{Ym_b Zi_b}\right)$$

که در آن‌ها، به‌ترتیب Y_{ia} و Y_{ib}: عملکرد گیاه a و b در کشت مخلوط، Y_{ma} و Y_{mb}: عملکرد گیاه a و b در کشت خالص، Z_{ia} و Z_{ib}:

1- Hanon, i3 UV-VIS

2- Auger

3- Universal, 4000 rpm

سهم گیاه a و b در کشت مخلوط، Z_{ma} و Z_{mb}: نیز سهم گیاه a و b در کشت خالص است.

حالات مختلف تأثیر رقابت در کشت مخلوط بـه‌روش جایگزینی با استفاده از مدل هیل و شیماموتو (Hill & Shimumoto, 1973) و با محاسبه مقدار پیش‌بینی شده (Loreau et al., 2001) صفات مورد مطالعه تعیین شد.

$$\text{Expected yield} = \frac{Y_m}{Z_i}$$ معادله (۹)

در نهایت، جهت تجزیه آماری داده‌ها، شامل آزمون یکنواختی واریانس‌ها، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها از نرم‌افزار سیستم آنالیز آماری (۹/۱) SAS استفاده شد. مقایسات میانگین داده‌ها با آزمون کم‌ترین تفاوت معنی‌دار (Least Significant Difference Test) در سطح پنج درصد و رسم نمودارها به‌کمک نرم‌افزار Excel و Sigma Plot انجام شد.

نتایج و بحث

نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر میانگین ارتفاع ساقه گیاه سویا و ارزن در طی دوره رشد داشتند (جدول ۲). در گیاه سویا افزایش ارتفاع ساقه تا مرحله آغاز گل‌دهی (۶۰ روز پس از کاشت) به سرعت افزایش یافته و پس از مرحله مذکور روند صعودی افزایش ارتفاع متوقف گردید. کشت خالص سویا (۱۰۰:۰) و نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن- سویا) در طی مراحل مختلف رشد دارای بیشترین و کمترین میانگین ارتفاع ساقه سویا بودند. در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط نیز نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن- سویا) دارای بالاترین میزان ارتفاع ساقه سویا در سال‌های مورد مطالعه بود. در مجموع، با کاهش تعداد ردیف کاشت گیاه سویا در نسبت‌های مختلف، میزان ارتفاع ساقه گیاه مذکور کاهش می‌یابد (جدول ۲). این نتایج در خصوص گیاه ارزن صادق نبود و با کاهش سهم کاشت گیاه ارزن در نسبت‌های مختلف کاشت، میزان ارتفاع ساقه به‌شدت افزایش یافت (جدول ۳). به نحوی‌که نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن- سویا) و کشت خالص ارزن (۰:۱۰۰) در طی مراحل مختلف رشد به‌ترتیب بیشترین و کمترین میانگین ارتفاع ساقه را به خود اختصاص دادند. همچنین افزایش ارتفاع ساقه گیاه ارزن در نسبت‌های مختلف از مرحله ۶۰ روز پس از کاشت به‌خصوص در سال ۱۳۹۸ افزایش و این روند تا مراحل پایانی رشد ادامه یافت (جدول ۳). وجود تاج‌پوشش گیاه سویا به خصوص در نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن- سویا) نقش مهمی در اختصاص ماده خشک به ساقه گیاه ارزن داشت. به‌طور کلی، سازگاری گیاهان در شرایط سایه از طریق اختصاص کربن حاصل از فتوسنتز به طویل شدن ساقه و مصرف مواد فتوسنتزی برای توسعه برگ و ریشه انجام می‌شود (Yang et al., 2018). افزایش ارتفاع غلات در کشت مخلوط با گیاهان لگوم توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Bedoussac & Justec, 2011; Monti et al., 2016).

نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ گیاه ارزن و سویا داشت (جداول ۴ و ۵). نتایج نشان داد، شاخص سطح برگ گیاه سویا (رقم ساری) تا مرحله ۱۰۵ روز پس از کاشت در هر دو سال زراعی افزایش یافت. در این مرحله، نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن- سویا) و ۵۰:۵۰ به‌ترتیب با میانگین ۶/۰۹، ۶/۱۸ در سال ۱۳۹۷ دارای بیشترین شاخص سطح برگ بودند. همچنین نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن- سویا) و کشت خالص سویا (۱۰۰:۰) نیز از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۴). این روند در سال ۱۳۹۸ نیز مشاهده شد و میزان شاخص سطح برگ در نسبت-های کاشت مذکور در مقایسه با کشت خالص به‌میزان ۴۵/۳۳ و ۴۰/۸۸ درصد افزایش یافت. هر چند از لحاظ آماری این تفاوت معنی-دار نبود. در این خصوص، نتایج برخی از مطالعات نشان داد، شاخص سطح برگ مطلوب برای دستیابی به عملکرد پتانسیل را در ارقام رشد محدود و نامحدود سویا به‌ترتیب ۶/۵ و ۶ می‌باشد (Tagliapietra et al., 2018). در مجموع، با کاهش تعداد ردیف کاشت گیاه سویا در نسبت‌های مختلف، شاخص سطح برگ گیاه افزایش یافت و این موضوع می‌تواند به‌علت در اختیار داشتن فضای مناسب و افزایش تعداد شاخه‌های فرعی باشد. به‌طور کلی، رابطه مستقیمی میان شاخص سطح برگ سویا و فاصله ردیف کاشت وجود دارد و این موضوع به‌دلیل قابلیت جبرانی گیاه مذکور در الگوهای کاشت می‌باشد (Cox & Cherney, 2011). در خصوص گیاه ارزن نیز شاخص سطح برگ تا مرحله ۷۵ روز پس از کاشت (گل‌دهی) افزایش و پس از آن کاهش یافت. در این مرحله، در سال ۱۳۹۷ بیشترین شاخص سطح برگ متعلق به نسبت کاشت ۵۰:۵۰ بود. هر چند از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن- سویا) و کشت خالص ارزن (۰:۱۰۰) نداشت (جدول ۵). همچنین در این مرحله و در سال ۱۳۹۸ شاخص سطح برگ گیاه ارزن در نسبت‌های مختلف کاشت فاقد تفاوت معنی‌دار با یکدیگر بودند. امّا در مرحله ۶۰ روز پس از کاشت (ظهور خوشه) در سال‌های مورد مطالعه کشت خالص گیاه

ارزن (۰:۱۰۰) و نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن- سویا) به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین میانگین شاخص سطح برگ بودند. این نتایج در خصوص مرحله ۹۰ روز پس از کاشت (آغاز رسیدگی) نیز صادق بود (جدول ۵). کاهش شاخص سطح برگ ارزن در کشت مخلوط توسط برخی دیگر از محققان نیز گزارش شده است (Jahan et al., 2013; Ahmadvand & Hajinia, 2016; Bitew et al., 2019). در مجموع، در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و با افزایش سهم کاشت گیاه سویا، شاخص سطح برگ گیاه ارزن به‌شدت کاهش می‌یابد. به نحوی‌که در مرحله ۹۰ روز پس از کاشت شاخص سطح برگ در نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن- سویا) در سال‌های مورد مطالعه به‌ترتیب ۲۶/۰۸ و ۲۵ درصد نسبت به کشت خالص گیاه ارزن (۰:۱۰۰) کمتر بود. این موضوع می‌تواند به‌دلیل قدرت رقابت و شاخص سطح برگ بیشتر گیاه سویا در الگوی کشت مخلوط و ساز و کار فیزیولوژیکی گیاه ارزن از طریق تخصیص بیشتر ماده خشک به اندام‌های زایشی باشد. به‌طور کلی، تغییرات در شاخص سطح برگ گیاه زراعی در کشت مخلوط توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Ren et al., 2016; Darapuneni et al., 2018; Wang et al., 2020).

همچنین بررسی تأثیر رقابت گیاه ارزن و سویا در نسبت‌های مختلف کاشت بر عملکرد ماده خشک کل در هکتار نشان داد، در مراحل اولیه رشد مقدار وزن خشک کل دو گیاه مورد مطالعه در نسبت‌های مختلف کاشت کمتر از مقادیر مورد انتظار بود (شکل ۱). این روند تا مرحله ۶۰ روز پس از کاشت همزمان با آغاز گل‌دهی در گیاه ارزن و سویا ادامه داشت. پس از این مرحله، میزان ماده خشک کل گیاه سویا در تمامی نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بیشتر از مقادیر مورد انتظار بود. هر چند این نتایج در خصوص گیاه ارزن صادق نبود و مقدار ماده خشک کل در گیاه مذکور کمتر از مقادیر قابل پیش‌بینی بود (شکل ۱). همچنین با نزدیک شدن به مراحل انتهایی رشد در گیاه سویا و ارزن مجموع ماده خشک کل در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بیشتر از مقادیر مورد انتظار شد. این موضوع می‌تواند مربوط به کاهش مقدار شاخص سطح برگ گیاه ارزن با افزایش سهم کاشت گیاه سویا در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط باشد. به نظر می‌رسد تاج‌پوشش گسترده گیاه سویا باعث کاهش کارایی استفاده از منابع به‌خصوص نور در گیاه ارزن شده است. با توجه به افزایش ارتفاع گیاه ارزن در نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن- سویا) می‌توان کاهش شدید ۷۳/۳۸ و ۵۵/۱۵ درصدی وزن خشک کل گیاه ارزن را در مرحله ۱۰۵ روز پس از کاشت نسبت به مقادیر قابل پیش‌بینی به تاج‌پوشش و تسلط رقابتی گیاه سویا در الگوی کشت ۷۵:۲۵ (ارزن- سویا) نسبت داد. این نتایج در خصوص مرحله ۹۰ روز پس از کاشت در سال‌های مورد مطالعه نیز مشاهده شد (شکل ۱). به‌طور کلی، تولید ماده خشک در گیاه وابسته به فتوسنتز جاری تاج‌پوشش است و کاهش دریافت نور و افزایش سایه‌دهی می‌تواند میزان فتوسنتز و در نتیجه، رشد گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (Yang et al., 2018). در نهایت، از آنجا که درصد افزایش ماده خشک کل گیاه سویا در مراحل مختلف رشد بیشتر از میزان کاهش عملکرد گیاه ارزن بوده و همچنین مجموع عملکرد ماده خشک کل در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط نیز بیش از مقادیر پیش‌بینی شده است، بنابراین تأثیر رقابت در کشت مخلوط دو گیاه ارزن و سویا از نوع مکملی مثبت می‌باشد. کاهش مقدار ماده خشک کل گیاه ارزن در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط می‌تواند مربوط به کاهش میزان نور دریافتی به‌ویژه در نسبت‌های کاشت ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (ارزن- سویا) و در نتیجه، کاهش میزان فتوسنتز جاری گیاه باشد. ایجاد رابطه مکملی مثبت در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط طی دوره رشد و پس از مرحله ۶۰ روز پس از کاشت نمایان شد. به نظر می‌رسد، بسته شدن تاج‌پوشش، افزایش میزان مواد فتوسنتزی و اختصاص آن به اندام‌های زایشی گیاه نقش مهمی در ایجاد رابطه مکملی مثبت در الگوی کشت مخلوط داشته است. در این بین، نقش گیاه سویا از اهمیت بسیار بیشتری برخوردار بود. به نحوی که میزان افزایش ماده خشک گیاه سویا در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن- سویا) و در مراحل ۹۰ و ۱۰۵ روز پس از کاشت به‌ترتیب ۳۲/۷۱، ۱۲/۵۱ درصد در سال ۱۳۹۷ و ۳۶/۶۲، ۵۰/۵۶ درصد در سال ۱۳۹۸ نسبت به مقادیر قابل پیش‌بینی افزایش یافت.

نسبت‌های مختلف کاشت اثر معنی‌داری بر درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی در مراحل مختلف رشد داشتند (شکل ۲). بیشترین میزان نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی در طی دوره رشد و در سال‌های مورد مطالعه مربوط به مرحله ۹۰ روز پس از کاشت (آغاز غلاف‌دهی) بود. در این مرحله نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن- سویا) و کشت خالص سویا (۱۰۰:۰) در هر دو سال زراعی به‌ترتیب با میانگین ۹۳/۸۴، ۸۳/۸۵ و ۷۰/۲۹، ۶۹/۶۵ درصد دارای بیشترین و کمترین مقدار نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیک بودند (شکل ۲). همچنین نسبت کاشت ۵۰:۵۰ نیز از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با نسبت

کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن– سویا) نداشت.

جدول ۲- مقایسه میانگین مربعات ارتفاع ساقه سویا در نسبت‌های مختلف کاشت

Table 2- Mean of squares comparison of soybean shoot height (cm) in different planting ratios

نسبت‌های کاشت (ارزن– سویا)	روز پس از کاشت سال ۱۳۹۷ Day after planting in 2018					روز پس از کاشت سال ۱۳۹۸ Day after planting in 2019				
Planting ratios (soybean-millet)	**45**	**60**	**75**	**90**	**105**	**45**	**60**	**75**	**90**	**105**
100 : 0	36.01±3.6	47.20±5.9	57.55±2.4	65.51±1.3	65.22±3.1	27.25±2.6	53.15±2.2	63.75±1.8	70.01±3.5	64.75±2.2
75 : 25	33.20±2.9	45.75±6.8	50.77±6.6	54.75±2.6	64.50±4.1	30.50±0.9	50.71±8.5	49.77±2.9	70.05±6.4	60.01±4.3
50 : 50	29.24±1.9	42.71±6.2	43.50±4.6	47.75±4.9	51.51±3.1	26.25±1.1	41.22±1.5	51.71±1.2	57.25±5.9	49.75±4.5
25 : 75	26.51±2.1	36.25±5.8	37.75±3.8	50.01±2.8	48.75±6.9	26.50±2.5	33.75±1.9	43.01±5.8	47.70±9.8	46.01±4.9
حداقل اختلاف معنی‌دار LSD (0.05)	4.76 **	9.51 ns	7.24**	5.36 **	6.65 **	3.02 *	7.59 **	5.27 **	12.11 **	5.26 **
ضریب تغییرات C.V (%)	9.54	13.83	9.55	6.14	7.23	6.85	10.57	6.32	12.34	6.26

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد و اعداد پس از میانگین نشان‌دهنده انحراف استاندارد است.

ns, * and **: are not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively and values are means±standard deviation ($\bar{X}$±SD).

جدول ۳- مقایسه میانگین مربعات ارتفاع ساقه ارزن در نسبت‌های مختلف کاشت

Table 3- Mean of squares comparison of millet shoot height (cm) in different planting ratios

نسبت‌های کاشت (ارزن- سویا) Planting ratios (soybean-millet)	روز پس از کاشت سال ۱۳۹۷ Day after planting in 2018					روز پس از کاشت سال ۱۳۹۸ Day after planting in 2019				
	45	**60**	**75**	**90**	**105**	**45**	**60**	**75**	**90**	**105**
0 : 100	8.14±1.3	14.23±1.7	35.25±3.3	62.75±1.9	66.25±3.3	9.01±0.8	15.01±2.1	41.25±5.7	62.01±5.4	66.75±5.4
25 : 75	8.03±0.3	14.25±2.6	39.01±1.8	69.50±1.9	65.22±4.5	9.20±0.9	21.01±4.1	44.50±1.3	67.05±7.1	67.70±6.2
50 : 50	6.65±1.1	17.01±1.6	43.77±4.9	78.22±2.5	68.71±6.2	7.25±1.7	26.25±3.3	61.75±4.3	78.25±4.3	73.75±4.9
75 : 25	8.13±0.6	16.25±2.6	58.01±3.9	80.50±5.9	90.75±6.5	8.75±1.5	32.50±4.2	64.01±2.9	75.70±3.6	92.22±7.4
حداقل اختلاف معنی‌دار LSD (0.05)	1.47 ns	3.91 ns	5.26**	4.91 **	7.37 **	2.07 ns	5.69 **	5.70 **	7.82 **	9.95 **
ضریب تغییرات CV (%)	11.88	15.82	7.48	4.22	6.33	15.11	15.02	6.73	6.90	8.28

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد و اعداد پس از میانگین نشان‌دهنده انحراف استاندارد است.

ns, * and **: are not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively and values are means±standard deviation ($\bar{X}$±SD).

جدول ٤- مقایسه میانگین مربعات شاخص سطح برگ سویا در نسبت‌های مختلف کاشت

Table 4- Mean of squares comparison of soybean leaf area index (LAI) in different planting ratios

نسبت‌های کاشت (ارزن- سویا) Planting ratios (soybean-millet)	روز پس از کاشت سال ۱۳۹۷ Day after planting in 2018					روز پس از کاشت سال ۱۳۹۸ Day after planting in 2019				
	45	60	75	90	105	45	60	75	90	105
100 : 0	0.97±0.1	2.15±0.1	2.11±0.1	2.64±0.3	5.29±0.7	0.78±0.1	2.41±0.2	2.69±0.2	3.48±0.3	4.50±0.6
75 : 25	1.09±0.1	1.85±0.2	2.15±0.1	2.60±0.3	5.43±0.8	1.02±0.1	2.34±0.3	3.47±0.2	3.47±0.3	4.02±0.5
50 : 50	0.91±0.2	1.71±0.2	2.73±0.2	3.25±0.8	6.18±0.9	0.88±0.1	2.34±0.2	3.23±0.2	3.65±0.6	6.34±0.6
25 : 75	1.07±0.1	2.47±0.2	3.01±0.1	3.43±0.2	6.09±0.6	1.02±0.1	2.46±0.3	3.96±0.5	5.38±0.5	6.54±0.2
حداقل اختلاف معنی‌دار LSD (0.05)	4.76 ns	0.28 **	0.28**	0.72 ns	1.15 ns	0.14 **	0.44 ns	0.77 **	0.76 **	0.84 **
ضریب تغییرات CV (%)	15.36	8.55	6.90	15.27	12.52	9.34	11.54	12.11	8.96	11.44

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد و اعداد پس از میانگین نشان‌دهنده انحراف استاندارد است.

ns, * and **: are not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively and values are means±standard deviation ($\bar{X}$±SD).

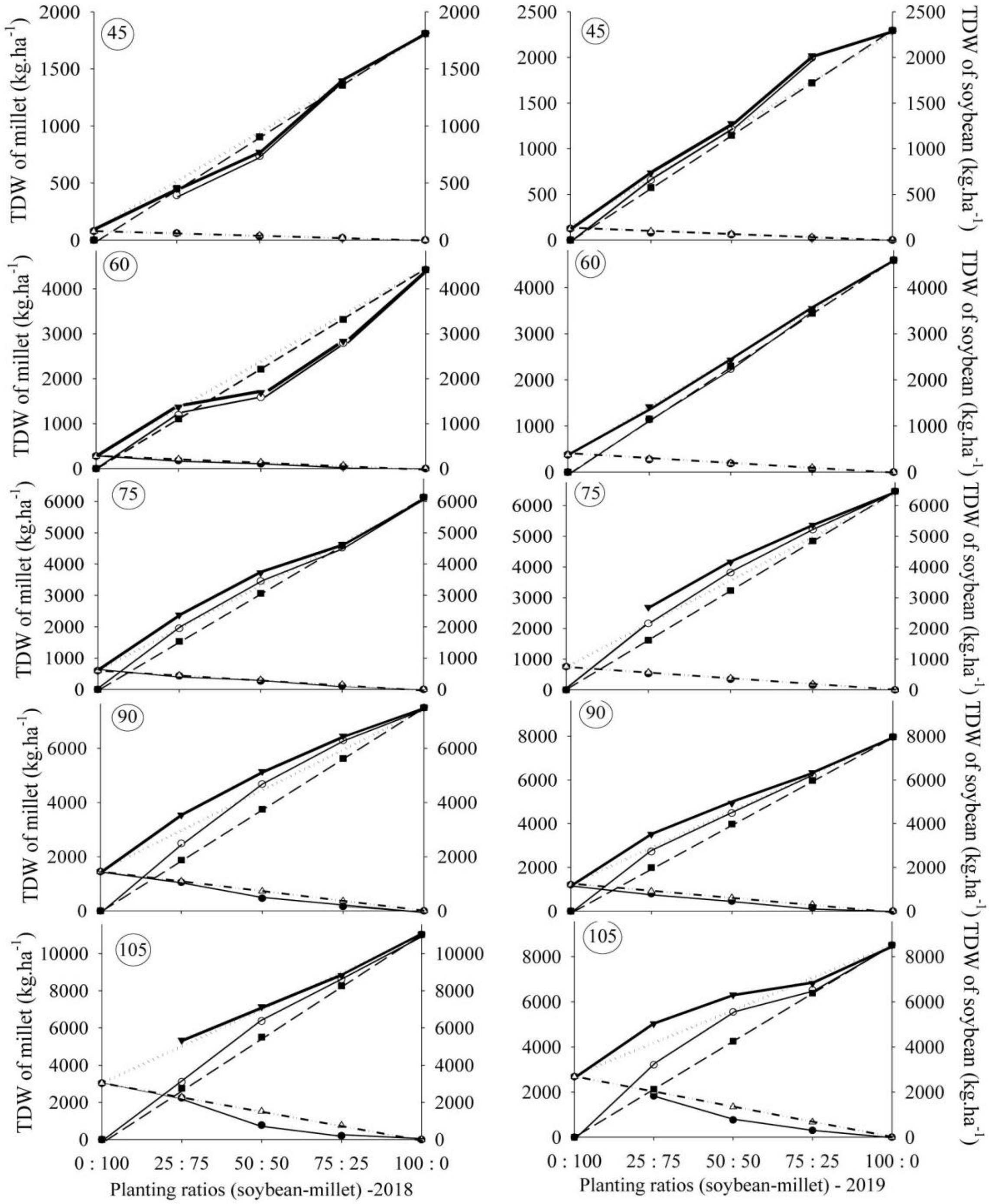
جدول ۵- مقایسه میانگین مربعات شاخص سطح برگ ارزن در نسبت‌های مختلف کاشت

Table 5- Mean of squares comparison of millet leaf area index (LAI) in different planting ratios

نسبت‌های کاشت (ارزن- سویا) Planting ratios (soybean-millet)	روز پس از کاشت سال ۱۳۹۷ Day after planting in 2018					روز پس از کاشت سال ۱۳۹۸ Day after planting in 2019				
	45	**60**	**75**	**90**	**105**	**45**	**60**	**75**	**90**	**105**
0 : 100	0.18±0.01	0.45±0.1	1.08±0.6	0.69±0.6	0.12±1.1	0.34±0.1	0.70±0.2	1.25±0.3	0.68±0.9	0.17±0.9
25 : 75	0.19±0.02	0.39±0.1	1.11±0.5	0.75±0.4	0.14±1.3	0.27±0.1	0.62±0.1	1.03±0.1	0.65±0.4	0.18±0.8
50 : 50	0.15±0.03	0.34±0.2	1.21±0.2	0.53±0.6	0.12±1.4	0.29±0.1	0.70±0.1	1.12±0.4	0.61±0.3	0.12±0.7
75 : 25	0.18±0.03	0.25±0.1	0.97±0.4	0.51±0.2	0.16±0.5	0.22±0.1	0.48±0.1	1.07±0.3	0.51±0.6	0.12±0.7
حداقل اختلاف معنی‌دار LSD (0.05)	0.03 ns	0.09 **	0.15*	0.16 *	0.01 **	0.06 ns	0.09 **	0.15 ns	0.09 *	1.81 **
ضریب تغییرات C.V (%)	12.23	15.81	8.70	15.81	5.52	15.28	9.53	8.91	10.14	7.54

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد و اعداد پس از میانگین نشان‌دهنده انحراف استاندارد است.

ns, * and **: are not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively and values are means±standard deviation ($\bar{X}$±SD).



شکل ۱- تأثیر رقابت دو گیاه ارزن و سویا بر مقدار وزن خشک کل بوته در نسبت‌های مختلف کاشت و در سال‌های مورد مطالعه

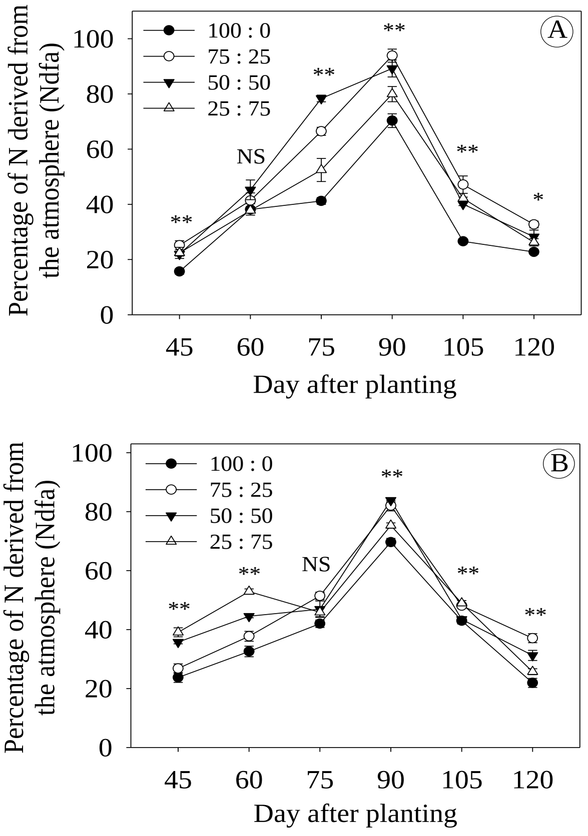
Fig. 1- The effect of millet and soybean crop competition on total dry weight in different planting ratios (soybean-millet) and the studied years

(● وزن خشک کل بوته ارزن، ○ وزن خشک کل بوته سویا، ▼ مجموع وزن خشک کل دو گیاه در کشت مخلوط، △ مقدار قابل پیش‌بینی گیاه ارزن، ■ مقدار قابل پیش‌بینی گیاه سویا و اعداد داخل دایره در تصاویر مربوط به تعداد روز پس از کاشت می‌باشد)

(● Actual total dry weight of millet, ○ Actual total dry weight of soybean, ▼ Total actual yields of millet and soybean in intercropping, △ Expected total dry weight in millet, ■ Expected total dry weight in soybean, and the numbers inside the circle in the pictures are related to the day after planting.

امّا در مراحل ابتدایی رشد (۴۵ روز پس از کاشت) و پیش از آغاز گل‌دهی گیاه سویا، نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن- سویا) دارای فعالیت تثبیت بیولوژیکی بالاتری بود. این روند در مرحله ۶۰ روز پس از کاشت و در سال ۱۳۹۸ نیز مشاهده شد.

با توجه به محدودیت طول دوره رشد گیاه ارزن به نظر می‌رسد با افزایش سهم کاشت گیاه مذکور در کشت مخلوط و عدم مشارکت آن به‌دلیل آغاز رسیدگی به‌خصوص در مرحله ۹۰ روز پس از کاشت، میزان فعالیت تثبیت بیولوژیکی در گیاه سویا در مقایسه با سایر نسبت‌های کشت مخلوط کاهش یافت. نتایج مطالعه برخی از پژوهشگران نشان داد گیاه ارزن مرواریدی در استفاده مؤثر از نیتروژن حتی در کمترین سطح نیز از توانایی بالایی برخوردار است و در اختیار داشتن فضای بیشتر باعث افزایش رقابت در کشت مخلوط با سویا می‌شود (Layek et al., 2014). بنابراین، به نظر می‌رسد در مراحل اولیه رشد، تخلیه سریع‌تر عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن توسط غلات (Jiao et al., 2017) نقش مهمی در افزایش قابلیت تثبیت بیولوژیکی در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن- سویا) دارد. علاوه‌بر آن، کاهش قدرت منبع و انتقال مواد فتوسنتزی نیز می‌تواند باعث کاهش وزن خشک و نرخ تثبیت بیولوژیکی در گیاه سویا شود (Luca & Hungria, 2014).



شکل ۲- میانگین درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی سویا در طی دوره رشد و در نسبت‌های مختلف کاشت (ارزن- سویا)

Fig. 2- The average percentage of N derived from the atmosphere in soybean during the growing season and at different planting ratios (soybean-millet)

خطوط عمودی بر روی نقاط نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE)، حروف A و B به‌ترتیب نشان‌دهنده سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

ns، *، **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

Vertical bars on the points and the letters A, and B represent the standard error (SE) and studied years 2018-2019

ns, * and, **: are not significant, Significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

با توجه به افزایش معنی‌دار عملکرد ماده خشک در نسبت‌های کشت مخلوط، افزایش درصد نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی در مقایسه با تیمار کشت خالص (۱۰۰:۰) می‌تواند مربوط به نتایج مذکور و افزایش فعالیت فتوسنتزی گیاه سویا باشد. در مجموع، افزایش توانایی تثبیت بیولوژیکی گیاهان لگوم در کشت مخلوط با گیاهان زراعی چهار کربنه توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Zhang et al., 2014; Hu et al., 2016).

علاوه‌بر مطالب مذکور نسبت‌های مختلف کاشت در سال‌های مورد مطالعه اثر معنی‌داری بر فعالیت میکروبی خاک (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری) داشتند (جدول ۶). میزان فعالیت میکروبی خاک در مرحله ۶۰ روز پس از کاشت در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص گیاه سویا (۰ : ۱۰۰) و ارزن (۱۰۰ : ۰) بود. بیشترین میزان فعالیت متعلق به نسبت کاشت ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ (ارزن-سویا) در سال ۱۳۹۸ به‌ترتیب با میانگین ۴۵/۷۹ و ۴۴/۰۸ بود که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. هر چند میزان فعالیت میکروبی خاک در سال ۱۳۹۷ نیز در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن-سویا) بیشتر از سایر نسبت‌های کشت مخلوط بود و نسبت‌های کاشت ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (ارزن-سویا) از لحاظ آماری فاقد تفاوت معنی‌دار بودند (جدول ۶). بررسی فعالیت میکروبی خاک در مرحله رسیدگی نیز نشان داد نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن-سویا) در سال ۱۳۹۷ و ۵۰:۵۰ در سال ۱۳۹۸ به‌ترتیب با میانگین ۳۸/۸۸، ۲۲/۳۹ دارای بیشترین و کمترین میزان فعالیت کل میکروبی خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری بودند. هر چند از لحاظ آماری در سال ۱۳۹۸ نسبت‌های مختلف کشت‌مخلوط از نظر میزان فعالیت کل میکروبی خاک تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۶). یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش مقدار فعالیت کل میکروبی خاک در مرحله رسیدگی گیاه سویا می‌تواند مربوط به طول دوره رشد کمتر گیاه ارزن و همچنین افزایش سن گیاه سویا باشد. از آنجا که میزان فعالیت کل میکروبی در منطقه ریزوسفر بیشتر از سایر نقاط می‌باشد (Dotaniya et al., 2019)، بنابراین فعالیت مذکور می‌تواند تحت تأثیر میزان کربن اختصاص یافته به ترشحات ریشه قرار گیرد. این در حالی است که گیاه، میزان اختصاص کربن حاصل از مواد فتوسنتزی را در مراحل مختلف رشد مدیریت می‌نماید به نحوی که در مراحل انتهایی رشد مسیر اختصاص کربن را به‌سمت بخش‌بالایی مانند ساقه‌ها تغییر می‌دهد (Pausch & Kuzyakov, 2018; Oluwaseyi et al., 2019). در مجموع، چنین استنباط می‌شود که افزایش تنوع، باعث بهبود زیست‌توده میکروبی شده و از نرخ بالاتر فعالیت آنزیمی پشتیبانی می‌کند (King, 2014). هر چند فعالیت میکروبی خاک در چرخه کربن ممکن است به‌طور مستقیم مواد غذایی را برای رشد گیاه فراهم نکند، امّا برای تکثیر میکروارگانیسم‌های خاک که باعث تقویت رشد گیاه می‌شوند، کاملا ضروری است. بنابراین، به نظر می‌رسد تنوع بیشتر و تمایل به رقابت باعث ایجاد پویایی در زیست‌توده میکروبی و افزایش فعالیت کل آنزیمی خاک در اواسط رشد گیاه و در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط شده است. افزایش فعالیت کل میکروبی خاک در کشت مخلوط توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Li et al., 2013; Diakhate et al., 2016; Nyawade et al., 2019).

جدول ٦- مقایسه میانگین مربعات فعالیت کل میکروبی خاک (cm ۳۰-۰) در نسبت‌های مختلف کاشت

Table 6- Mean of squares comparison of total microbial activity in different planting ratios

نسبت‌های کاشت (ارزن- سویا) Planting ratios (soybean-millet)	۶۰ روز پس از کاشت 60 days after planting 2018	2019	مرحله برداشت Harvest stage 2018	2019
0 : 100	30.50 ±1.3	34.38 ±1.6	26.43 ±0.6	26.66 ±0.3
25 : 75	37.44 ±1.4	44.08 ±1.2	38.88 ±1.8	23.90 ±1.4
50 : 50	34.43 ±0.4	45.79 ±0.9	32.95 ±1.1	22.39 ±0.8
75 : 25	34.84 ±1.3	42.21±2.8	34.82 ±1.6	21.32 ±1.4
100 : 0	29.78 ±1.4	29.84 ±0.6	31.32 ±0.7	25.32 ±0.4
حداقل اختلاف معنی‌دار LSD (0.05)	2.34 **		1.61 **	
ضریب تغییرات CV (%)	4.21		3.88	

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد و اعداد پس از میانگین نشان‌دهنده انحراف استاندارد است.

ns, * and **: are not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively and values are means±standard deviation (X̄±SD).

جدول ۷- مقایسه میانگین مربعات عملکرد دانه در نسبت‌های مختلف کاشت

Table 7- Mean comparisons of seed yield in different planting ratios

نسبت‌های کاشت (ارزن- سویا) Planting ratios (soybean-millet)	عملکرد دانه ارزن Millet seed yield (kg.ha^{-1}) 2018	2019	مجموع Total	عملکرد دانه سویا Soybean seed yield (kg.ha^{-1}) 2018	2019	مجموع Total	مجموع عملکرد دانه Total seed yield (kg.ha^{-1}) 2018	2019
0 : 100	1379.1±78.3	1168.1±77.7	1273.6±133.9	-	-	-	1379.1±78.3	1168.1±77.8
25 : 75	1067.2±110.3	834.7±141.5	950.9±170.9	2088.2±72.6	2411.4±109.9	2249.8±107.9	3155.4±81.8	3246.1±79.1
50 : 50	332.0±104.2	289.7±85.3	310.8±91.1	3504.9±370.9	3732.6±271.3	3618.8±215.9	3836.9±236.1	4022.7±193.8
75 : 25	45.2±28.9	91.9 ±16.2	68.5±33.1	3761.5±549.1	4639.8±181.4	4200.6±323.9	3806.7±411.7	4731.7±392.8
100 : 0	-	-	-	4394.4±456.3	4963.9±103.6	4679.2±431.9	4394.4±456.3	4963.9±103.6
حداقل اختلاف معنی‌دار LSD (0.05)	141.55 *		100.09 **	618.32 **	294.17 **	321.75 **	467.87 *	
ضریب تغییرات C.V (%)	14.63		14.63	11.24	4.56	8.31	9.23	

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد و اعداد پس از میانگین نشان‌دهنده انحراف استاندارد است.

ns, * and **: are not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively, and values are means±standard deviation ($\bar{X}$±SD).

جدول ۸- شاخص‌های کشت مخلوط گیاه ارزن و سویا در سال‌های مورد مطالعه

Table 8- Intercropping index of millet and soybean in the studied years

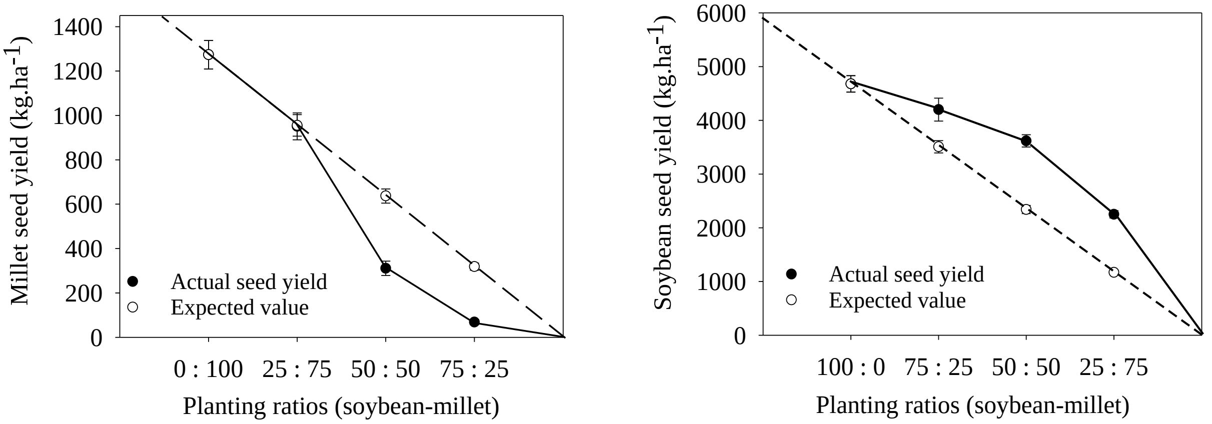
شاخص کشت مخلوط Intercropping index	گیاه زراعی Crop	نسبت‌های کاشت (ارزن- سویا) Planting ratios (soybean-millet) 25 : 75	50 : 50	75 : 25
شاخص برابری زمین Land equivalent ratio	ارزن Millet	0.75±0.12	0.25±0.06	0.05±0.01
	سویا Soybean	0.48±0.02	0.77±0.04	0.90±0.07
	مجموع Total	1.23±0.14	1.02±0.10	0.95±0.06
نسبت رقابت Competitve ratio	ارزن Millet	1.56±0.21	0.31±0.07	0.18±0.06
	سویا Soybean	1.96±0.28	3.34±0.86	5.93±2.15
غالبیت Aggresivety	ارزن Millet	- 0.23±0.03	- 0.26±0.02	- 0.24±0.03
	سویا Soybean	0.23±0.03	0.26±0.02	0.24±0.03

اعداد پس از میانگین نشان‌دهنده انحراف استاندارد است.

The values are means±standard deviation ($\bar{X}$±SD).

در نهایت، نسبت‌های مختلف کاشت در سال‌های مورد مطالعه اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشتند (جدول ۷). به نحوی که کشت خالص سویا (۱۰۰:۰) و ارزن (۰:۱۰۰) دارای بیشترین و کمترین عملکرد دانه بودند. در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط نیز

نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن- سویا) در سال ۱۳۹۸ با میانگین ۴۷۳۱/۶۶ کیلوگرم دارای بیشترین میزان عملکرد دانه در هکتار بود. نسبت کاشت ۵۰:۵۰ در سال‌های مورد مطالعه نیز از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن- سویا) در سال ۱۳۹۷ نداشت (شکل ۳). به‌طور کلی، با کاهش ردیف کاشت گیاه سویا در نسبت‌های مختلف، مقدار عملکرد دانه در مقایسه با مقادیر مورد انتظار افزایش یافت. امّا این نتایج در خصوص گیاه ارزن صادق نبود و با کاهش ردیف کاشت گیاه در کشت مخلوط میزان عملکرد دانه در مقایسه با مقادیر مورد انتظار به‌دلیل کاهش توان رقابتی گیاه ارزن کاهش یافت (شکل ۴). افزایش میزان عملکرد گیاه سویا در نسبت‌های مختلف کاشت نیز می‌تواند به‌علت بهبود فعالیت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، افزایش سطح برگ و میزان ماده خشک در گیاه سویا باشد. در این زمینه و بر اساس نتایج تحقیقات پژوهشگران، ارقام پرمحصول گیاه سویا در کشت مخلوط می‌توانند از طریق حفظ ساختار زایشی در مرحله آغاز تشکیل دانه (R_5) عملکرد خود را افزایش دهند (Wang et al., 2020). لذا افزایش شاخص سطح برگ در نسبت‌های کاشت ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ (ارزن- سویا) در مرحله ۱۲۰ روز پس از کاشت می‌تواند نقش مهمی در افزایش میزان عملکرد دانه در مقایسه با مقادیر قابل انتظار داشته باشد. علاوه‌بر آن، در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن- سویا) و ۵۰:۵۰ به ترتیب با میانگین ۱/۲۳ و ۱/۰۲ دارای نسبت برابری زمین بالاتر از یک بودند (جدول ۸) و این موضوع نشان‌دهنده برتری نسبت کاشت مذکور بر کشت خالص گیاهان مورد مطالعه است. نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن- سویا) نیز با نسبت برابری زمین ۰/۹۵ فاقد سودمندی لازم در مقایسه با کشت خالص گیاه ارزن (۰:۱۰۰) و سویا (۱۰۰:۰) بودند. علاوه‌بر آن، بررسی شاخص نسبت رقابت نیز نشان داد با افزایش سهم کاشت گیاه سویا در کشت مخلوط قدرت رقابت گیاه سویا افزایش یافت و نسبت رقابت گیاه ارزن تنها در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن- سویا) بیشتر از واحد بود. بنابراین، توان رقابتی گیاه ارزن در کشت مخلوط با کاهش سهم ردیف کاشت به‌شدت کاهش یافت. همچنین نتایج مربوط به شاخص رقابت نیز نشان داد، گیاه سویا در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط گیاه غالب بوده و دارای تسلط رقابتی بر گیاه ارزن می‌باشد. این موضوع نقش مهمی در افزایش کارایی استفاده از منابع توسط گیاه سویا در الگوی کشت مخلوط و افزایش میزان ماده خشک در مقایسه با مقادیر قابل انتظار دارد. در نهایت، یکی از مهم‌ترین دلایل برتری نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن- سویا) و افزایش بهره‌وری در تولید محصول، می‌تواند ایجاد رابطه مکملی مثبت، افزایش تولید ماده خشک و فعالیت تثبیت بیولوژیکی نیتروژن در سیستم کشت مخلوط باشد.



شکل ۳- میانگین عملکرد دانه گیاه ارزن و سویا در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط

Fig. 3- The average seed yield of millet and soybean in different planting ratios

خطوط عمودی بر روی ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (SE) می‌باشد.

vertical bars on the points represent the standard error (SE)

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد، ارتفاع ساقه سویا و ارزن تحت تأثیر نسبت‌های مختلف کاشت قرار گرفت. به نحوی‌که با افزایش سهم

کاشت سویا در کشت مخلوط ارتفاع ساقه گیاه ارزن افزایش یافت. امّا روند تغییرات ارتفاع سویا در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر خلاف ارزن بود و با کاهش تعداد ردیف کاشت سویا، ارتفاع ساقه در مقایسه با کشت خالص (۱۰۰:۰) کاهش یافت. به نظر می‌رسد، رابطه مستقیم تعداد ردیف کاشت گیاه سویا و درصد نور دریافت شده توسط تاج‌پوشش کشت مخلوط نقش مهمی در افزایش ارتفاع ساقه ارزن در نسبت کاشت ۷۵:۲۵ (ارزن- سویا) و کاهش ارتفاع ساقه سویا در نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن- سویا) در مقایسه با کشت خالص هر یک از گیاهان مورد مطالعه داشت. علاوه‌بر نتایج مذکور، گیاه سویا بر خلاف گیاه ارزن در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط موفق به تولید شاخص سطح برگ بیشتری در مقایسه با کشت خالص سویا (۱۰۰:۰) شد و نسبت کاشت ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ (ارزن- سویا) دارای بیشترین میزان شاخص سطح برگ بودند. کاهش شاخص سطح برگ ارزن نیز می‌تواند به‌دلیل قدرت رقابت و شاخص سطح برگ بیشتر سویا در الگوی کشت مخلوط و سازوکار فیزیولوژیکی گیاه ارزن از طریق تخصیص بیشتر ماده خشک به اندام‌های زایشی باشد. علاوه‌بر آن، از آنجا که درصد افزایش ماده خشک کل سویا در مراحل مختلف رشد بیشتر از میزان کاهش عملکرد ارزن بوده و همچنین مجموع عملکرد ماده خشک کل در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط نیز بیشتر از مقادیر پیش‌بینی شده است، بنابراین، تأثیر رقابت در کشت مخلوط دو گیاه ارزن و سویا از نوع مکملی مثبت می‌باشد. لذا کاهش مقدار ماده خشک کل گیاه ارزن در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط می‌تواند مربوط به کاهش میزان نور دریافتی به‌ویژه در نسبت‌های کاشت ۵۰:۵۰ و ۷۵:۲۵ (ارزن- سویا) و در نتیجه کاهش میزان فتوسنتز جاری گیاه باشد. علاوه‌بر نتایج مذکور، میزان نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط نیز بیشتر از کشت خالص گیاه سویا (۱۰۰:۰) بود. افزایش تعداد ردیف کاشت گیاه ارزن در الگوی کشت مخلوط می‌تواند نقش مهمی در ایجاد رقابت بیشتر با گیاه سویا در مراحل ابتدایی رشد و تأثیر بر قابلیت تثبیت بیولوژیکی گیاه سویا داشته باشد. علاوه‌بر آن، افزایش فعالیت کل میکروبی خاک در کشت مخلوط در مراحل مختلف رشد نسبت به کشت خالص نیز می‌تواند نشان‌دهنده اختصاص بیشتر مواد فتوسنتزی به ترشحات ریشه در بخش زیرزمینی باشد. لذا تنوع بیشتر و تمایل به رقابت باعث ایجاد پویایی و افزایش فعالیت کل میکروبی در زیست‌توده خاک شده است. همچنین عملکرد دانه سویا در نسبت‌های کاشت ۵۰:۵۰ و ۲۵:۷۵ (ارزن- سویا) به‌ترتیب ۵۴/۶۷ و ۹۲/۳۲ درصد در مقایسه با مقادیر قابل پیش‌بینی افزایش یافت. علاوه‌بر نتایج مذکور، در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، نسبت کاشت ۲۵:۷۵ (ارزن- سویا) و ۵۰:۵۰ به‌ترتیب با میانگین ۱/۲۳ و ۱/۰۲ دارای نسبت برابری زمین بالاتر از یک بودند و با بررسی شاخص غالبیت نیز مشخص گردید سویا در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط گونه غالب است. در نهایت، افزایش بهره‌وری در عملکرد دانه در الگوی کشت مخلوط ۲۵:۷۵ (ارزن- سویا) می‌تواند مربوط به تسلط رقابتی سویا و همچنین درصد نور دریافتی توسط تاج‌پوشش، افزایش میزان نیتروژن حاصل از تثبیت بیولوژیکی، فعالیت کل میکروبی خاک، ایجاد رابطه مکملی و افزایش میزان ماده خشک سویا نسبت به مقادیر قابل انتظار باشد.

References

1. Adam, G., & Duncan, H.(2001). Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. *Soil Biology and Biochemistry*, *33*, 943-951. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00244-3
2. Ahmadi, K., Ebadzadeh, H.R., Hatami, F., Abd Shah, H., & Kazemeian, A.(2018). Agricultural statistics of the crop year 2016-2017. Ministry of Jahad Agriculture, Tehran, Iran. (In Persian)
3. Ahmadvand, G., & Hajinia, S.(2016). Ecological aspects study of replacement intercropping patterns of soybean (*Glycine max* L.) and millet (*Panicum miliaceum* L.). *Agroecology Journal*, *7(4)*, 485-498. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22067/jag.v7i4.43744
4. Bedoussac, L., & Justec, E.(2011). A comparison of commonly used indices for evaluating species interactions and intercrop efficiency: Application to durum wheat–winter pea intercrops. *Field Crop Research*, *124*, 25-36. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.05.025
5. Bitew, Y., Alemayehu, G., Adego, E., Assefa, A., & Moral, M.T.(2019). Boosting land use efficiency, profitability, and productivity of finger millet by intercropping with grain legumes. *Cogent Food and Agriculture*, *5*(1), 1-22. https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1702826
6. Cardoso, E.J.B.N., Nogueira, M.A., & Ferraz, S.M.G.(2007). Biological N_2 fixation and mineral N in common

bean – maize intercropping or sole cropping in southeastern Brazil. *Experimental Agriculture*, *43*, 319-330. https://doi.org/10.1017/S0014479707005029

7. Cataldo, D.A., Haroon, M., Schrader, L.E., & Youngs, V.L.(1975). Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *6*, 71–80. https://doi.org/10.1080/00103627509366547
8. Cox, W.J., & Cherney, J.H.(2011). Growth and yield responses of soybean to row spacing and seeding rate. *Agronomy Journal*, *103*(1), 123-129. https://doi.org/10.2134/agronj2010.0316
9. Crews, T.E., Blesh, J., Culman, S.W., Hayes, R.C., Jensen, E.S., Mark, M.C., Peoples, M.B., & Schipanski, M.E.(2016). Going where no grains have gone before: From early to mid-succession. *Agriculture, Ecosystem and environment*, *223*, 223-238. https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.03.012
10. Darapuneni, M.K., Angadi, S.V., & Umesh, M.R.(2018). Canopy development of annual legumes and forage sorghum intercrops and its relation to dry matter accumulation. *Agronomy Journal*, *110*(3), 939-949. https://doi.org/10.2134/agronj2017.06.0301
11. Diakhate, S., Gueye, M., Chevallier, T., Diallo, N.H., Assigbetse, K., Abadie, J., Diouf, M., Masse, D., Sembene, M., Ndour, Y.B., Dick, R.P., & Lardy, L.C.(2016). Soil microbial functional capacity and diversity in a millet-shrub intercropping system of semi-arid Senegal. *Journal of Arid Environments*, *129*, 71-79. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.01.010
12. Dotaniya, M.L., K. Aparna, C.K. Dotaniya, M. Singh and K.L. Regar. 2019. Role of soil enzymes in sustainable crop production. In, Enzymes in food biotechnology, production, applications, and future prospects, Ed. M. Kuddus, 569-589. Academic Press. Amsterdam, Netherlands.
13. Fehr, W.R., Caviness, C.E., Burmood, D.T., & Pennington, J.S.(1971). Stage of development descriptions for soybean, *Glycine max* L. *Crop Science*, *11*(6), 929-931. https://doi.org/10.2135/cropsci1971.0011183X001100060051x
14. Ganbari, A., Nasiripour, M., & Tavassoli, A.(2010). Evaluation of ecophysiological characteristics of intercropping of millet (*Panicum miliaceum* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Agroecology Journal*, *2*(4), 556-564. (In Persian) https://doi.org/10.22067/jag.v2i4.8784
15. Giles, C.D., Brown, L.K., Adu, M.O., Mezeli, M.M., Sandral, G.A., Simpson, R.J., Wendler, R., Shand, C.A., Menezes, D., Darch, T., Stutter, M.I., Lumsdon, D.G., Zhang, H., & George, T.S.(2017). Response-based selection of barley cultivars and legume species for complementarity: Root morphology and exudation in relation to nutrient source. *Plant and Soil*, *255*, 12-28. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.11.002
16. Hangria, M., & Mendes, I.C.(2015). Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis. In F.J. de Bruijn (Eds). Biological Nitrogen Fixation, Volume 2, First Edition. John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. p. 1009-1023.
17. Hauggaard-Nielsen, H., Gooding, M., Ambus, P., Corre-Hellou, G., Crozat, Y., Dahlmann, C., Dibet, A., Fragstein, P., Pristeri, A., Monti, M., & Jensen, E.S.(2009). Pea–barley intercropping for efficient symbiotic N_2-fixation, soil N acquisition, and use of other nutrients in European organic cropping systems. *Field Crop Research*, *113*, 64-71. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.04.009
18. Herridge, D.F.(1984). Effects of nitrate and plant development on the abundance of nitrogenous solutes in root-bleeding and vacuum extracted exudates of soybean. *Crop Science*, *25*, 173-179. https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400010041x
19. Hill, J., & Shimamoto, Y.(1973). A method of analyzing competition with special reference to herbage plants. *Journal of Agricultural Science*, *81*, 77-88. https://doi.org/10.1017/S0021859600058342
20. Hu, F., Gan, Y., Chai, Q., Feng, F., Zhao, C., Yu, A., Mu, Y., & Zhang, Y.(2016). Boosting system productivity through the improved coordination of interspecific competition in maize-pea strip intercropping. *Field Crops Research*, *198*, 50-60. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.08.022
21. Hunt, R.(1990). Basic growth analysis, plant growth analysis for beginners. British Library Cataloguing in Publication, Salisbury, England p. 118.
22. Jahan, M., Nassiri Mahallati, M., Amiri, M.B., & Ehyayi, H.R.(2013). Radiation absorption and use efficiency of sesame as affected by biofertilizers inoculation in a low input cropping system. *Industrial Crops and Products*, *43*, 606-611. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.08.012
23. Jiao, Y., Wang, E., Chen, W., & Smith, D.L.(2017). Complex interactions in legume/cereal intercropping system:

Role of root exudates in root-to-root communication. BioRxiv 097584: 1-6. https://doi.org/10.1101/097584
24. Khammar, Z., Dahmardeh, M., Khammari, I., & Mossavi, S.M.(2020). The evaluation of resource efficiency and soil fertility indices in pearl millet (*Panucum miliaceum* L.) and peanut (*Arachis hypogaea* L.) intercropping. *Agroecology Journal*, *11*(4), 1511-1525. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22067/jag.v11i4.76827
25. Khan, M.A., Chen, Q. Li, W., Zhang, L. Wu, Li, Z., & Lin, W.(2014). Effect of interspecific root interaction on soil nutrition, enzymatic activity, and rhizosphere biology in maize-peanut intercropping system. Pakistan Journal of *Agricultural Sciences*, *51*(2), 395-406. https://doi.org/10.1111/plb.13157
26. King, A.(2014). Multifunctional agriculture: root and nitrogen dynamics in two alternative systems. Graduate Ph.D. Dissertations, Faculty of Ecology and Evolutionary Biology, Iowa State University, United State.
27. Kuzyakov, Y., & Xu, X.(2013). Competition between roots and microorganisms for nitrogen: Mechanisms and ecological relevance. *New Phytologist*, *198*, 656-669. https://doi.org/10.1111/nph.12235
28. Layek, J., Shivakumar, B.G., Rana, D.S., Munda, S., Lakshman, K., Das, A., & Ramkrushna, G.I.(2014). Soybean–cereal intercropping systems as influenced by nitrogen nutrition. *Agronomy Journal*, *106*(6), 1933-1946. https://doi.org/10.2134/agronj13.0521
29. Li, X., Mu, Y., & Cheng, Y.(2013). Effects of intercropping sugarcane and soybean on growth, rhizosphere soil microbes, nitrogen and phosphorus availability. *Acta Physiologiae Plantarum*, *35*, 1113-1119. https://doi.org/10.1007/s11738-012-1148-y
30. Loreau, M., & Hector, A.(2001). Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature*, *412*, 72–76. https://doi.org/ 10.1038/35083573
31. Luca, M.J.D., & Hungria, M.(2014). Plant densities and modulation of symbiotic nitrogen fixation in soybean. *Scientia Agricola*, *71*(3), 181-187. https://doi.org/10.1590/S0103-90162014000300002
32. Maikhuri, R.K., Dangwal, D., & Negi, V.S.(2016). Evaluation of symbiotic nitrogen fixing ability of legume crops in Central Himalaya, India. *Rhizosphere*, *1*, 26-28. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2016.001
33. McGilchrist, C.A.(1965). Analysis of competition experiments. *Biometrics*, *21*, 975–985. https://doi.org/ 10.2307/2528258
34. Mead, R., & Willey, R.W.(1980). The concept of a land equivalent ratio and advantages in yields for intercropping. *Experimental Agriculture*, *16*, 217–228. https://doi.org/10.1017/S0014479700010978
35. Mehrani, A., Mosavat, S.A., Shoushi, A.A., Tabatabaei, S.A., Ghasemi, A., Shoushi, A., Tabatabaei, S., Ghasemi, A., Abbasi, M.R., & Zamanian, M.(2013). Bastan the first cultivar of foxtail millet for emergency feed production. *Research Achievement for Field and Horticulture Crops*, *2*(2), 119-128. (In Persian with English Summary) https://doi.org/ 10.22092/rafhc.2013.100137
36. Monti, M., Pellicano, A., Santonoceto, C., & Pristeri, A.(2016). Yield components and nitrogen use in cereal-pea intercrops in Mediterranean. *Field Crop Research*, *196*, 379-388. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.017
37. Nyawade, S.O., Karanja, N.N., Gachene, C.K.K., Gitari, H.I., Geldermann, E.S., & Parker, M.L.(2019). Short-term dynamics of soil organic matter fractions and microbial activity in smallholder potato-legume intercropping systems. *Applied Soil Ecology*, *142*, 123-135. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.04.015
38. Oluwaseyi, S.O., Ayangbenro, A.S., Glick, B.R., & Babalola, O.(2019). Plant health: Feedback effect of root exudates-rhizobiome interactions. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *103*, 1155-1166. https://doi.org/10.1007/s00253-018-9556-6
39. Pausch, J, & Kuzyakov, Y.(2018). Carbon input by roots into the soil: Quantification of rhizodeposition from root to ecosystem scale. *Global Chang Biology*, *24*(1), 1–12. https://doi.org/10.1111/gcb.13850
40. Ren, Y., Liu, J., Wang, Z., & Zhang, S.(2016). Planting density and sowing proportions of maize–soybean intercrops affected competitive interactions and water-use efficiencies on the Loess Plateau, China. *European Journal of Agronomy*, *72*, 70-79. https://doi.org/ 10.1016/j.eja.2015.10.001
41. Stomph, T., Dordas, C., Baranger, A., de Rijk, J., Dong, B., Evers, J., Gu, C., Li, L., Simon, J., Jensen, E.S., Wang, Q., Wang, Y., Wang, Z., Xu, H., Zhang, C., Zhang, L., Zhang, W., Bedoussac, L., & Werf, W.V.(2020). Designing intercrops for high yield, yield stability, and efficient use of resources: Are there principles? Advances in Agronomy. In D.L. Sparks (Ed), Advances in Agronomy. Academic Press, London. p. 1-50.
42. Tagliapietra, E.L., Streck, N.A., Marques, T.S., Richter, G.L., Silva, M.R., Cera, J.C., Guedes, J.V., & Zanon, A.J.(2018). Optimum leaf area index to reach soybean yield potential in subtropical environment. *Agronomy*

Journal, *110*(3), 932-938. https://doi.org/ 10.2134/agronj2017.09.0523

43. Unkovich, M., Herridge, D.F., Peoples, M., Cadisch, G., Boddey, B., Giller, K., Alves, B., & Chalk, P.(2008). Measuring plant-associated nitrogen fixation in agricultural systems. Australian Center for International Agricultural Research (ACIAR). p. 136-258.
44. Ventura, F., Vignudelli, M., Poggi, G.M., Negri, L., & Dinelli, G.(2020). Phenological stages of proso millet (*Panicum miliaceum* L.) encoded in BBCH scale. *International Journal of Biometeorology, 64*, 1167-1181. https://doi.org/ 10.1007/s00484-020-01891-3
45. Wang, X., Wu, X., Ding, G., Yang, F., Yong, T., Wang, X., & Yang, W.(2020). Analysis of grain yield differences among soybean cultivars under maize–Soybean intercropping. *Agronomy*, *10*(110), 1-17. https://doi.org/10.3390/agronomy10010110
46. Willer, H., & Lernoud, J.(2017). The world of organic agriculture statistics and emerging trends. Research Institute of Organic Agriculture FiBL and IFOAM-Organic International. Frick and Bonn, Germany. p. 340.
47. Willey, R.W., & Rao, M.R.(1980). A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. *Experimental Agriculture*, *16*, 117-125. https://doi.org/10.1017/S0014479700010802
48. Yang, F., Fan, Y., Wu, X., Cheng, Y., Liu, Q., Feng, L., Chen, J., Wang, Z., Wang, X., & Yong, T.(2018). Auxin-to-gibberellin ratio as a signal for light intensity and quality in regulating soybean growth and matter partitioning. *Frontiers Plant Science*, *9*(56), 1-13. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00056
49. Young, E.G., & Conway, C.F.(1942). On the estimation of allantoin by the Rimini-Schryver reaction. *Journal of Biological Chemistry*, *142*, 839–853. https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)45082-X
50. Zhang, N.N., Sun, Y.M., Wang, E.T., Yang, J.S., Yuan, H.L., & Scow, K.M.(2014). Effects of intercropping and rhizobial inoculation on the ammoniaoxidizing microorganisms in rhizospheres of maize and faba bean plants. *Applied Soil Ecology*, *85*, 76-85. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.09.008

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

Research Article
Vol. 15, No. 2, Summer 2023, p. 359-379

Evaluation of the Effect of Application of Superabsorbent and Mycorrhiza Inoculation on Nutrient Uptake, Water Use Efficiency, and Yield of Potato (*Solanum tuberosum*) Plant in Deficit Irrigation Conditions

Khosro Parvizi[1]*, Alireza Yazdanpanah[2] and Behrouz Moradi-Ashour[1]

Received: 14-07-2021
Revised: 23-10-2021
Accepted: 25-10-2021
Available Online: 25-10-2021

How to cite this article:
Parvizi, K., Yazdanpanah, A., & Moradi-Ashour, B. (2023). Evaluation of the effect of application of superabsorbent and mycorrhiza inoculation on nutrient uptake, water use efficiency, and yield of potato plant in deficit irrigation conditions. *Journal of Agroecology*, *15*(2), 359-379.
DOI: 10.22067/agry.2021.71426.1057

Introduction

Hamedan province, characterized by an average annual rainfall of less than 340 mm, faces significant limitations in potato production(*Solanum tuberosum*)primarily due to the scarcity of irrigation water and drought stress during critical growth stages. In order to address these challenges, the utilization of aqueous superabsorbent materials and the inoculation of mycorrhizal fungi have emerged as highly suitable approaches. These methods aim to optimize the utilization of water and soil resources (Khadem et al., 2011). Previous studies have indicated that the inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi in various plant species, apart from potatoes, can reduce the impact of drought stress and enhance nutrient uptake (Bolannazar et al., 2007; Subramanian et al., 2008). However, limited research has been conducted on the effects of superabsorbents and mycorrhizae, particularly under moisture stress conditions and deficit irrigation in potato crops. Consequently, this experiment investigates the effects of applying these methods under stress conditions.

Materials and Methods

The experiment was arranged in strip factorial based on a randomized complete block design with three replications. Three irrigation levels containing optimal irrigation (100, 75 and 50% of water requirement based on evapotranspiration from Pan Class A) in horizontal plots and factor 2 using Trawat200A superabsorbent (0 and 80 kg.ha-1) and four mycorrhiza and superabsorbent levels including no application of these materials (control), superabsorbent, mycorrhiza as a bio-fertilizer and their combination were considered as subplots. The Agria potato cultivar was selected. Superabsorbent material was applied adjacent to the tubers at planting time. Mycorrhizal inoculum containing the active propagules (CFU 120.g^{-1}) was inoculated to the tubers. The concentration of nutrients in the shoot and the tubers was determined by using Kjeldahl apparatus for Nitrogen (Waling et al., 1989), spectrophotometer for phosphorus (Jones, 2001), flame photometry for Potassium and atomic absorption spectroscopy for Iron, Zinc, and Manganese (Ryan et al., 2001). the produced tubers were divided, weighed, and counted based on their size in three groups (small, medium, and large). Water use efficiency was determined as the amount of dry matter produced per cubic meter of water consumption in different treatments.

1- Associate Professor and Assistant Professor, Department of Horticulture Crops Research, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran, respectively.
2- Faculty Member, Department of Soil and Water Research, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran.
(*- Corresponding author's Email: k.parvizi@areeo.ir)

Results and Discussion

The results of combined analysis of variance showed that the main effects of irrigation rate, application of mycorrhiza and superabsorbent on tuber yield and percentage of dry matter, and nutrient uptake in stem, leaf, and tuber were significant. A comparison of means showed that with the application of low irrigation and increasing the intensity of water deficiency (reducing the amount of irrigation water), total yield decreased. However, this decrease was significantly slighter in inoculation conditions with mycorrhiza and the use of the superabsorbent polymer. Mycorrhiza and superabsorbent increased the absorption of nutrients, especially under severe water deficiency. In this study, there was a significant difference in the uptake of phosphorus and other low-consumption and high-consumption nutrients at normal irrigation levels and stress in mycorrhizal plants so that their uptake increased in proportion to the increase in stress intensity and in mycorrhizal inoculation conditions. It seems that by creating stress conditions, the ability and efficiency of mycorrhiza in nutrient uptake is increased, and thus ,the conditions of lack of moisture with the coexistence mechanism in the relationship of the plant more effectively helps the survival and durability of the plant. Mycorrhizal fungi can increase phosphorus uptake from the soil by increasing the relative water content and ultimately play an effective role in increasing plant growth (Krishna et al., 2005). In this study, it was found that using superabsorbent in potatoes helps to increase the absorption of nutrients. The reason for this can be increasing the storage capacity of water and nutrients for a long time in the soil, reducing nutrient leaching, and rapid and optimal root growth with better nutrient storage and aeration of the soil.

Conclusion

In this study, it was found that the application of superabsorbent and mycorrhiza in potato helps increase nutrient uptake and tuber yield. The positive effects of the combined application of mycorrhiza and superabsorbent on nutrient uptake and yield were more evident, especially in conditions of severe water deficiency.

Acknowledgments

We are grateful for the efforts of Dr. Bakhtiari and Mr. Abdolreza Mordai in coordinating and equipping irrigation equipment and land preparation.

Keywords*:* Potato crop, Superabsorbent materials, Symbiotic fungi, water deficiency

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۳۷۹-۳۵۹

بررسی اثر کاربرد سوپرجاذب رطوبتی و تلقیح با قارچ میکوریزا بر جذب عناصر غذایی، کارآیی مصرف آب و عملکرد گیاه سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) در شرایط کم‌آبیاری

خسرو پرویزی[1*]، علیرضا یزدان‌پناه[2] و بهروز مرادی عاشور[1]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۸/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۳

چکیده:

به‌منظور بررسی اثر سوپرجاذب رطوبتی و تلقیح میکوریزایی بر میزان مصرف آب، جذب عناصر غذایی، عملکرد کمّی و کیفی سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) آزمایشی به‌صورت طرح استریپ- پلات فاکتوریل (طرح نواری) با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی طی سال‌های ۹۸-۱۳۹۷ در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان به اجرا درآمد. در این تحقیق، مقدار آب آبیاری در سه سطح (۱۰۰ ، ۷۵ و۵۰ درصد نیاز آبی بر اساس تبخیر و تعرق) در کرت‌های افقی و فاکتور استفاده از سوپر جاذب Trawat200A با دو سطح (۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار) و میکوریزادر دو سطح (تلقیح و عدم تلقیح با میکوریزا گونه *Glomus etunicatum*) در کرت‌های عمودی قرار گرفتند. در طول فصل رشد، درصد کلونیزاسیون ریشه، غلظت عناصر غذایی در اندام‌های مختلف اندازه‌گیری شد. در مرحله برداشت عملکرد هر کرت توزین، ماده خشک غده اندازه‌گیری و کارآیی مصرف آب تعیین گردید. نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرات اصلی میزان آبیاری، استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب در عملکرد غده و درصد ماده خشک آن، میزان جذب عناصر غذایی در ساقه، برگ و در غده معنی‌دار شد. در مقایسه اثر سال‌های آزمایش صرفاً در کارآیی مصرف آب تفاوت معنی‌دار ($p\leq0.05$) مشاهده شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با اعمال کم‌آبیاری (کاهش میزان آب آبیاری) عملکرد کل ۸/۹۶ تن در هکتار کاهش پیدا کرد، امّا این کاهش در شرایط تلقیح توأم با میکوریزا و با کاربرد پلیمر سوپر جاذب به‌طور معنی‌داری (فقط ۴/۹۲ تن در هکتار) کمتر بود. در شرایط کم‌آبیاری متوسط و شدید استفاده از میکوریزا و سوپر جاذب عملکرد کل را در مقایسه با عدم استفاده از آن‌ها به‌ترتیب حدود ۹/۵ و ۱۰/۱۵ درصد افزایش داد. همچنین میزان جذب عناصر غذایی (پرمصرف و کم مصرف) در غده و نیز در شاخ و برگ متناسب با کاهش میزان آب آبیاری کاهش پیدا کرد. میکوریزا و سوپرجاذب در افزایش قدرت جذب عناصر غذایی به‌ویژه در شرایط کم‌آبیاری مؤثرتر عمل کردند. در مجموع، تلقیح با میکوریزا و به‌کارگیری سوپرجاذب در سیب‌زمینی اثرات مثبت و مؤثری در جذب مواد غذایی و همچنین عملکرد کل در شرایط کم‌آبیاری و به‌ویژه با اعمال کم‌آبیاری شدید داشت.

واژه‌های کلیدی: رژیم‌های آبیاری، قارچ همزیست، محصول سیب‌زمینی، مواد جاذب رطوبت

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) از مهم‌ترین محصولات زراعی استان همدان می‌باشد. اگرچه در این استان میزان بارندگی کم (متوسط بارندگی سالیانه ۳۱۳ میلی‌متر) و توزیع و پراکنش زمانی آن

۱- دانشیار پژوهشی و استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی- باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران.
۲- مربی پژوهشی، بخش تحقیقات علوم خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران.

(*- نویسنده مسئول: (Email: k.parvizi@areeo.ir
DOI: 10.22067/agry.2021.71426.1057

نامناسب است، ولی قابلیت‌های بالایی در کشت و تولید محصول سیب‌زمینی در استان وجود دارد. سیب‌زمینی محصولی حساسی به تنش خشکی به‌ویژه در مرحله غده‌زایی می‌باشد. مدیریت صحیح آبیاری در مزرعه نقش مهمی در افزایش کارآیی مصرف آب داشته و همچنین با جلوگیری از کاهش عملکرد از میزان آلودگی به بیماری کاسته و کیفیت غده‌های تولیدی نیز ارتقا می‌یابد (Gaurav et al., 2010). در این راستا، بایستی روش‌هایی اتخاذ شود که علاوه‌بر دستیابی به بهره‌وری مطلوب از منابع آبی موجود، پایداری تولید این محصول نیز حفظ گردد. استفاده از سوپرجاذب‌های رطوبتی و تلقیح با قارچ میکوریزا از ابزارهای مناسب مدیریت آب می‌باشد که با افزایش در جذب آب و عناصر غذایی قدرت رقابتی محصول را افزایش داده و می‌توانند با ایجاد رشد مطلوب‌تر و اجتناب از برخورد با تنش در مراحل بحرانی رشد، منجر به افزایش کمّی و کیفی محصول بشوند. همچنین به‌کارگیری سوپرجاذب و تلقیح میکوریزایی می‌توانند با افزایش قدرت رشد، توان رقابتی محصول را نیز افزایش داده و در کنترل جمعیت آفات و نیز جلوگیری از بروز بیماری‌های مهم در سیب‌زمینی نیز تأثیر بسزایی دارد (Rosendahl, 1985; Zhu & Yao, 2004) لذا می‌توانند در جهت نیل به کشاورزی پایدار و کاهش مصرف سموم در تولید محصول سالم در سیب‌زمینی به‌عنوان یک راهکار مطلوب باشند (Khadem et al., 2011). سوپرجاذب‌ها از نظر ساختمانی شبکه‌ای از مواد پلیمری هیدروکربن و آبدوست می‌باشند. ضریب جذب آب در این مواد بسیار بالا بوده و بیش از ۵۰۰ برابر جرم حجمی خود آب جذب می‌کنند. تخلیه آب در این مواد تدریجی بوده و در اثر خشک شدن خاک به‌تدریج صورت می‌گیرد. بنابراین، محیط خاک و ریشه به مدت نسبتاً طولانی در حد ظرفیت زراعی باقی‌مانده آب لازم را در اختیار گیاه قرار می‌دهد (Monning, 2005). جهان و همکاران (Jahan et al 2013) با بررسی اثر مواد سوپرجاذب رطوبتی در کاهش اثر تنش خشکی در ذرت (*Zea mays*) با دو دور آبیاری هفت و ۱۴ روزه، نتیجه گرفتند که ارتفاع بوته، درصد ماده خشک و عملکرد به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای سوپرجاذب قرار گرفت و با مصرف هر دو سطح ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب، صفات رشد به طریقی معنی‌دار در دور آبیاری ۱۴ روزه افزایش پیدا کرد. مائو و همکاران (Mao et al., 2011) نتیجه گرفتند که در ذرت تعداد دانه در بوته با کاربرد حداقل مصرف سوپرجاذب تحت تأثیر واقع نشد، امّا در سطوح متوسط و بالاتر مصرف سوپرجاذب، به‌ترتیب ۳۱ و ۴۵ درصد تعداد دانه در بوته افزایش پیدا کرد. در پژوهشی دیگر (Jalili et al., 2011) با اندازه‌گیری قطر یقه و تاج پوشش در نهال‌های گل رز با مصرف ماده سوپر جاذب Trawat 20 در سه سطح صفر، ۴۰، ۹۰ و ۱۴۰ گرم در هر ۰۹/ مترمکعب خاک محدوده اطراف نهال و چاله کاشت و با اعمال چهار سطح آبیاری در دوره‌های ۶، ۱۰، ۱۴ و ۱۸ روزه، مشخص شد که دور آبیاری ۱۰ روزه و با مصرف ۴۰ گرم سوپرجاذب، نسبت به سایر مقادیر سوپرجاذب و سطوح آبیاری وضعیت مطلوب‌تری ایجاد کرد. بانج شفیعی و رهبر (Banedj Schafiee & Rahbar, 2019) با مقایسه تأثیر پلیمر نوازورب A (تولید پژوهشگاه پلیمر ایران) در گیاه *Panicum antidotale* Roze در سه نوع خاک سبک، متوسط و سنگین و با سه دور آبیاری ۴، ۸ و ۱۲ روزه نتیجه گرفتند که کاربرد ماده سوپرجاذب سبب تسریع معنی‌دار رویش بذرها به‌ترتیب به‌مدت هفت و نه روز در دوره‌های آبیاری ۸ و ۱۲ روزه در دو خاک با بافت متوسط و سبک شده است. ضمن اینکه در خاک‌های سبک تعداد خوشه‌های ظاهر شده روی هر بوته را ۸۵/۵ درصد افزایش داد. رشیدی و همکاران (Rashidi et al., 2014) به بررسی تأثیر ماده سوپرجاذب Trawat A به همراه سطوح مختلف کود شیمیایی و آلی (کود مرغی، کمپوست، ورمی‌کمپوست و کود دامی) بر عملکرد و شاخص‌های رشد سیب‌زمینی پرداختند. نتایج آزمایش مشخص کرد که اثر سوپر جاذب در تعداد ساقه در بوته و عملکرد کل معنی‌دار شد، امّا در تعداد غده در مترمربع معنی‌دار نشد. همچنین اثر متقابل کود آلی و ماده سوپرجاذب در صفات ارتفاع بوته، تعداد ساقه در بوته و عملکرد کل تفاوت معنی‌دار نشان داد.

قارچ‌های میکوریزابا افزایش در جذب آب و عناصر غذایی از یک سو و تغییر در مواد شیمیایی بافت‌های گیاهی، رقابت با عوامل بیماریزا برای محل استقرار در ریشه، تغییر ساختار ریشه و کاستن از اثر تنش‌های محیطی، به رشد و نمو گیاه زراعی کمک می‌کنند. قارچ‌های میکوریز به‌وسیله افزایش هدایت هیدرولیکی آب در خاک، افزایش نسبت تعرق و سرعت انتقال آب از ریشه به آوندهای چوبی، کاهش مقاومت روزنه‌ای به‌وسیله تغییر در تعادل هورمون‌های گیاه، روابط آبی گیاه را افزایش می‌دهند (Elvan, 2001). گزارش شده است که در شرایط تنش آبی خفیف هدایت روزنه‌ای، سرعت تعرق، سرعت انتقال آب از ریشه و پتانسیل آب برگ در گیاهان رزماری تلقیح شده با قارچ میکوریزا *Glomus deserticola* بالاتر بوده است که نشان‌دهنده سرعت نقل و انتقال بیشتر آب در گیاهان میکوریزایی است

(Sanchez-Blanco et al., 2004). باقری و همکاران (Bagheri et al., 2013) در آزمایشی تأثیر ماده سوپرجاذب در ترکیب با تلقیح بیولوژیکی مخلوط کودهای زیستی حاوی باکتری‌های *ازتوباکتر* و میکوریزا به‌صورت جداگانه و ترکیبی بر شاخص‌های رشد در عدس ایرانی را مورد بررسی قرار دادند. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد مجزای ماده سوپرجاذب و ترکیب دوگانه و سه گانه آن‌ها در شش سطح با کود زیستی باکتری‌های *ازتوباکتر* و قارچ‌های میکوریزا بود. نتایج آزمایش نشان داد که کاربرد ترکیب ماده سوپرجاذب با کود زیستی باکتری *ازتوباکتر* و میکوریزا بیشترین تأثیر بر شاخص‌های رشد داشت.

کاهش اثرات تنش خشکی توسط مایه‌زنی گیاهان زراعی با قارچ میکوریزا آربوسکولار در گیاهانی مانند پیاز (*Allium cepa*)، ذرت و گندم (*Triticum aestivum* L.) توسط برخی از محققان گزارش شده است (Aug, 2001; Al-Karaki et al., 204; Bolandnazar et al., 2007; Subramanian et al., 2008). بومسما و وین (Boomsma & Vyn, 2008) گزارش کردند که کاربرد قارچ میکوریزا آربوسکولار با استفاده از تغییر روابط آب گیاه و کاهش اثرات ناشی از تنش خشکی و همچنین افزایش زیست فراهمی عناصر غذایی در شرایط حاصلخیزی پایین خاک می‌تواند باعث افزایش عملکرد در ذرت گردد. همچنین مشخص شده است که تلقیح گیاهان ذرت با دو گونه میکوریزا (*Glomus intraradices* و *G. mosseae*) سبب افزایش پتانسیل آب سلول‌های برگ در مقایسه با گیاهان غیر میکوریزایی شده است (Amerian & Stewart, 2001). در سایر مطالعات، اثرات قابل توجه میکوریزا در تحمل به خشکی به نقش آن در افزایش جذب فسفر، تحریک سنتز سیتوکینین و افزایش راندمان فتوسنتز نسبت داده شده است (Maclean et al., 2017؛ Goicoechea et al., 1997). گیاهان میکوریزایی در پتانسیل آب کمتر در خاک قدرت جذب بیشتری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی دارند (Sanchez-Blanco et al., 2004). گوراو و همکاران (Gaurav et al., 2010) به ارزیابی صفات رشدی، عملکرد و کیفیت غده‌های تولیدی در ۳۴ رقم سیب‌زمینی تحت شرایط تنش با استفاده از سیستم آبیاری سورس‌لاین و در تلقیح با میکوریزا پرداختند. نتایج نشان داد که در ارقام مختلف در شرایط تنش و در تلقیح با قارچ میکوریزا سطح برگ در مقایسه با شاهد (تنش و عدم تلقیح) تفاوت معنی‌دار نشان داد. متوسط افزایش سطح برگ در شرایط تنش و تلقیح با میکوریزا نسبت به شاهد از ۲۰ تا ۳۶/۶ درصد متغیر بود. در تیمار تنش و عدم تلقیح بسته به رقم درصد بدشکلی افزایش معنی‌دار داشت. در مجموع، از نظر عملکرد کل و کیفیت غده‌های تولیدی در بین ارقام مورد بررسی دو رقم "Girraj" و "Swarna" وضعیتی بهتر از سایر ارقام در سازگاری با تلقیح با میکوریزا در تحت شرایط تنش داشتند.

الیزابت و همکاران (Elizabeth et al., 2000) به بررسی تأثیر گونه ای از قارچ آربوسکولار میکوریزا گونه *G. mosseae* بر گیاهچه‌های سیب‌زمینی در شرایط گلخانه پرداختند. نتایج نشان داد که در شرایط گلخانه در گیاهچه‌های مایه‌زنی شده با دو جدایه تجاری قارچ نسبت به تیمارهای شاهد اختلاف معنی‌داری در تعداد گره، ارتفاع گیاهی و وزن تر ریشه وساقه و نیز وزن خشک آن‌ها وجود داشت. اگر چه در میزان وزن کل مینی تیوبرهای حاصل تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشتند، امّا در گیاهچه‌های مایه‌زنی شده با جدایه مخلوط قارچ میکوریزا تعداد ریزغده بیشتری تولید شد.

نتایج تحقیقات مختلف در رابطه با اثر اندومیکوریزا بر عملکرد و راندمان تولید محصول در سیب‌زمینی بسته به نوع رقم و ایزوله انتخابی از قارچ متفاوت بوده است. گراهام و همکاران (Graham et al., 1996) دریافتند که تلقیح با سویه قارچ *Glomus Fasciculatum* عملکرد را افزایش داد، درحالی‌که گونه *G. mosseae* منجر به افزایش معنی‌داری در عملکرد نبود. پرویزی و همکاران (Parvizi et al., 2017) با بررسی اثر دو گونه قارچ میکوریز، *G. mosseae* و *G. etunicatum* در تلقیح گیاهچه‌های سیب‌زمینی در محیط کشت بافت و شرایط گلخانه نتیجه گرفتند که از بین دو گونه مورد مطالعه، گونه *G. etunicatum* قابلیت بیشتری در کلونیزه شدن و ایجاد رابطه همزیستی با گیاهچه‌های سیب‌زمینی داشته و در تیمارهای تلقیح‌شده با این گونه نسبت به گونه *G. mosseae*، تولید ریزغده به‌صورت معنی‌داری افزایش پیدا کرد. در هر دو رقم مورد مطالعه (سانته[1] و آگریا[2]) متوسط درصد افزایش تولید ریزغده نسبت به شاهد و تیمار تلقیح با *G. mosseae* به‌ترتیب ۵۸/۸ درصد و ۲۳/۶ درصد بود.

همان‌طوری‌که در مرور منابع نیز مورد اشاره قرار گرفت، تحقیقات محدودی در ارتباط با اثر مواد سوپرجاذب و میکوریزا و به‌ویژه در

1- Sante
2- Agria

شرایط کم‌آبیاری در سیب‌زمینی انجام شده است. مهم‌تر اینکه گزارشات بسیار کمی از اثر ترکیبی سوپرجاذب و میکوریزا در محصول سیب‌زمینی ارائه شده است. لذا در این آزمایش، اثرات کاربرد آن‌ها بر جذب عناصر غذایی و عملکرد سیب‌زمینی در شرایط کم‌آبیاری و همچنین کاربرد توأم آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت طرح استریپ- پلات فاکتوریل و با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی به‌مدت دو سال زراعی (۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷) در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان به اجرا درآمد. در این تحقیق، مقدار آب آبیاری در سه سطح (۱۰۰ ، ۷۵ و۵۰ درصد نیاز آبی بر اساس تبخیر و تعرق) در کرت‌های افقی و فاکتور استفاده از سوپر جاذب Trawat200A با دو سطح (۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار) و میکوریزا در دو سطح (تلقیح و عدم تلقیح با میکوریزا گونه *Glomus etunicatum*) در کرت‌های عمودی قرار گرفتند. در تیمارهای آبیاری، آبیاری از ابتدای فصل رشد بلافاصله بعد از کاشت و بر اساس محاسبه نیاز آبی از فرمول پنمن مانتیث اصلاح شده و با احتساب راندمان ۹۰ درصد انجام پذیرفت. لازم به ذکر اینکه برای محاسبه نیاز آبی مقدار تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر در ضریب‌های مربوطه از جمله ضریب تشتک (Kp) و ضریب گیاهی (Kc) در مراحل مختلف رشد گیاهی ضرب شده است. هر کدام از کرت‌ها به‌طول ۱۰ متر و عرض ۴/۵۰ متر بودند. در هر پلات آزمایش، شش خط کاشت وجود داشت و نوار تیپ در وسط هر دو خط کاشت غده‌ها به‌صورت پشته تلفیقی (۱۵۰×۵۰ سانتی‌متر) با تراکم کاشت ۵۶۰۰۰ غده در هکتار انجام گرفت. رقم مورد نظر جهت کشت رقم تجاری مرسوم در منطقه (آگریا) بود. ماده سوپر جاذب رطوبتی در هنگام کاشت غده‌ها در مجاور غده و در شیارهای کشت توزیع شد. در تیمارهای تلقیح با میکوریزا از زادمایه مورد نظر با جمعیت فعال قارچ به تعداد ۱۲۰ عدد در هر گرم (از مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شد) و به‌صورت بذرمال در هنگام کاشت غده‌ها با آن‌ها آغشته شد. جهت انجام بذرمالی قارچ میکوریزا، ابتدا با آب مقطر بر روی غده‌ها محلول‌پاشی انجام شده و سپس محیط کشت پیت ماس در مخلوط با زادمایه قارچ بر روی غده‌ها پاشیده شد، به‌طوری‌که سطح غده‌ها به لایه نازکی از مخلوط محیط کشت و قارچ آغشته گردید. لازم به ذکر اینکه در این تحقیق هیچ نوع ضدعفونی شیمیایی در هنگام کاشت غده‌های بذری مورد استفاده قرار نگرفت.

قبل از کاشت نمونه خاک از محل آزمایش تهیه و در هوا خشک شده و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن از جمله فسفر قابل جذب به‌روش اولسن (Olsen et al., 1954)، بافت خاک به‌روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986)، پتاسیم قابل جذب با عصاره‌گیری با استات آمونیوم یک نرمال (Knudsen et al., 1982) و واکنش و هدایت الکتریکی خاک در عصاره گل اشباع تعیین شد (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک قبل از کاشت در دو سال اجرای آزمایش

Table 1- Physicochemical properties of soil before planting (two years of experiment)

سال Year	بافت خاک Soil texture	شوری خاک EC ($dS.m^{-1}$)	pH	فسفر Available P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم Available K ($mg.kg^{-1}$)	درصد نیتروژن N (%)	درصد کربن آلی Organic C (%)
۱۳۹۷ 2018	لوم رسی Clay loam	1.6	7.8	4.2	356.4	0.38	0.50
۱۳۹۸ 2019	لوم رسی Clay loam	1.8	7.6	3.8	338.6	0.35	0.70

برای اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی در پایان مرحله سوم رشد سیب‌زمینی (پرشدن غده)، نمونه گیاهی از کامل‌ترین برگ‌های انتهایی تهیه و قسمتی از آن در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و سپس غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز در اندام هوایی تعیین گردید. بعد از برداشت از هر کرت نمونه تصادفی غده انتخاب و غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز، اندازه‌گیری شد. فسفر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Jones, 2001)، غلظت پتاسیم به‌وسیله شعله‌سنجی، آهن، روی و منگنز توسط دستگاه جذب اتمی (Ryan et al., 2001)، نیتروژن با استفاده از دستگاه کجلدال

(Waling et al., 1989) اندازه‌گیری شدند.

جهت تعیین شدت کلونیزاسیون قارچ میکوریزا از روش رنگ‌آمیزی ریشه ارائه شده توسط فیلیپس و هیمن (Phillips & Hayman, 1970) استفاده شد. درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها به‌صورت درصد آغشتگی میکوریزایی ریشه‌ها با روش تلاقی خطوط مشبک مشخص شده و بر اساس روش گونیگل و همکاران (Gonigle et al., 1990) محاسبه شد.

رکورگیری در مرحله برداشت به‌صورت انتخاب واحدهای یک مترمربعی و به‌صورت تصادفی در دو نقطه از هر رقم و تیمار مربوطه انجام شد. در محصول برداشتی، غده‌ها بر اساس اندازه آن‌ها در گروه‌هایی با اندازه کوچک‌تر از ۳۵، ۵۵-۳۵ و بزرگ‌تر از ۵۵ میلی‌متر تقسیم‌بندی شده و توزین و شمارش شدند. میزان غده‌های با آلودگی اسکب، دفرمه و بدشکل و دارای رشد ثانویه و نیز غده‌های پوسیده شمارش و در تیمارهای مختلف توزین و درصد هریک تعیین گردید. کارآیی مصرف آب به‌صورت مقدار ماده خشک تولید شده به‌ازای مصرف هر مترمکعب آب در تیمارهای مختلف با استفاده از معادله زیر تعیین گردید.

WUE= TY / TWU معادله (۱)

که در آن، WUE: کارآیی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب آب)، TY: عملکرد غده (کیلوگرم در هکتار)، و TWU: کل آب مصرف شده توسط سیب‌زمینی (مترمکعب در هکتار) می‌باشند.

برای تعیین درصد ماده خشک غده، برش‌های نازک از چهار غده متوسط (۸۰-۴۰ میلی‌متر) از هر رقم تهیه شده و به‌صورت جداگانه در داخل آون به‌مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده و از طریق معادله ۵ محاسبه شد (Jones, 2001).

معادله (۲)

۱۰۰× (وزن غده اولیه/وزن غده پس از خشک شدن) = درصد ماده خشک

در نهایت، تجزیه مرکب داده‌ها با ادغام داده‌های حاصل از دو سال مختلف پس از انجام آزمون بارتلت و تأیید یکنواختی واریانس سال‌های مختلف، با نرم‌افزار SAS انجام شد. مقایسه میانگین تیمارهای مختلف با استفاده از آزمون مقایسه چند دامنه‌ای دانکن صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

عناصر غذایی در برگ و غده سیب‌زمینی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر سطوح آبیاری در میزان فسفر غده سیب‌زمینی معنی‌دار نشد. امّا اثر آبیاری در میزان نیتروژن و پتاسیم برگ و غده و نیز مقدار عناصر آهن، روی و منگنز در برگ و همچنین در غده معنی‌دار گردید ($p≤0.01$). اثر اصلی استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب و نیز اثر متقابل سطوح آبیاری و میکوریزا و سوپرجاذب بر تمامی عناصر پرمصرف و کم مصرف در برگ و غده در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول‌های ۲ و ۳). ضمناً همان‌طور که می‌دانیم، اثر سال در همه تحقیقات به‌عنوان اثر تصادفی در نظر گرفته می‌شود که تغییرات آن در کنترل محقق نیست و به‌منظور افزایش دقت آزمایش، برای تمامی منابع تغییرات از یک خطای کل (خطای بزرگ‌تر) به‌جای خطاهای متفاوت جهت تجزیه و تحلیل استفاده گردیده است.

مقایسه میانگین تیمارها حاکی از اثر قابل توجه میکوریزادر جذب فسفر در مقایسه با تیمارهای سوپرجاذب و شاهد در هر سه سطح آبیاری بود. این اثرات مثبت میکوریزادر جذب فسفر و افزایش میزان آن در غده با شدت کم‌آبیاری رابطه مستقیم داشت و در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی این مقدار افزایش بیشتری داشت. جذب نیتروژن تحت تأثیر تیمار آبیاری قرار نگرفت، امّا کاربرد میکوریزا و سوپرجاذب سبب افزایش قابل توجه نیتروژن برگ و غده گردید و در هر سه سطح آبیاری میزان جذب نیتروژن در تیمارهای میکوریزی و سوپرجاذب نسبت به عدم کاربرد آن‌ها افزایش قابل توجه داشت، اگرچه میزان جذب و تجمع نیتروژن با ترکیب سوپرجاذب و میکوریزا افزایش یافت (جدول‌های ۴، ۵، ۶ و ۷).

جذب پتاسیم به‌طور معنی‌داری ($p≤0.01$) تحت تأثیر رژیم آبیاری و همچنین کاربرد میکوریزا و سوپرجاذب قرار گرفت. در شاهد و آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی میزان جذب پتاسیم نسبت به دو سطح دیگر (۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی) افزایش معنی‌دار داشت. سوپرجاذب و میکوریزاهر دو قادر به افزایش میزان جذب پتاسیم و نیز میزان ذخیره آن در غده سیب‌زمینی شدند (جدول‌های ۳ و ۴).

در تیمار آبیاری ۱۰۰ نیاز آبی با کاربرد توأم سوپرجاذب و میکوریزا و نیز مصرف جداگانه میکوریز، بیشترین میزان آهن در برگ و غده سیب‌زمینی تجمع پیدا کرد که با مقدار آن در برگ و در سطح ۷۵ درصد نیاز آبی و با همین دو سطح میکوریزا و سوپرجاذب معنی‌دار نشد، امّا مقدار آن در غده سیب‌زمینی در مقایسه با سایر تیمارها

تفاوت معنی‌دار نشان داد. در سطوح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب و نیز تلفیق آن‌ها منجر به افزایش معنی‌دار در جذب آهن شد. ضمن اینکه این اثرات در تیمار آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی بیشتر قابل توجه بود. جذب منگنز و روی تحت تأثیر تیمار آبیاری و سوپرجاذب و میکوریزا قرار گرفت. در تیمارهای کم‌آبیاری بدون استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب، میزان جذب این دو عنصر به‌صورت معنی‌داری کاهش پیدا کرد. امّا سوپرجاذب و میکوریزا و تلفیق آن‌ها به طریقی مطلوب‌تر قادر به افزایش جذب روی و منگنز شدند. این افزایش جذب با کاهش میزان آب آبیاری متناسب بود، به‌طوری‌که میزان جذب آن‌ها در سطح آبیاری ۵۰ درصد و تیمارهای میکوریزی و سوپرجاذب نسبت به شاهد در مقایسه با تیمارهای مشابه در آبیاری ۷۵ و ۱۰۰ درصد افزایش قابل ملاحظه داشت. این وضعیت در میزان روی و منگنز در غده نیز برقرار بود و غده‌های تولیدی از تیمارهای میکوریزا و سوپرجاذب به‌صورت معنی‌دار از میزان بالاتری در هر سه تیمار آبیاری برخوردار شدند. ضمن اینکه میزان آن‌ها در غده‌های حاصل از تیمار ترکیبی سوپرجاذب و میکوریزادر مقایسه با تیمارهای جداگانه آن‌ها بیشتر بود (جدول‌های ۴، ۵، ۶ و ۷).

به‌طور کلی، پذیرفته شده است که از اثرات همزیستی قارچ میکوریزا، افزایش جذب فسفر در اولویت اول می‌باشد و در این خصوص، تمامی پژوهشگران اتفاق نظر دارند. میکوریزا این عمل را به شیوه‌های مختلف از طریق توسعه سطح جذب با گسترش بیشتر ریسه‌های قارچ، انتشار رطوبت بیشتر در خاک، افزایش هدایت هیدرولیکی و کمک به انتقال توده‌ای فسفر و انحلال بیشتر فسفر از منابع غیر محلول از طریق ترشح آنزیم فسفاتاز انجام می‌دهد (Carlile et al., 2001). افزایش جذب فسفر در تیمارهایی که سوپرجاذب نیز استفاده شده بود، بیشتر مشهود بود و این موضوع با میزان توسعه ریشه و متعاقب آن زیست‌توده ساقه و ریشه (داده‌های دیگر حاصل از پژوهش) در آن‌ها وابستگی کامل داشت. در این پژوهش، تفاوت قابل توجهی در میزان جذب فسفر و سایر عناصر غذایی کم مصرف و پرمصرف در سطوح آبیاری نرمال و اعمال کم‌آبیاری در گیاهان میکوریزایی وجود داشت، به‌طوری‌که میزان جذب آن متناسب با شدت کم‌آبیاری و در شرایط تلقیح با میکوریزا افزایش پیدا کرد. به نظر می‌رسد، با اعمال کم‌آبیاری و متناسب با شدت آن قابلیت و کارآیی میکوریزا در جذب عناصر غذایی و به‌ویژه فسفر به دو طریق؛ ۱- افزایش میزان دسترسی به حجم بیشتری از خاک و ۲- تغییر در محیط ریشه با آزادسازی اسید فسفاتاز و هیدرولیز کردن فسفات آلی افزایش می‌یابد (Maclean et al., 2017).

قارچ‌های میکوریزا با افزایش محتوای آب نسبی[1] می‌توانند موجب بهبود جذب فسفر از خاک شده و در نهایت، نقش مؤثری در افزایش رشد گیاه داشته باشند (Krishna et al., 2005). به نظر می‌رسد، افزایش ارتفاع گیاهان و نیز وزن تر و خشک ساقه و همچنین شاخص سطح برگ (داده‌های دیگر حاصل از این پژوهش) در نتیجه تلقیح با میکوریزا و به‌ویژه در شرایط تنش آبی، ناشی از افزایش جذب فسفر و همچنین تأثیر آن بر روابط آبی گیاه باشد. از دیگر نتایج حاصل از افزایش جذب فسفر توسط قارچ میکوریزا در این پژوهش و به‌ویژه در شرایط کم‌آبیاری شدید که به‌خوبی در تحریک رشد نیز نمود پیدا کرد، اثر این قارچ بر سنتز هورمون‌های محرک رشد گیاهی و به‌ویژه اسید ایندول استیک می‌باشد. هر چند در سیب‌زمینی تا کنون در این زمینه گزارشی ارائه نشده است، امّا گزارش‌هایی متنوعی از افزایش مقدار اسید ایندول استیک، جیبرلین و سیتوکینین در سایر گیاهان همزیست با میکوریزا ارائه شده است. افزایش جذب فسفر، نیتروژن، پتاسیم و همچنین سه عنصر مهم و مؤثر در فتوسنتز شامل آهن، روی و منگنز در نتیجه تلقیح سیب‌زمینی با قارچ میکوریزا در این آزمایش با افزایش در ارتفاع و وزن تر و خشک ساقه و ریشه و همچنین شاخص سطح برگ (داده‌های دیگر حاصل از تحقیق) متناسب بود و از این نظر با نتایج تحقیقات مربوطه در سیب‌زمینی (Elizabeth et al., 2000)، در گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum*) (Subramanian et al., 2008)، در فلفل (*Capsicum annuum*) (Demir, 2004) و نیز در گندواش (*Artemisia annua*) (Rapparini et al., 2008) مطابقت دارد.

عناصر غذایی ریزمغذی همواره با مشکلات بیشتری در جذب توسط گیاهان زراعی و به‌ویژه در سیب‌زمینی مواجه هستند. این محدودیت‌ها به‌خصوص با اثرات آنتاگونیستی فسفر بالا در ممانعت از جذب روی و یا مقدار منگنز بیشتر در رقابت با جذب روی دو چندان نیز می‌شود (Davies, 2005). میکوریزا با اثر رقیق‌سازی و تحریک رشد ضمن کاهش جذب هر کدام از عناصر در شرایط سمیت و افزایش جذب در شرایط کمبود عنصر، اثرات آنتاگونیستی را تا حدودی تعدیل می‌کند. تحریک جذب عناصر ریزمغذی توسط قارچ‌های میکوریزا به ترشح ترکیبات کلاته‌کننده و اسیدهای آلی مربوط می‌باشد (Giovannetti, 2000).

1- Relative water content

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) اثر کم‌آبیاری، تلقیح میکوریزایی و کاربرد سوپرجاب بر محتوای برخی از عناصر غذایی در غده سیب‌زمینی

Table 2- Combined analysis of variance (mean of squaress) the effect of deficit irrigation, mycorrhizal inoculation and application of superabsorbent on the content of some nutrient elements in potato tubers

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares					
		نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	آهن Fe (mg.kg^{-1}dw)	روی Zn (mg.kg^{-1}dw)	منگنز Zn (mg.kg^{-1}dw)
سال Year (Y)	1	0.007 ns	0.00001 ns	0.0004 ns	0.88 ns	4.01 ns	8.68 ns
تکرار × سال Year × Replication (R)	4	0.006 ns	0.002 ns	0.0023 ns	16.72 ns	8.22 ns	4.18 ns
تیمار آبیاری Irrigation treatments (I)	2	0.12 **	0.002 ns	0.12 **	1674.01 **	368.51 **	729.55 **
سال × تیمار آبیاری Y × I	2	0.005 ns	0.0001 ns	0.003ns	3.01 ns	2.34 ns	0.05 ns
سال × تیمار آبیاری × تکرار Y × I × R							
سوپرجاذب و میکوریزا Superabsorbent and Mycorrhiza (SM)	3	0.107 **	0.07 **	0.19 **	265.70 **	227.68 **	156.34 **
سال × سوپرجاذب و میکوریزا Y × SM	3	0.008 ns	0.005 ns	0.003 ns	2.22 ns	5.68 ns	1.05 ns
تیمار آبیاری × سوپرجاذب و میکوریزا I × SM	6	0.044 **	0.018 **	0.02 **	148.60 **	30.40 **	108.05 **
سال× تیمار آبیاری × سوپرجاذب و میکوریزا Y × I× SM	6	0.006 ns	0.0004 ns	0.001 ns	2.45 ns	4.01 ns	2.37 ns
خطا Error	42	0.002	0.001	0.005	8.64	7.43	11.18
کل Total	71						
ضریب تغییرات CV		2.52	6.33	3.08	15.6	6.52	25.7

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) اثر کم‌آبیاری، تلقیح میکوریزایی و کاربرد سوپرجاب بر محتوای برخی از عناصر غذایی در برگ و ساقه سیب‌زمینی

Table 3- Combined analysis of variance (mean of squaress) the effect of deficit irrigation, mycorrhizal inoculation and application of superabsorbent on the content of some nutrient elements in shoot and leaf of potato

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	فسفر P (%)	آهن Fe ($mg.kg^{-1}dw$)	روی Zn ($mg.kg^{-1}dw$)	منگنز Zn ($mg.kg^{-1}dw$)
سال Year (Y)	1	0.064 ^{ns}	33.34 ^{ns}	8.68 ^{ns}	2.24 ^{ns}
تکرار × سال Year × Replication	4	0.008 ^{ns}	31.81 ^{ns}	48.80 ^{ns}	67.24 ^{ns}
تیمار آبیاری Irrigation treatments (I)	2	0.41 **	8952.12**	4804.68 **	16112.26 **
سال × تیمار آبیاری Y× I	2	0.019 ^{ns}	17.68 ^{ns}	1.01 ^{ns}	12.59 ^{ns}
سوپرجاذب و میکوریزا Superabsorbent and Mycorrhiza (SM)	3	2.63 **	3680.08 **	1886.90 **	741.42 **
سال × سوپرجاذب و میکوریزا Y× SM	3	0.025 ^{ns}	7.56 ^{ns}	25.93 ^{ns}	8.05 ^{ns}
تیمار آبیاری × سوپرجاذب و میکوریزا I× SM	6	0.58 **	770.36 **	516.90 **	53.11 *
سال× تیمار آبیاری × سوپرجاذب و میکوریزا Y× I× SM	6	0.020 ^{ns}	5.62 ^{ns}	1.68 ^{ns}	8.69 ^{ns}
خطا Error	42	0.020	25.92	47.13	20.59
کل Total	71				
ضریب تغییرات CV		14.25	2.24	4.78	3.49

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات اصلی کم‌آبیاری، تلقیح میکوریزایی و کاربرد سوپرجاب بر محتوای برخی از عناصر غذایی در برگ و ساقه سیب‌زمینی

Table 4- Mean comparison of the main effects of deficit irrigation, mycorrhizal inoculation and application of superabsorbent on the content of some nutrient elements in shoot and leaf of potato

تیمارها Treatments	فسفر P (%)	آهن Fe ($mg.kg^{-1}dw$)	روی Zn ($mg.kg^{-1}dw$)	منگنز Zn ($mg.kg^{-1}dw$)
۱۰۰٪ نیاز آبی 100% water requirement	0.92 b	240.75 a	156.87 a	153.50 a
۷۵٪ نیاز آبی 75% water requirement	0.94 b	234.87 b	144.25 b	134.25 b
۵۰٪ نیاز آبی 50% water requirement	1.15 a	204.75 c	128.91 c	102.20 c
شاهد (عدم مصرف سوپرجاذب و میکوریز) Control (no use of superabsorbent and mycorrhiza)	0.61 d	210.88 d	132.22 d	122.00 d
استفاده از سوپرجاذب Use of superabsorbent	0.74 c	218.72 c	137.50 c	128.00 c
استفاده از میکوریزا Use of mycorrhiza	1.26 b	236.77 b	149.33 b	133.22 b
کاربرد توأم میکوریزا و سوپرجاذب Both superabsorbent and mycorrhiza	1.40 a	240.77 a	154.33 a	136.72 a

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون از اثرات اصلی مربوطه اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد آزمون دانکن نداشته‌اند.

* In each column and for each main effect, the means followed by the similar letters do not have a significant difference ($p \leq 0.05$)

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل کم‌آبیاری، تلقیح میکوریزایی و کاربرد سوپرجاب بر محتوای برخی از عناصر غذایی در برگ و ساقه سیب‌زمینی

Table 5- Mean comparison of the interaction effects of deficit irrigation, mycorrhizal inoculation and application of superabsorbent on the content of some nutrient elements in shoot and leaf of potato

تیمارها		فسفر P (%)	آهن Fe ($mg.kg^{-1}dw$)	روی Zn ($mg.kg^{-1}dw$)	منگنز Zn ($mg.kg^{-1}dw$)
۱۰۰٪ نیاز آبی 100% water requirement	شاهد (عدم مصرف سوپرجاذب و میکوریزا) Control (no use of superabsorbent and mycorrhiza)	0.86 ^{de*}	234.66 ^{bc}	157.83 ^{b}	149.16 ^{b}
	استفاده از سوپرجاذب Use of superabsorbent	0.80 ^{e}	237.66 ^{b}	141.66 ^{c}	152.16 ^{b}
	استفاده از میکوریزا Use of mycorrhiza	1.02 ^{cd}	247.00 ^{a}	157.00 ^{b}	153.00 ^{b}
	کاربرد توأم میکوریزا و سوپرجاذب Both superabsorbent and mycorrhiza	0.99 ^{cd}	243.66 ^{a}	171.00 ^{a}	159.66 ^{a}
۷۵٪ نیاز آبی 75% water requirement	شاهد (عدم مصرف سوپرجاذب و میکوریزا) Control (no use of superabsorbent and mycorrhiza)	0.57 ^{fg}	220.00 ^{d}	133.00 ^{de}	126.00 ^{e}
	استفاده از سوپرجاذب Use of superabsorbent	0.72 ^{ef}	231.33 ^{c}	142.50 ^{c}	132.33 ^{d}
	استفاده از میکوریزا Use of mycorrhiza	1.07 ^{c}	243.66 ^{a}	151.00 ^{b}	137.66 ^{cd}
	کاربرد توأم میکوریزا و سوپرجاذب Both superabsorbent and mycorrhiza	1.39 ^{b}	244.50 ^{a}	150.50 ^{b}	141.00 ^{c}
۵۰٪ نیاز آبی 50% water requirement	شاهد (عدم مصرف سوپرجاذب و میکوریزا) Control (no use of superabsorbent and mycorrhiza)	0.41 ^{g}	178.00 ^{f}	105.83 ^{f}	90.83 ^{h}
	استفاده از سوپرجاذب Use of superabsorbent	0.71 ^{ef}	187.16 ^{e}	128.33 ^{e}	99.50 ^{g}
	استفاده از میکوریزا Use of mycorrhiza	1.70 ^{a}	219.66 ^{d}	140.00 ^{cd}	109.00 ^{f}
	کاربرد توأم میکوریزا و سوپرجاذب Both superabsorbent and mycorrhiza	1.81 ^{a}	134.16 ^{bc}	141.50 ^{c}	109.50 ^{f}

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد آزمون دانکن نداشته‌اند.

* In each column the means followed by the similar letters do not have a significant difference ($p \leq 0.05$)

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات اصلی کم‌آبیاری، تلقیح میکوریزایی و کاربرد سوپرجاب بر محتوای برخی از عناصر غذایی در غده سیب‌زمینی

Table 6- Mean comparison of the main effects of deficit irrigation, mycorrhizal inoculation and application of superabsorbent on the content of some nutrient elements in potato tubers

تیمارها Treatments	نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	آهن Fe ($mg.kg^{-1}dw$)	روی Zn ($mg.kg^{-1}dw$)	منگنز Zn ($mg.kg^{-1}dw$)
۱۰۰٪ نیاز آبی 100% water requirement	1.81 a*	0.51 a	2.50 a	54.95 a	45.41 a	52.29 a
۷۵٪ نیاز آبی 75% water requirement	1.82 a	0.50 a	2.47 a	49.62 b	42.25 b	4.12 b
۵۰٪ نیاز آبی 50% water requirement	1.71 b	0.49 a	2.36 b	38.58 c	37.62 c	1.79 c
شاهد (عدم مصرف سوپرجاذب و میکوریزا) Control (no use of superabsorbent and mycorrhiza)	1.70 c	0.43 c	2.29 b	42.44 c	37.05 c	41.66 b
استفاده از سوپرجاذب Use of superabsorbent	1.76 b	0.47 b	2.47 a	47.55 b	41.00 b	47.66 a
استفاده از میکوریزا Use of mycorrhiza	1.86 a	0.65 a	2.51 a	49.55 a	44.83 a	47.77 a
کاربرد توأم میکوریزا و سوپرجاذب Both superabsorbent and mycorrhiza	1.85 a	0.55 a	2.50 a	51.33 a	44.16 a	47.16 a

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون از اثرات اصلی مربوطه اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد آزمون دانکن نداشته‌اند.

* In each column and for each main effect, the means followed by the similar letters do not have a significant difference ($p \leq 0.05$)

در این پژوهش، با افزایش درصد میکوریزایی‌شدن، سطح جذب هر سه عنصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز نیز بالا رفت. در این پژوهش مشخص شد که کاربرد سوپرجاذب در سیب‌زمینی به افزایش جذب عناصر غذایی کمک می‌کند. دلیل این امر می‌تواند افزایش ظرفیت نگهداری آب و عناصر غذایی برای مدت طولانی در خاک، کاهش شست و شوی مواد غذایی، رشد سریع و مطلوب ریشه با ذخیره مواد غذایی و هوادهی بهتر خاک باشد. به نظر می رسد که ترکیبات محلول در آب با وزن مولکولی کم، نظیر عناصر غذایی می توانند جذب این ماده شوند و با آزاد شدن تدریجی، توسط ریشه گیاه جذب شوند.

درصد کلونیزاسیون ریشه، اندازه غده تولیدی، درصد ماده خشک غده، عملکرد کل و کارآیی مصرف آب

درصد کلونیزه شدن قارچ تحت تأثیر تیمارهای آبیاری قرار گرفت، به‌طوری‌که میزان کلونیزاسیون قارچ میکوریزابا تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی در بالاترین میزان بود (با متوسط ۴۲/۱۲ درصد) که نسبت به کلونیزه شدن آن در دو تیمار دیگر آبیاری تفاوت معنی‌دار داشت. شدت کلونیزاسیون قارچ در کم‌آبیاری ملایم با متوسط ۳۸/۸۷ درصد نسبت به آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی با متوسط ۳۰/۰۴ درصد به‌طور معنی‌داری بیشتر بود و از این حیث در موقعیت دوم قرار گرفت. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات سطوح آبیاری، میکوریزا و سوپرجاذب و نیز اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد بر تعداد غده در اندازه‌های مختلف (بذری، خوراکی و ریز)، درصد ماده خشک غده و کارآیی مصرف آب معنی‌دار بود. تیمار آبیاری تأثیر بسیار زیادی بر میزان ماده خشک غده و نیز بر عملکرد کل داشت. استفاده از سوپرجاذب و میکوریزا عملکرد را در سطح یک درصد تحت تأثیر قرار داد، امّا تفاوت معنی‌داری در اثر متقابل تیمار آبیاری و میکوریزا و سوپرجاذب بر عملکرد کل، در سطح پنج درصد مشاهده نشد (جدول‌های ۸ و ۹).

با نتایج این پژوهش در وضعیت کلونیزاسیون قارچ میکوریزا با ریشه سیب‌زمینی مشخص شد که در حالت کلی، اگرچه گونه مورد استفاده از میکوریزا *Glomus etunicatum* با ترکیب جمعیت فعال قارچ ذکر شده، قابلیت بالایی در جهت کلونیزاسیون باگیاهچه‌های سیب‌زمینی دارد، امّا میزان و شدت کلونیزاسیون این قارچ متناسب با کاهش آب آبیاری افزایش پیدا کرده است. بدین مفهوم که اصولاً قارچ همزیست در شرایط کم‌آبیاری در مقایسه با آبیاری نرمال از توان بالاتری در استقرار و کلونیزه‌شدن بر روی ریشه سیب‌زمینی برخوردار می‌باشد. قابلیت بالای این قارچ در جهت کلونیزه شدن با سیب‌زمینی قبلاً با پژوهش‌های الیزابت و همکاران (Elizabeth et al., 2000) و پرویزی و همکاران (Parvizi et al., 2017) نیز به اثبات رسیده است.

متوسط تعدا غده بذری در تیمار آبیاری ۱۰۰ و با کاربرد توأم میکوریزا و سوپرجاذب ۳۷ عدد در مترمربع بود که با دو سطح دیگر از این تیمار آبیاری و نیز سایر سطوح آبیاری و ترکیب میکوریزا و سوپرجاذب مربوطه تفاوت معنی‌دار نشان داد. کمترین غده در اندازه بذری در تیمار آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و عدم کاربرد سوپرجاذب و میکوریزاتولید شد که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد داشت. در هر سه تیمار آبیاری استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب سبب افزایش تعداد غده بذری شد. این اثرات در کاربرد تلفیقی آن‌ها بیشتر بود. لازم به ذکر است که اثر میکوریزا و سوپرجاذب و همچنین تلفیق آن‌ها بر تولید غده در اندازه بذری در تیمار آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی در مقایسه با دو سطح دیگر آبیاری چشمگیرتر بود (جدول‌های ۹ ، ۱۰ و ۱۱).

تعداد غده درشت در سطوح مختلف آبیاری و با کاربرد جداگانه و تلفیقی میکوریزا و سوپرجاذب نسبت به تیمار عدم کاربرد آن‌ها افزایش یافت. امّا این افزایش در تیمار آبیاری با تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی بیشتر بود. تعداد غده ریز با استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب و نیز تلفیق آن‌ها در دو سطح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی به‌طور معنی-داری کاهش یافت. شایان ذکر است که این اثر مثبت در استفاده ترکیبی آن‌ها بارزتر بود. امّا در تیمار آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی، استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب اثر معنی‌داری بر کاهش غده ریز نداشت (جدول‌های ۱۰ و ۱۱).

با تیمار آبیاری ۱۰۰ نیاز آبی و استفاده تلفیقی از سوپرجاذب و میکوریزابیشترین عملکرد کل غده حاصل گردید که با متوسط ۴۸/۸۸ تن در هکتار تفاوت معنی‌دار با سه تیمار دیگر از این سطح آبیاری و نیز سایر تیمارها داشت. در مجموع، استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب و همچنین کاربرد توأم آن‌ها سبب افزایش عملکرد نسبت به شاهد در هر سه سطح آبیاری شد. امّا صرفاً در تیمار ترکیبی میکوریزا و

سوپرجاذب در مقایسه با شاهد تفاوت معنی‌دار ایجاد شد. استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب در دو سطح آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی اثر معنی‌داری بر میزان ماده خشک غده ایجاد نکرد و در هر دو سطح آبیاری تیمارهای شاهد و میکوریزا و سوپرجاذب و نیز تلفیق آن‌ها، درصد ماده خشک غده بسیار به هم نزدیک بود. امّا در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی (اعمال کم‌آبیاری شدید) افزایش قابل توجه و معنی‌داری در درصد ماده خشک غده بین شاهد و تیمارهای میکوریزایی و نیز سوپرجاذب ایجاد شد. در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و در تیمارهای میکوریز، سوپرجاذب و نیز تلفیق آن‌ها ماده خشک غده به‌ترتیب ۲۰/۰۷، ۲۰/۵۲ و ۲۰/۳۹ درصد بود که در مقایسه با شاهد در همین سطح آبی (با متوسط ۱۸/۷۲ درصد ماده خشک غده) تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد نشان داد (جدول‌های ۸، ۹ و ۱۰).

استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب و به‌ویژه تلفیق آن‌ها موجب شد که کارآیی مصرف آب نسبت به شاهد به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یابد. این افزایش با سطوح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی چشمگیرتر بود. در مجموع، بیشترین کارآیی مصرف آب به‌میزان ۱۸/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب و در سطح آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و در استفاده توأم از میکوریزا و سوپرجاذب ایجاد شد که نسبت به سه تیمار دیگر در این سطح آبیاری و سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد نشان داد. کمترین کارآیی مصرف آب (با متوسط ۱۱/۰۲ کیلوگرم بر مترمکعب آب) با تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و بدون استفاده از میکوریزا و سوپرجاذب حاصل شد که صرفاً با کاربرد سوپرجاذب در این سطح آبیاری تفاوت معنی‌دار نشان نداد، امّا با سایر تیمارها تفاوت‌ها معنی‌دار شد (جدول‌های ۸، ۹ و ۱۰).

افزایش تعداد کل غده و همچنین عملکرد کل در این آزمایش هماهنگی کامل با میزان جذب عناصر غذایی و به‌ویژه فسفر داشت. به‌گونه‌ای که متناسب با میزان جذب فسفر و به‌ویژه در تیمار مخلوط سوپرجاذب و میکوریزاتعداد غده‌ها و به‌خصوص غده‌های تولیدی با اندزه بذری نیز به‌صورتی معنی‌دار افزایش پیدا کرد. تأثیرات مثبت میکوریزادر افزایش جذب فسفر و در نتیجه، تولید تعداد غده بیشتر و در نتیجه، عملکرد کل در سیب‌زمینی در این تحقیق با گزارش میوتتوا و همکاران (Mutetwa et al., 2010) هماهنگی دارد. در این پژوهش، سوپرجاذب با تأثیر بر صفات مرتبط با ساقه سیب‌زمینی، افزایش شاخص سطح برگ و سرعت رشد و ایجاد پوشش کامل (سایر داده‌های حاصل از پژوهش) در مرحله استولون‌زایی، بر تعداد غده و نهایتاً، عملکرد کل اثرگذار بود. با نتایج این پژوهش مشخص شد که در هر دو شرایط آبیاری با تأمین ۱۰۰ نیاز آبی و همچنین کم‌آبیاری شدید استفاده توأم از میکوریزا و سوپر جاذب سبب افزایش تعداد غده و همچنین عملکرد کل نسبت به کاربرد جداگانه سوپرجاذب و میکوریزا و نیز شاهد شد. به نظر می‌رسد که استفاده از سوپرجاذب در شرایط کم‌آبیاری به استقرار میکوریزا کمک کرده و کارآیی آن را به‌ویژه در شرایط کم آبی افزایش داده است. یا ممکن است در شرایط تأمین ۱۰۰ نیاز آبی، سوپرجاذب با جذب و تثبیت مواد غذایی بیشتر به اندوخته عناصر غذایی در ریزوسفر[1] کمک کرده و با فراهم نمودن عناصر غذایی بیشتر سبب افزایش ظرفیت جذب در ریسه‌های قارچ میکوریزا بشود. در همین زمینه، گزارش شده است که استفاده از سوپر جاذب سبب تشدید فعالیت قارچ‌های میکوریزامی‌گردد (Hadi & Kalantar, 2017).

ثابت شده است که مقدار ماده خشک غده در سیب‌زمینی با فسفر برگ و میزان فسفر خاک همبستگی مثبت دارد (Ekelof, 2007). با توجه به اینکه فسفر عنصری ضروری برای متابولیسم‌های گیاهی به خصوص در متابولیسم کربوهیدرات است، تأمین فسفر مورد نیاز گیاه و تقویت انجام متابولیسم‌های لازم باعث افزایش ذخیره کربوهیدرات غده می‌شود. چون در غده سیب‌زمینی بیشترین میزان کربوهیدرات ذخیره نشاسته می‌باشد، این امر باعث افزایش ماده خشک گیاه و در نتیجه، ماده خشک غده‌ها می‌شود. همچنین با تجزیه برگی مشخص شد که در گیاهان تلقیح شده سطح جذب عناصر ریزمغذی آهن، روی و منگنز افزایش معنی‌دار داشته است. نقش این عناصر در تحریک سنتز کلروفیل، افزایش ظرفیت فتوسنتز و در نتیجه، کمک به تجمع زیست‌توده گیاهی کاملاً مشخص شده است. بر این اساس، می‌توان بخشی از دلایل افزایش ماده خشک غده به‌ویژه در تیمارهای تنش که با درصد بالاتری از استقرار و کلونیزاسیون قارچ میکوریزا همراه بودند را به اثرات مثبت ناشی از تأثیر میکوریزا بر جذب این عناصر و در نتیجه، افزایش ظرفیت فتوسنتز، سرعت آسیمیلاسیون و در نهایت، تجمع مواد ذخیره‌ای کربوهیدرات در غده‌ها نسبت داد. اثرات مثبت تلقیح با قارچ میکوریزا در تجمع ماده خشک غده در این آزمایش با نتایج گزارش‌های داوید و همکاران (David et al., 2007) و همچنین ریان و همکاران (Ryan et al., 2003) هم‌خوانی کامل

1- Rhizosphere

دارد.

جدول ۸- تجزیه واریانس مرکب درصد کلونیزاسیون ریشه، عملکرد، اندازه غده تولیدی، وزن خشک غده و کارآیی مصرف آب

Table 8- Combined analysis of variance on root colonization percentage, yield, tuber size, tuber dry weight and water use efficiency

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares						
		درصد کلونیزاسیون Colonization percentage	تعداد غده بذری No. of seed tuber	تعداد غده خوراکی No. of edible tuber	تعداد غده ریز No. of small tuber	عملکرد کل Total yield ($ton.ha^{-1}$)	درصد ماده خشک غده Tuber dry matter (%)	کارآیی مصرف آب Water use efficiency ($kg.m^{-3}$)
سال Year (Y)	1	42.13 ^{ns}	22.0 ^{ns}	12.4 ^{ns}	34.0 ^{ns}	009.0 ^{ns}	001.0 ^{ns}	09.0 *
تکرار × سال Y × Replication (R)	4	72.2 ^{ns}	95.4 ^{ns}	30.3 ^{ns}	36.0 ^{ns}	13.28 ^{ns}	55.0 ^{ns}	05.0 ^{ns}
تیمار آبیاری Irrigation treatments (I)	2	72.887 **	79.195 **	18.74 **	26.70 **	95.647 **	28.2 **	91.169 **
سال × تیمار آبیاری Y × I	2	05.17 ^{ns}	26.0 ^{ns}	51.0 ^{ns}	34.6 ^{ns}	01.14 ^{ns}	05.0 ^{ns}	06.0 ^{ns}
سوپرجاذب و میکوریزا Superabsorbent and mycorrhiza (SM)	3	01.30556 **	75.70 **	61.38 **	16.48 **	91.54 *	23.2 **	76.8 **
سال × سوپرجاذب و میکوریزا Y × SM	3	53.4 ^{ns}	59.1 ^{ns}	38.0 ^{ns}	86.0 ^{ns}	33.9 ^{ns}	08.0 ^{ns}	04.0 ^{ns}
تیمار آبیاری × سوپرجاذب و میکوریزا I × SM	6	27.299 **	32.20 **	12.4 *	02.24 **	13.16 ^{ns}	16.1 **	05.2 **
سال× تیمار آبیاری × سوپرجاذب و میکوریزا Y × I × SM	6	01.8 ^{ns}	24.1 ^{ns}	34.0 ^{ns}	81.0 ^{ns}	83.11 ^{ns}	11.0 ^{ns}	01.0 ^{ns}
خطا Error	42	14.6	01.2	41.1	04.1	99.16	33.0	021.0
کل Total	71							
ضریب تغییرات CV		3.88	4.35	11.28	16.41	10.36	2.85	1.08

جدول ۹- مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمار آبیاری و استفاده از سوپرجاذب و میکوریزا بر درصد کلونیزاسیون ریشه، عملکرد، اندازه غده، درصد ماده خشک و کارآیی مصرف آب

Table 9- Comparison of the mean of the main effects of irrigation treatment and the use of superabsorbent and mycorrhiza on root colonization percentage, yield, tuber size, dry matter percentage and water use efficiency

تیمارها Treatments	درصد کلونیزاسیون Colonization percentage	تعداد غده بذری No. of seed tuber	تعداد غده خوراکی No. of edible tuber	تعداد غده ریز No. of small tuber	عملکرد کل Total yield ($ton.ha^{-1}$)	درصد ماده خشک غده Tuber dry matter (%)	کارآیی مصرف آب Water use efficiency ($kg.m^3$)
۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% water requirement	30.04c*	35.37 ^{a}	12.37 ^{a}	4.58 ^{c}	44.40 ^{a}	20.49 ^{a}	11.36 ^{c}
۷۵ درصد نیاز آبی 75% water requirement	34.87 ^{b}	32.70 ^{b}	10.33 ^{b}	6.12 ^{b}	37.72 ^{b}	20.41 ^{a}	12.98 ^{b}
۵۰ درصد نیاز آبی 50% water requirement	42.12 ^{a}	29.66 ^{c}	8.87 ^{c}	8.00 ^{a}	34.16 ^{b}	19.92 ^{a}	16.56 ^{a}
شاهد (عدم کاربرد سوپرجاذب رطوبتی و میکوریزا) Control (no use of superabsorbent and mycorrhiza)	0.00 ^{b}	29.88 ^{c}	8.38 ^{b}	8.66 ^{a}	36.72 ^{b}	19.82 ^{c}	12.82 ^{d}
استفاده از سوپرجاذب رطوبتی Use of superabsorbent	0.00 ^{b}	32.83 ^{b}	10.77 ^{a}	5.61 ^{b}	40.87 ^{a}	20.64 ^{a}	13.85 ^{b}
استفاده از میکوریزا Use of mycorrhiza	71.00 ^{a}	32.94 ^{b}	11.55 ^{a}	5.55 ^{b}	38.21 ^{ab}	20.20 ^{bc}	13.39 ^{c}
استفاده توأم از سوپرجاذب رطوبتی و میکوریزا Both mycorrhiza and superabsorbent applications	71.72 ^{a}	34.66 ^{a}	11.38 ^{a}	5.11 ^{b}	39.24 ^{ab}	20.43 ^{ab}	14.47 ^{a}

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون از اثرات اصلی مربوطه اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد آزمون دانکن نداشته‌اند.

* In each column and for each main effect, the means followed by the similar letters do not have a significant difference ($p \leq 0.05$)

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمار آبیاری و استفاده از سوپرجاذب و میکوریزا بر عملکرد، اندازه غده، درصد ماده خشک و کارآیی مصرف آب

Table 10- Comparison of the mean of the main effects of irrigation treatment and the use of superabsorbent and mycorrhiza on root colonization percentage, yield, tuber size, dry matter percentage and water use efficiency

تیمارها Treatments		درصد کلونیزاسیون Colonization percentage	تعداد غده بذری No. of seed tuber	تعداد غده خوراکی No. of edible tuber	تعداد غده ریز No. of small tuber	عملکرد کل Total yield (ton.ha^{-1})	درصد ماده خشک غده Tuber dry matter (%)	کارآیی مصرف آب Water use efficiency (kg.m^{-3})
۱۰۰٪ نیاز آبی 100% water requirement	شاهد (عدم مصرف سوپرجاذب و میکوریزا) Control (no use of superabsorbent and mycorrhiza)	0.00 ^{e*}	34.66 ^{bc}	11.16 ^{cde}	4.00 ^{d}	42.70 ^{b}	20.44 ^{a}	11.20 ^{j}
	استفاده از سوپرجاذب Use of superabsorbent	0.00 ^{e}	35.33 ^{b}	12.66 ^{ab}	4.50 ^{d}	43.91 ^{b}	20.68 ^{a}	11.38 ^{ij}
	استفاده از میکوریزا Use of mycorrhiza	60.33 ^{d}	34.50 ^{bc}	12.66 ^{ab}	4.48 ^{d}	43.10 ^{b}	20.27 ^{a}	11.45 ^{i}
	کاربرد توأم میکوریزا و سوپرجاذب Both superabsorbent and mycorrhiza	59.83 ^{d}	37.00 ^{a}	13.00 ^{a}	5.33 ^{d}	46.88 ^{a}	20.59 ^{a}	11.41 ^{i}
۷۵٪ نیاز آبی 75% water requirement	شاهد (عدم مصرف سوپرجاذب و میکوریزا) Control (no use superabsorbent and mycorrhiza)	0.00 ^{e}	30.66 ^{d}	7.50 ^{g}	9.16 ^{b}	35.70 ^{cd}	20.31 ^{a}	12.13 ^{h}
	استفاده از سوپرجاذب Use of superabsorbent	0.00 ^{e}	33.50 ^{c}	10.00 ^{def}	5.00 ^{d}	38.79 ^{bc}	20.74 ^{a}	13.21 ^{f}
	استفاده از میکوریزا Use of mycorrhiza	68.33 ^{c}	33.33 ^{c}	12.50 ^{abc}	5.16 ^{d}	34.57 ^{cd}	20.27 ^{a}	12.61 ^{g}
	کاربرد توأم میکوریزا و سوپرجاذب Both superabsorbent and mycorrhiza	71.16 ^{b}	33.66 ^{bc}	11.33 ^{bcd}	5.12 ^{d}	39.45 ^{bc}	20.33 ^{a}	13.98 ^{e}
۵۰٪ نیاز آبی 50% water requirement	شاهد (عدم مصرف سوپرجاذب و میکوریزا) Control (no use of superabsorbent and mycorrhiza)	0.00 ^{e}	24.33 ^{e}	6.50 ^{g}	12.83 ^{a}	31.77 ^{d}	18.72 ^{b}	15.14 ^{d}
	استفاده از سوپرجاذب Use of superabsorbent	0.00 ^{e}	29.66 ^{d}	9.66 ^{f}	7.33 ^{c}	34.95 ^{cd}	20.52 ^{a}	16.97 ^{b}
	استفاده از میکوریزا Use of mycorrhiza	84.33 ^{a}	31.00 ^{d}	9.50 ^{f}	7.00 ^{c}	34.57 ^{cd}	20.07 ^{a}	16.12 ^{c}
	کاربرد توأم میکوریزا و سوپرجاذب Both superabsorbent and mycorrhiza	84.16 ^{a}	33.66 ^{bc}	9.83 ^{f}	4.83 ^{d}	36.12 ^{c}	20.39 ^{a}	18.01 ^{a}

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد آزمون دانکن نداشته‌اند.

* In each column, the means followed by the similar letters do not have a significant difference ($p \leq 0.05$).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مشخص شد که کاربرد سوپرجاذب و قارچ همزیست میکوریزا در سیب‌زمینی و به‌خصوص در شرایط کم‌آبیاری به افزایش جذب عناصر غذایی و در نتیجه، افزایش ظرفیت تولید غده و عملکرد در سیب‌زمینی منجر می‌شود. همچنین اثرات مثبت میکوریزا و سوپرجاذب در جذب مواد غذایی و همچنین عملکرد سیب-زمینی در کاربرد توأم آن‌ها و به‌ویژه در شرایط کم‌آبیاری شدید، بیشتر مشهود بود. در مجموع، کارآیی مصرف آب با مصرف میکوریزا و سوپرجاذب در هر دو شرایط کم‌آبیاری در مقایسه با شاهد به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت.

References

1. Allahdadi, M.A., Ghamsari, B. M., Akbari, G., & Zohoor Mehr, M.G. (2005). Investigating the effect of various A200 hydrogel polymer and different levels of irrigation on growth and yield of corn. In 9th Iranian Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding, Tehran University, Tehran, Iran, 26-27 September 2005, p. 113-163. (In Persian)
2. Al-Karaki, G.N., McMichael, B., & Zak, J. (2004). Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza, 14*, 263–269. doi.org/10.1007/s00572-003-0265-2.
3. Amerian, M.R., & Stewart, W.S. (2001). Effect of 2 species of arbuscular mycorrhizal fungi on growth assimilation and leaf water relations in maize (*Zea mays*). *Aspects of Applied Biology*, *63*, 1-6.
4. Auge´, R.M. (2001). Water relations, drought, and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza 11: 3-42.
5. Bagheri, A., Azizi, K., Heidari, S., & Hasanvandi, M.S. (2013). Regression modeling of growth indices of lentil affected by bio-fertilizer with superabsorbent polymer. *International Journal of Farming and Apllied Sciences, 2(19)*, 712-719. (In Persian with English Summary)
6. Banedj Schafiee, S., & Rahbar, E. (2019). Efficiency of a hydrophilic polymer in agriculture and natural resources. *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*, *10(1)*, 111-129. (In Persian with English Summary). doi.org/10.22092/ijrdr.2019.119699.
7. Bolandnazar, S., Aliasgarzad, N., Neishabury, M.R., & Chaparzadeh, N. (2007). Mycorrhizal colonization improves onion (*Allium cepa* L.) yield and water use efficiency under water deficit condition. *Scientia Horticulture, 114*, 11–15.
8. Boomsma, C.R., & Vyn, T.J. (2008). Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Field Crops Research*, *108*, 14–31. doi.org/10.1016/j.scienta.2007.05.012.
9. Carlile, M.J., Watkinson, S.C., & Gooday, G.M. (2001). The fungi. Elsevier Academic Press, San Diego pp. 260.
10. David, D., Gerald, N., Carolyn, R., & Paul, R.H. (2007). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi increases the yield of potatoes in a high P soil. *Biological Agriculture Horticulture*, *25*, 67-78. doi.org/10.1080/01448765.2007.10823209.
11. Davies, J.R., Calderón, F.T., & Huainan, Z. (2005). Influence of arhuscular on growth, yield, and leaf elemental concentration of 'Yungay' potatoes. *Hort Science*, *40*, 381-385. doi.org/10.1080/01448765.2007.10823209.
12. Demir, S. (2004). Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper. *Turkish Journal of Biology*, *28*, 85-90. doi.org/10.1007/s00572-010-0360-0.
13. Elizabeth, M., Duffy, A., & Cassells, C. (2000). The effect of inoculation of potato microplant with arbuscular mycorrhizal fungi on tuber yield and tuber size distribution. *Applied Soil Ecology*, *15*, 137-144. doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00089-5.
14. Eissenstat, D.M., Graham, J.H, Syvertsen, J.P., & Drouillard, D.L. (1993). Carbon economy of sour orange in relation to mycorrhizal colonization and phosphorus status. *Annual Botany*, *71*, 1-10. doi.org/10.1006/anbo.1993.1001.
15. Elliott, A.P., Bird, G.W., & Safir, G.R. (1984). Joint influence of *Pratylenchus penetrans* (Nematode) and *Glomus fasciculatus* (Phycomycete) on the ontology of *Phaseolus vulgaris*. *Nematropica Journal*, *14*, 111-119.
16. Elwan, L.M. (2001). Effect of soil water regimes and inoculation with mycorrhizae on growth and nutrients content

of maize plants. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, *28*, 163-172.

17. Feng, G., Zhang, F.S., Tian, C.Y., & Tang, C. (2002). Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. *Mycorrhiza*, *12*, 185–190. doi.org/ 10.1007/s00572-002-0170-0.
18. Gaurav, S.S., Sirohi S.P.S., Singh, B., & Sirohi, P. (2010). Effect of mycorrhiza on growth, yield, and tuber deformity in Potato (*Solanum tuberosum* L.) grown under water stress conditions. *Progressive Agriculture Journal*, *10*, 31-40.
19. Gee, G.W., & Bauder J.W.C. (1986). Methods of Soil Analysis, Part1, Physical and Mineralogical Methods. Second edition, *American Society of Agronomy*, USA pp. 383-411.
20. Giovannetti, M. (2000). Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. Kluwer Academic Publishers, Netherlands pp. 320.
21. Goicoechea, N., Antolín, M.C., & Sánchez-Díaz, M. (1997). Influence of arbuscular mycorrhizae and *Rhizobium* on nutrient content and water relations in drought stressed alfalfa. *Plant and Soil*, *192*, 261-268. doi.org/10.1023/A:1004216225159
22. Gonigle, T., Miller, M., and Swan, J. (1990). A new method that gives an objective measure of colonization of roots by vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, *115*, 495-501. doi.org/10.1111/j.1469-8137.1990.tb00476.x.
23. Graham, S.O., Green, N.E., & Hendrix, J.W. (1996). The influence of vesicular- arbuscular mycorrhiza on growth and tuberization of potatoes. *Mycologia Journal*, *68*, 925-929. doi.org/10.1080/00275514.1976.12019968
24. Hadi, H., & Kalantar, A. (2017) Effects of mycorhizal symbiosis, application of super absorbent gel, glycine-betain and sugar beet extract on physiological traits and seed yield of castor bean (*Ricinus communis* L.) in drought stress conditions. Iranian Journal of Crop Sciences, *17(3)*, 236-250. (In Persian with English Summary). doi.org/20.1001.1.15625540.1394.17.3.5.1
25. Hao, J.J., Meng, Q.X., Yin, J.F., & Kirk, W.W. (2009). Characterization of a new Streptomyces strain, DS3024, that causes potato common scab. *Plant Diseases*, *93*, 1329–1334. doi.org/10.1094/PDIS-93-12-1329.
26. Jahan, M., Kamayestani, N., & Ranjbar, F. (2013). The feasibility of using superabsorbent moisture to reduce drought stress in corn in a low input system. Journal of Agroecology *5(3)*, 272-281. (In Persian with English Summary)
27. Jalili, K.H., Jalili, J., & Sohrabi, H. (2011). The effect of super absorbents and irrigation period on generative growth of rosa bushes. *Journal of Plant Production*, *18(3)*, 91-104. (In Persian with English Summary). doi.org/10.22067/jag.v5i3.28999.
28. Jones, J. (2001). Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis. CRC Press, LLC. USA.
29. Karoliina, N., Ritta, j., Hely, H., & Tytii, S. (2006). Suillus Variegatus causes significant changes in Scots pine seedlings during mycorrhiza formation *in vitro* conditions. *Journal Experimental Botany*, 1-11. doi.org/10.1093/jxb/erl209.
30. Kellam, M.K., & Schenck, N.C. (1980). Interaction between a vesicular arbuscular mycorrhizal fungus and root-knot nematode on soyabean. *Phytopathology*, *70*, 293-296.
31. Khadem, S.A., Raroudi, M., Ghalvi, M., & Roosta, M.G. (2011). Effect of drought stress and application of different ratios of manure and polymers-permeable fertilizer on yield and yield components of corn. Iranian Journal of Crop Sciences *42(1)*, 115-123. (In Persian with English Summary)
32. Knudsen, D., Peterson, G.A., & Pratt, P.E. (1982). Lithium, sodium, and potassium. In A.L. page (Ed.). Methods of Soil Analysis-Part 2, Agron. Monogr. 9, American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 225-246.
33. Krishna. H., Singh, S.K., & Sharma, R.R. (2005). Biochemical changes in micropropagated grape (*Vitis vinifera* L.) plantlets due to arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculated during ex vitro acclimatization. *Scientia Horticulturae*, *106*, 554-567. doi.org/10.1016/j.scienta.2005.05.009.
34. Maclean, A.M., Bravo, A., & Harrison, M.J. (2017). Plant signaling and metabolic pathways enabling arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Plant Cell American Society of Plant Biologists*, *29(10)*, doi.org/10.1105/tpc.17.00555.
35. Mao, R., Islam, S., Xue, X., Yang, X., Zhao, X., & Hu, Y. (2011). Evaluation of a water-saving superabsorbent polymer for corn (*Zea mays* L.) production in arid regions of Northern China. *African Journal of Agricultural Research*, *6(17)*, 4108-4115. doi.org 10.5897/AJAR11.395.
36. Menzel, C.M. (1985). Tuberization in potato at high temperature: Interaction between temperature and irradiance.

Annual Botany, *55*, 35-39. doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a086875.
37. Monnig, S. (2005). Watter saturated super-absorbent polymers used in high strength concrete. *Journal of Otto-Graf*, *3*(16), *193*-202.
38. Mutetwa, M., Shoko, M.D., & Mtaita, T.A. (2010). The effect of super phosphate and planting density on mini-tuber production from true potato seed. Second Ruforum Biennial Meeting, 20-24 September 2010, Entebbe, Uganda. pp. 120-126. doi.org/10.4314/ijbcs.v4i4.63067.
39. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., & Dean, L.A. (1954). Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ. 939 US Gover. Prin. Office, Washington DC.
40. Parvizi, K., Parvizi, Y., & Navaei, A. (2017). Effect of arbuscular mycorrhizal (AM) fungus (*Rhizophagus irregularis*) inoculation in different levels of water deficit on mini tuber production in potato. *Journal of Plant Productions* (*Agronomy*, *Breeding*, *and Horticulture*), *40(3)*, 15-26. (In Persian with English Summary). doi.org/10.22055/ppd.2017.19706.1402.
41. Pawlowska, T.E., & Taylor, J.W. (2004). Organization of genetic variation in individuals of arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature*, *427*, 733-737.
42. Phillips, J.M., & Hayman, D.S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Mycology Society Journal*, *55*, 159-161. doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3.
43. Rapparini, F., Liusia, J., & Penuelas, J. (2008). Effect of arbuscular mycorrhiza on contents of *Artemisia annua*. *Plant Biology*, *10(1)*, doi.org/108-122. 10.1055/s-2007-964963.
44. Rashidi, N., Arji, I., Gerdekaneh, M., & Kashi, A. (2014). The effect of organic manure and water super absorbent on tuber yield and yield components of potato (*Solanum tuberosum*, cv. marfona). *Plant Production Technology*, *5(2)*, 11-22. (In Persian with English Summary). doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.45072.
45. Rosendahl, S. (1985). Interactions between the vesicular arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus fasciculatus* and *Aphanomyces euteiches* root-rot of peas. *Phytopathologische Zeitschrift*, *114*, 31-40.
46. Rowe, R.C. (1993). Potato Health Management. pp. 5-27. APS Press.
47. Ryan, J.R., Stefan, G., & Rashid A. (2001). Soil and Plant Analysis Laboratory Manual (2nd Edition). ICARDA. Aleppo, Syria, pp.172.
48. Sanchez-Blanco, M.I., Ferrandez, T., Morales M., Morata, A., & Alarcon, J.J. (2004). Variations in water status, gas exchange, and growth in *Rosmarinus officinalis* plant infected with *Glomus deserticola* under drought condition. *Journal of Plant Physiology*, *161*, 673-682. doi.org/10.1078/0176-1617-01191.
49. Subramanian, K.S., Bharathi, C.A., & Jegan, O. (2008). Response of maize to mycorrhizal colonization at varying levels of zinc and phosphorus. *Biology Fertil Soils*, *45*, 133–144. doi.org/10.1007/s00374-008-0317-z.
50. Upadhya, M.D., Hardy, B., Guar, P.C., & Iiantileke, S.G. (1996). Production and utilization of the potato seed in Asia, CIP. pp. 233.
51. Waling, I., Vark, W.V., Houba, V.J.G., & Vanderlee, J.J. (1989). Soil and Plant Analysis, a series of syllabi. Part 7. Plant Analysis Procedures. Wageningen Agriculture University, Netherland, pp 272.
52. Yao, M.K., Tweddell, R.J., & Desilets, H. (2002). Effects of two Vesicular- arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of microplanted potato plantlets. *Mycorrhiza*, *12*, 235-242. doi.org/10.1007/s00572-002-0176-7
53. Zhu, H.H., & Yao, Q. (2004). Localized and systemic increase of phenols in tomato roots induced by *Glomus versiforme* inhibits Ralstonia solanacearum. *Journal of Phytopathology*, *152*, 537-542. doi.org/10.1111/j.1439-0434.2004.00892.x.

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

Research Article
Vol. 15, No. 2, Summer 2023, p. 381-401

Assessing the Environmental Parameters of the Rice (*Oryza sativa* L.) in the Second Cropping and Ratoon Systems using Life Cycle Assessment (LCA)

Hemmatollah Pirdashti[1]*, Zahra Saber[2], Faezeh Mohammadi Kashka[3], Yaser Rahmati[4], and Ali Motevali[5]

Received: 31-07-2021 Revised: 31-10-2021 Accepted: 13-12-2021 Available Online: 13-12-2021	**How to cite this article:** Pirdashti, H., Saber, Z., Mohammadi Kashka, F., Rahmati, Y., & Motevali, A. (2023). Assessing the environmental parameters of the rice (*Oryza sativa* L.) in the second cropping and ratoon systems using life cycle assessment (LCA). *Journal of Agroecology*, *15*(2), 381-401. DOI: 10.22067/agry.2021.71735.1061

Introduction

Rice (*Oryza sativa* L.) is one of the most important food resources for more than half of the world's population. Rice, as the second most strategic crop, is the most important cereal after wheat. Excessive use of renewable and non-renewable resources in the agricultural sector, chemical control of rice diseases, and irreparable environmental damage of these systems potentially have a variety of environmental impacts on agricultural systems; such effects can be assessed by the life cycle assessment (LCA) approach. The purpose of the present research is to assess knowing and comparing the trend of environmental pressure of the second and ratoon cropping systems of rice production in the paddy fields.

Materials and Methods

This research was conducted in 2020 in the paddy fields of Amol City with a focus on recognizing and comparing the trend of environmental pressure in rice production in the second and ratoon cropping systems. Accordingly, all data related to the second and ratoon rice cropping systems in different stages of rice production, from planting to harvesting phases, was collected in the Amol region. This study addresses the environmental effects of rice production in two cropping systems using the LCA method to classify and quantify. Furthermore, the environmental impacts of these systems, such as global warming potential, eutrophication, and acidification of water and soil, were also calculated. In this study, the functional unit of rice production systems was considered equivalent to one ton of paddy. Therefore, to evaluate the emission of greenhouse gases and energy in paddy fields, paddy farmers collected and interviewed the required information.

1- Professor, Department of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
2- Ph.D. Graduate of Agronomy, Department of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
3- Ph.D. Student of Agronomy, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
4- Ph.D. Student of Agronomy, Department of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
5- Associate Professor, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
(*- Corresponding author's Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir)

Results and Discussion

The findings of this study indicated that the highest global warming potential of rice was related to the rice second cropping system, about 1896.92 kg carbon dioxide per ton of produced rice. Evaluation of the LCA in the rice production process showed that in the environmental impact group of global warming, about 1673.99 kg equivalent of carbon dioxide to the atmosphere had been released per ton of rice in the ratoon cropping system. Direct emissions from on-farm activities in all two studied systems have played a major role in increasing global warming. The source of these pollutants is the combustion of diesel used in agricultural implements and machinery, accompanied by the emission of nitrogen dioxide, nitrogen oxides, and other nitrogenous compounds resulting from using nitrogen fertilizers. Also, rice second cropping systems had a greater impact on human health damage, ecosystem quality, and climate change than ratoon cropping systems. Moreover, the values of damages on the quality of the ecosystem in these systems were about 10089.08 and 7146.58 PDF*m2 * yr in the second and ratoon cropping systems, respectively. In addition, both rice production systems have shown the greatest impact on ecosystem quality and then on human health. Direct emissions from on-farm activities in the two studied systems have significantly increased global warming. The source of these pollutants is the combustion of diesel used in agricultural implements and machinery, as well as the emission of nitrogen dioxide, nitrogen oxides, and other nitrogenous compounds resulting from using nitrogen fertilizer.

Conclusion

The results revealed that the rice second cropping system had a higher amount of total emissions than the ratoon cropping system. Therefore, the rice ratoon production system is more environmentally friendly than the rice second cropping systems.

Acknowledgments

This research was funded by the Sari Agricultural Sciences and the Natural Resources University (SANRU) under contract No. d-110-99-16690. We would also like to thank the esteemed rice farmers in the Amol region, Mazandaran province, Iran, for their cooperation.

Keywords: Ecosystem quality, Global warming potential, Human health, Paddy, Production systems

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

مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۴۰۱-۳۸۱

ارزیابی مؤلفه‌های زیست‌محیطی دو سامانه کشت مجدد و راتون برنج (*Oryza sativa* L.) بر مبنای ارزیابی چرخه حیات

همت‌اله پیردشتی[1*]، زهرا صابر[2]، فائزه محمدی کشکا[3]، یاسر رحمتی[4] و علی متولی[5]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۸/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۲

چکیده

برنج (*Oryza sativa* L.) یکی از مهم‌ترین غذای بیش از نیمی از مردم جهان به‌شمار می‌رود. کاربرد بیش از حد منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در بخش کشاورزی به‌صورت بالقوه، تأثیرات زیست‌محیطی گوناگونی را بر بوم‌نظام‌های زراعی اعمال می‌کند؛ چنین تأثیراتی را می‌توان با رویکرد ارزیابی چرخه حیات (LCA) مورد ارزیابی قرار داد. این پژوهش در سال ۱۳۹۹ با محوریت شناخت و مقایسه روند فشار زیست‌محیطی الگوهای کشت دوم و راتون تولید برنج در شالیزارهای شهرستان آمل انجام پذیرفت. بر این اساس، در مراحل مختلف تولید برنج از جمله کاشت، داشت و برداشت، داده‌های مرتبط با الگوهای کشت دوم و راتون از کشاورزان شهرستان آمل، گردآوری و اثرات زیست‌محیطی حاصل از سامانه‌های مذکور همچون پتانسیل گرمایش جهانی، اوتریفیکاسیون و اسیدی شدن آب و خاک برآورد شد. در این پژوهش، واحد کارکردی بوم نظام‌های تولید برنج معادل یک تن شلتوک در نظر گرفته شد. یافته‌های حاصل از این پژوهش حکایت از آن داشت که بیشترین پتانسیل گرمایش جهانی برنج مربوط به کشت مجدد برنج در حدود ۱۸۹۶/۹۲ کیلوگرم معادل دی اکسیدکربن به‌ازای یک تن شلتوک تولیدی بوده است. ارزیابی چرخه حیات در تولید برنج نشان داد، در گروه تأثیر زیست-محیطی پتانسیل گرمایش جهانی به‌ازای تولید هر تن شلتوک در سامانه‌های راتون در حدود ۱۶۷۳/۹۹ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن به اتمسفر انتشار یافته است. انتشارات مستقیم ناشی از فعالیت‌های درون مزرعه‌ای در هر دو سامانه مورد مطالعه سهم عمده و اصلی را در افزایش گرمایش جهانی داشته که منشأ این آلایندگی‌ها را می‌توان در احتراق سوخت مصرفی در تجهیزات کشاورزی و نیز انتشار اکسیدهای نیتروژن‌دار، دی اکسید نیتروژن و دیگر ترکیبات نیتروژن‌دار حاصل از مصرف کود نیتروژن دانست. همچنین، سامانه‌های کاشت مجدد برنج تأثیر بیشتری در سه رده آسیب سلامت انسان، کیفیت اکوسیستم و تغییر اقلیم نسبت به سامانه‌های تولید راتون داشته‌اند. همچنین مقادیر خسارات وارد شده بر کیفیت اکوسیستم ناشی از تولید هر تن شلتوک در سامانه‌های کشت مجدد و راتون به‌ترتیب حدود ۱۰۰۸۹/۰۸ و ۷۱۴۶/۵۸ $PDF \times m^2 \times yr$ بوده است. علاوه‌براین، هر دو سامانه تولید برنج بیشترین اثر را بر کیفیت اکوسیستم و پس از آن بر سلامت انسان نشان داده‌اند. بر اساس یافته‌های این پژوهش، سامانه تولید راتون برنج نسبت به سامانه‌های کشت مجدد برنج به‌لحاظ زیست‌محیطی از سازگاری بیشتری برخودار می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل گرمایش جهانی، سامانه‌های تولید، سلامت انسان، شلتوک، کیفیت اکوسیستم

۱- استاد گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

۲- دانش‌آموخته دکترای زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

۳- دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۴- دانشجوی دکترای زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

۵- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

(*- نویسنده مسئول: Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2021.71735.1061

مقدمه

امنیت غذایی از منظر جوامع مدرن و در حال توسعه، دارای اهمیت منحصر به فردی می‌باشد. جهان امروز، درصدد ایجاد تحولی همه جانبه در حوزه کشاورزی و تولید محصولات زراعی است که مهم‌ترین مؤلفه‌های آن را باید در راهکارهایی همچون افزایش تولیدات کشاورزی، افزایش سطح زیر کشت و نیز به‌کارگیری الگوهای مختلف کشت جستجو کرد. در این میان، غلات به‌دلیل برخورداری از برخی ویژگی‌ها از جمله کالری فراوان، سهولت حمل و انبار کردن در زمره مهم‌ترین گیاهانی به‌شمار می‌روند که در تأمین نیاز بشر نقش عمده‌ای را به خود اختصاص داده‌اند. برنج (*Oryza sativa* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان تیره غلات گیاهی است که بشر به‌گونه‌ای چشمگیر بدان وابسته است (Chabra et al., 2006). برنج غذای اصلی نصف جهان و به‌ویژه مردم آسیا و تقریباً ۳۰ الی ۶۰ درصد کالری مصرف شده در این مناطق را تأمین می‌کند (Rahman et al., 2014). در ایران نیز برنج جایگاه و نقش بسزایی در تغذیه و اقتصاد مردم دارد؛ لذا افزایش تولیدات برنج در برنامه‌های مختلف، همواره در کانون توجه بوده است (Moumeni et al., 2003).

در سالیان اخیر به زیر کاشت بردن مجدد زمین‌های زراعی در مازندران بسیار مورد توجه قرار گرفته است، به‌گونه‌ای که بعد از برداشت محصول اصلی و در طول تابستان امکان کشت مجدد وجود دارد. بر اساس آخرین اطلاعات موجود، از مجموع ۲۷۲۱۶۱ هکتار سطح زیرکشت شلتوک استان مازندران در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷، حدود ۶۰ هزار هکتار مربوط به کشت مجدد بوده است (Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran, 2019). کشت راتون نیز به‌دلیل دوره رشد کوتاه و هزینه تولید پایین، سالیانه با افزایش استقبال کشاورزان مواجه می‌گردد (Yazdpour et al., 2007). برنج راتون به محصول دوم تولیدی پس از برداشت محصول اصلی و با رشد مجدد ساقه‌های باقی‌مانده آن‌ها اطلاق می‌شود (Song et al., 2021). پیدایش پدیده نوظهور کشت مجدد برنج نقش بسزایی در تأمین غذا و درآمد ساکنان این نواحی ایفا می‌کند (Nouri et al., 2014). از سویی، این نکته را نباید از نظر دور داشت که امکانات و فراهم‌سازی تولید انبوه مواد غذایی به‌میزان زیادی وابسته به کاربرد مواد شیمیایی است و به تبع آن دغدغه‌ها را در ارتباط با تبعات زیست‌محیطی ناشی از آن را تشدید می‌کند (Nemecek et al., 2011). در قرن حاضر، آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از بخش کشاورزی یکی از اساسی‌ترین منابع انتشار آلاینده‌ها تلقی می‌شود (Pishgar-Komleh et al., 2017). گرمایش جهانی، به‌دلیل افزایش مقادیر گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر (Dai et al., 2013; Fu et al., 2015) از جمله دی‌اکسیدکربن (CO_2)، متان (CH_4)، کلروفلوروکربن‌ها (CFCs)، اکسید نیتروس (N_2O) و سولفورهگزافلورید (SF_6) و پرفلوروکربن‌ها (PFCS)، می‌باشد (Morino et al., 2010; Miao et al., 2013). گازهای دی‌اکسیدکربن، متان و اکسید نیتروس با گرم شدن جو زمین، به پدیده اثر گلخانه‌ای دامن می‌زنند (Hiraishi et al., 2014). انتشار گازهای حاصل از فعالیت‌های انسانی مانند احتراق سوخت‌های فسیلی تبعاتی همچون اسیدی شدن خاک، اوتریفیکاسیون و نیز نابودی جنگل‌ها را در پی خواهد داشت (Khoshnevisan et al., 2013b). مشارکت جهانی بخش کشاورزی با در نظر گرفتن کلیه انتشارات مستقیم و غیرمستقیم، ۱۷ تا ۳۲ درصد از کل انتشارات جهانی گازهای گلخانه‌ای را شامل می‌شود. در این میان، انتشارات مستقیم در بخش کشاورزی در حدود ۰/۱۰ تا ۰/۱۲ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای را در بر می‌گیرد که در آن سهم اکسید نیتروس و متان در حدود ۳۸ و ۳۲ درصد بوده و مابقی آن مربوط به سوزاندن زیست‌توده (۱۲ درصد)، تولید برنج (۱۱ درصد) و کودهای دامی (هفت درصد) می‌باشد (Bellarby et al., 2008).

با کمک رهیافت‌های گوناگون می‌توان اثرات زیست‌محیطی فرایندهای مختلف را تجزیه و تحلیل کرد و نقاط عمده آلایندگی را شناسایی نمود (Schröder et al., 2003). بررسی چرخه حیات روشی است که در آن تمامی منابع مصرفی به‌منظور تولید محصول و تمامی مواد انتشار یافته به محیطزیست، کمّی‌سازی می‌شوند (Sahle & Potting, 2013; Finkbeiner et al., 2006). تحلیل چرخه حیات، بر مبنای ارزیابی دو گزاره انتشار آلاینده‌ها به محیط زیست و میزان مصرف منابع محاسبه می‌شود (Brentrup et al., 2004 a,b; Roy et al., 2009). پژوهش‌های بسیاری در زمینه ارزیابی آلاینده‌های زیست‌محیطی با رویکرد چرخه حیات برنج در چین (Wang et al., 2010)، ایتالیا (Blengini et al., 2009)، کالیفرنیا (Brodt et al., 2014)، مصر (Armanuos et al., 2016)، ژاپن (Hokazono & Hayashi, 2015)، بنگلادش (Rahman et al., 2014) و ایران

(Nabavi-Firouzi et al., 2018 ؛Alipour et al., 2012 Pelesaraei et al., 2019) انجام شده است.

متولی و همکاران (Motevali et al., 2019) نیز به مطالعه تولید برنج سفید در شمال ایران (مازندران، گیلان و گلستان) با رویکرد ارزیابی چرخه حیات پرداختند. این نتایج حاکی از آن است که تولید برنج مکانیزه در مازندران به افزایش تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی و نیز افزایش شاخص‌های اثر حاصل از آن‌ها دامن می‌زند. نبوی پله-سرائی و همکاران (Nabavi-Pelesaraei et al., 2017) در مطالعه‌ای با رویکرد تحلیل چرخه‌ی حیات و ارزیابی زیست‌محیطی تولید شلتوک در شالیزارهای شهرستان رشت، چرخه حیات این محصول را از مرحله استخراج مواد اولیه تا برداشت آن مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش، شاخص پتانسیل گرمایش جهانی به‌عنوان مهم‌ترین رده اثر زیست‌محیطی در مطالعات ارزیابی چرخه حیات، به ازای تولید هر تن شلتوک در حدود ۱۱۶۶/۰۹ کیلوگرم معادل دی اکسیدکربن به اتمسفر برآورد شد. نتایج مطالعه‌ای سه ساله به‌منظور ارزیابی میزان انتشار متان (CH_4) و اکسید نیتروس (N_2O) در مزارع شالیزاری برنج منفرد و راتون در چین نشان داد که سامانه کشت اصلی برنج به‌همراه راتون آن می‌تواند میزان انتشار گازهای متان و اکسید نیتروس از این مزارع را افزایش دهد. در این پژوهش، مزارع راتون با انتشار بیش‌تر این گازهای آلاینده نسبت به مزارعی که تنها کشت اصلی برنج داشتند به‌طور قابل‌توجهی سبب تشدید پتانسیل گرمایش جهانی شدند (Song et al., 2021).

دستان و همکاران (Dastan et al., 2016) در پژوهشی با مقایسه انتشار دی‌اکسیدکربن و پتانسیل گرمایش جهانی در شالیزارهای استان مازندران به این نتیجه رسیدند که بیشترین مقادیر درصد انتشار گاز دی‌اکسیدکربن و پتانسیل گرمایش جهانی مربوط به نیروی برقِ مورد استفاده برای پمپ کردن آب می‌باشد. در این پژوهش، کود شیمیایی نیتروژن و سوخت نیز در رتبه‌های دوم و سوم آلایندگی قرار گرفتند. علاوه‌براین، ملافیلابی (Mollafilabi, 2019) با مقایسه اثرات زیست‌محیطی نظام‌های تولید برنج در الگوهای کشت اول و دوم با روش ارزیابی چرخه حیات نشان داد، بیشترین پتانسیل گرمایش جهانی برنج در مقایسه الگوهای کشت مربوط به کشت دوم با ۸۴۰/۳۶ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن به‌ازای یک تن شلتوک بوده است. فیروزی و همکاران (Firouzi et al., 2018) نیز با مطالعه بر سامانه‌های زراعی برنج با رویکرد ارزیابی چرخه حیات نشان دادند، سامانه‌های راتون برنج به‌لحاظ زیست‌محیطی نسبت به سامانه‌های دیگر کارآمدتر می‌باشند. انصاری و همکاران (Ansari et al., 2015) با مطالعه ارزیابی پتانسیل گرمایش جهانی برنج در سامانه‌های کشت اول و دوم برنج در شهرستان ساری نشان دادند که پتانسیل گرمایش جهانی در الگوی کشت دوم (۱۱۸۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن در هر هکتار) ۲۰ درصد بیشتر از کشت اول (۹۹۰ کیلوگرم معادل دی-اکسیدکربن در هر هکتار) می‌باشد. همایونی و همکاران (Homayouni et al., 2018) در پژوهش خود در مورد ارزیابی اثرات زیست‌محیطی ارقام مختلف شلتوک برنج در شهرستان کردکوی با روش ارزیابی چرخه حیات، نشان دادند در میان اثرات زیست‌محیطی برآورد شده، پتانسیل اکسیداسیون فتوشیمیایی بیشترین اثر را در تولید برنج داشته است. همچنین این پژوهشگران اذعان داشتند، دو اثر زیست‌محیطی تخلیه منابع فسفات و تخلیه منابع آبی از اثرات زیست‌محیطی مهم دیگر در کشت برنج به‌شمار می‌روند.

از آنجا که محیط‌زیست از مؤلفه‌های اساسی در سیاست‌های کلان جهانی به‌شمار می‌رود و قادر است مؤلفه‌های دیگر را نیز تحت تأثیر قرار دهد، آگاهی از اثرات زیست‌محیطی پیش‌نیاز تعداد بسیاری از فعالیت‌ها در سطح کلان می‌باشد. پژوهش‌های مختلف نشان می-دهند که از سویی، بررسی‌های اخیر به‌صورت کاملاً جداگانه‌ای فرآیندهای تولید برنج را در الگوهای مختلف کاشت برنج از جمله کشت دوم و راتون مورد بررسی قرار داده‌اند و در بسیاری از موارد اثرات زیست‌محیطی هرکدام از بخش‌ها و روند مقایسه‌ای این سیستم‌ها با یکدیگر بررسی نشده اند؛ از سوی دیگر، تاکنون مطالعات جامعی در خصوص ارزیابی اثرات زیست‌محیطی سامانه‌های کشت دوم و راتون برنج انجام نشده است. لذا، با توجه به سطوح زیرکشت قابل‌ملاحظه برنج و افزایش استقبال کشاورزان از الگوی کشت دوم و برنج راتون و نیز کاربرد مفرط نهاده‌های کشاورزی در کاشت، داشت و برداشت این محصول راهبردی؛ بدیهی است که اثرات زیست‌محیطی بسیاری بر بوم‌نظام این ناحیه می‌گذارد. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف طبقه‌بندی و کمّی‌سازی اثرات زیست‌محیطی تولید برنج در دو الگوی زراعی برنج شامل کشت دوم و راتون برنج با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور طبقه‌بندی و کمّی‌سازی اثرات زیست

محیطی تولید برنج در دو الگوی زراعی برنج شامل کشت دوم و راتون برنج با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات در سال ۱۳۹۹ در شالیزارهای شهرستان آمل بهاجرا درآمد. به‌منظور انجام آزمایش برای سامانه‌های کشت دوم و راتون برنج، مزارعی از شهرستان آمل و حومه آن انتخاب شدند. شهرستان آمل با حدود ۳۰۷۴/۴ کیلومترمربع مساحت در موقعیت جغرافیایی بین ۵۲ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. ارزیابی چرخه حیات دارای چهار گام تعیین هدف و دامنه، تحلیل سیاهه، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و تفسیر می‌باشد (Tong et al., 2015). این روش تمامی جنبه‌های زیست‌محیطی از جمله به‌کارگیری منابع و نتایج ناشی از رهاسازی آن‌ها را در طول چرخه حیات یک فرایند یا محصول و یا به‌عبارتی از گهواره تا گور دربرمی‌گیرد (Rashid & Yusoff, 2015).

در گام نخست فرایند چرخه حیات و به‌منظور فراهم‌سازی شرایط برای مقایسه الگوهای گوناگون کاشت برنج، فرایند یا فعالیت یا واحد مرجع تعریف و با استفاده از آن، ورودی‌ها و خروجی‌ها به هم مرتبط می‌شوند. یکی از اقدامات مهم و الزامی در این گام، انتخاب مرز سامانه است، چرا که تعیین مرز سامانه به‌جهت محاسبه دقیق‌تر مواد منتشر شده ناشی از مصرف درون سیستم ضروری است (Schau et al., 2008). در این پژوهش، دروازه مزرعه به‌عنوان مرز سامانه‌های مورد بررسی (کشت مجدد و راتون) در نظر گرفته شد (شکل ۱). واحد کارکردی مورد مطالعه نیز برای یک تن شلتوک محاسبه گردید؛ به این معنی که اثرات زیست‌محیطی به‌ازای یک تن وزن شلتوک برداشت شده از سطح زمین محاسبه شدند. در این قسمت، داده‌های مربوط به کاشت، داشت و برداشت در دو سامانه، به‌صورت رو در رو از کشاورزان جمع‌آوری گردید. به‌منظور تعیین اندازه نمونه نیز از معادله کوکران (معادله ۱) استفاده شد (Romero-Gámez et al., 2012):

$$n=\frac{N\ S^2t^2}{(N-1)d^2+S^2t^2}$$ معادله (۱)

که در آن، N: اندازه جامعه آماری و یا تعداد کشاورزان منطقه مورد بررسی، t: ضریب اطمینان قابل قبول که با فرض نرمال بودن توزیع صفت مورد نظر از جدول t-student در سطح احتمال پنج درصد حاصل می‌گردد، S: برآورد انحراف معیار صفت مورد بررسی در جامعه، d: دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصله اطمینان) و n: حجم نمونه می‌باشد.

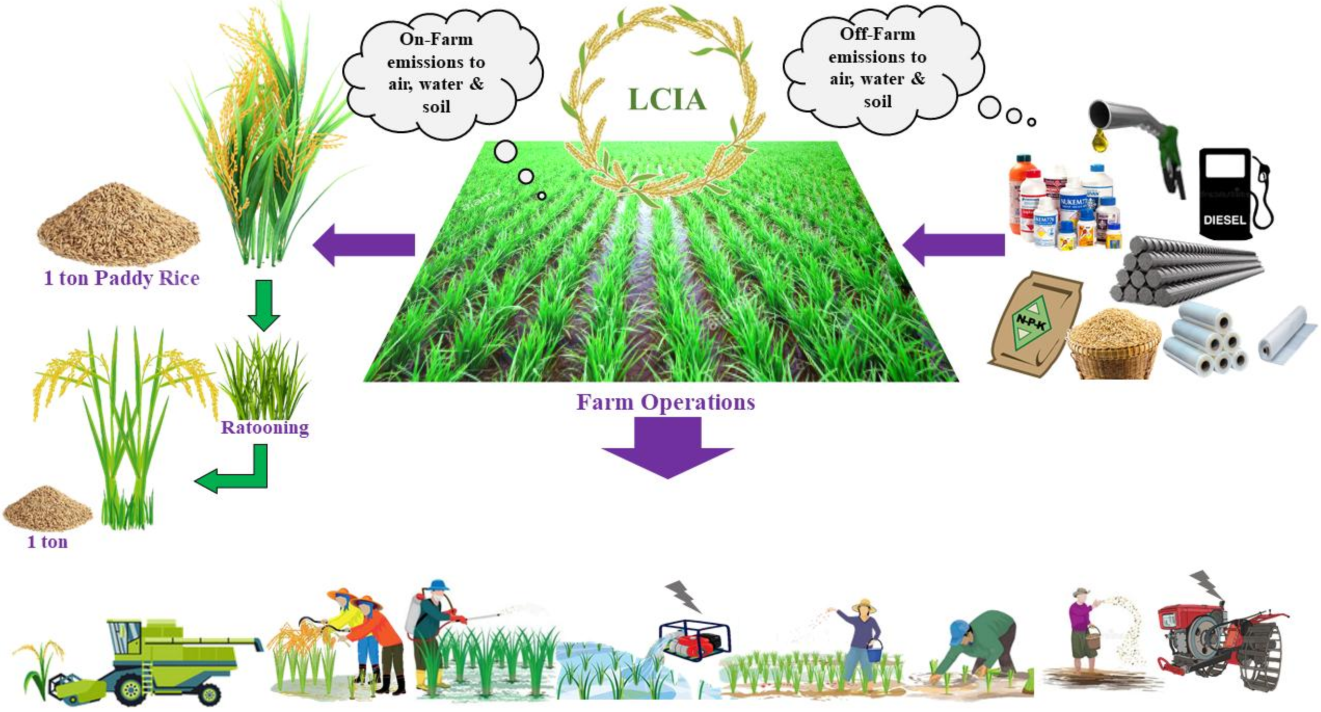
با توجه به معادله ۱، حجم نمونه به‌دست آمده از فرمول کوکران در حدود ۱۴۴ مزرعه برای کشت مجدد برنج و در حدود ۵۲ مزرعه برای سامانه راتون برآورد شد. جهت اجرای آزمایش و در گام دوم ارزیابی چرخه حیات در سامانه‌های مذکور نهاده‌های ورودی و خروجی برای هر مزرعه توسط پرسشنامه استخراج شدند. داده‌های مربوط به مزرعه عبارت بودند از: میزان مصرف نهاده‌ها شامل بذر مصرفی، ماشین‌های کشاورزی، نیتروژن (N)، فسفر (P_2O_5)، پتاس (K_2O)، سموم شیمیایی، نایلون، روغن، گازوئیل و میل‌گرد در بخش کاشت، داشت و برداشت. در این گام، انتشارات ناشی از کودهای دامی و شیمیایی با استفاده از ضرایب هیئت بین الدول تغییرات آب و هوا تخمین زده شد که برخی از این ضرایب در جدول ۱ ارائه شده است (IPCC, 2006). همچنین، جهت برآورد انتشارات ناشی از احتراق دیزل که خود حاصل راه‌اندازی و کاربرد ماشین‌آلاتی همچون تراکتورها است، از ضرایب موجود در پایگاه داده اکواینونت استفاده گردید (Wernet et al., 2016). علاوه‌براین، انتشارات ناشی از سوزاندن بقایا به اتمسفر (Wikström & Adolfsson, 2004) و انتشارات فلزات سنگین حاصل از کودهای شیمیایی به خاک نیز در این پژوهش برآورد شد (Durlinger et al., 2015).

در گام سوم ارزیابی چرخه، شامل مراحلی همچون طبقه‌بندی، نرمال‌سازی و وزن‌دهی بوده و هر کدام از مقادیر انتشار یافته به محیط‌زیست و منابع مورد استفاده در چرخه حیات، به اثر زیست-محیطی مربوطه نسبت داده شد. در مرحله ارزیابی تأثیر تعیین شد، ابتدا هر یک از مواد انتشار یافته به محیط که مقدار آن‌ها در گام قبل مشخص شده بود، دارای کدام تأثیرات هستند و باید در کدام طبقه یا طبقه‌های تأثیر قرار گیرند. سپس این انتشارات به یک واحد معادل برای هر طبقه تأثیر تبدیل می‌شوند. برای نمونه، گازهای انتشار یافته دی‌اکسیدکربن، متان، اکسید نیترو دارای تأثیر بر گرم شدن کره زمین هستند، ولی پتانسیل این گازها در ایجاد تغییر اقلیم بسیار متفاوت است؛ چنانچه یک کیلوگرم اکسید نیتروس و یک کیلوگرم متان انتشار یافته باشد، به‌ترتیب به‌صورت ۳۱۰ کیلوگرم و ۲۱ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن بیان می‌شود (Guinée & Lindeijer, 2002; Bare, 2002). شاخص هر گروه اثر با استفاده از معادله ۱ به‌دست آمد:

$$ICI_i=\sum_i[(E_j\,or\,R_j)\times CF_{i,j}]$$ معادله (۱)

شکل ۱- مرز سامانه تعیین شده برای ارزیابی چرخه حیات تولید یک تن شلتوک در شالیزارهای شهرستان آمل ، استان مازندران، ایران

Fig. 1- The defined system boundary for assessing the life cycle of a ton of paddy rice production in Amol city, Mazandaran province, Iran.



که در آن، ICI_i: شاخص طبقه‌بندی هر گروه اثر i، E_j یا R_j: انتشار ترکیب j یا مصرف منبع j برای هر واحد کارکردی و CF_{ij}: فاکتور طبقه‌بندی برای ترکیب j سهیم در گروه اثر i می‌باشد. پس از تعیین شاخص طبقه‌بندی، نرمال‌سازی به‌منظور بی‌بعد کردن داده‌ها انجام می‌گیرد. وزن‌دهی نیز پتانسیل آسیب هر گروه اثر را نشان داده و بزرگ‌تر بودن این فاکتور، نشان‌دهنده پتانسیل بیشتر آن گروه تأثیر برای آسیب به محیط زیست می‌باشد (Brentrup et al., 2004 a). در آخرین مرحله نیز شاخص محیطی تحت عنوان شاخص بوم‌شناخت که معیار نهایی LCA است، با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد، در حقیقت، شاخص زیست‌محیطی هر گروه اثر نشان‌دهنده میزان تخریب آن گروه خواهد بود:

$$EcoX = \sum_i [N_i \times WF_i] \quad \text{(۲) معادله}$$

که در آن، Ecox: شاخص زیست‌محیطی واحد کارکردی برای اثرات زیست‌محیطی، N: نتایج نرمال‌سازی برای گروه اثر i در هر واحد کارکردی و WF_i: فاکتور وزن‌دهی برای هر گروه تأثیر i می‌باشد. باید اذعان داشت هر چه شاخص زیست‌محیطی بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده پتانسیل بیشتر در آسیب به محیط زیست خواهد بود (ISO, 1997).

در پژوهش حاضر، به‌منظور دستیابی به اطلاعات مورد نیاز چرخه حیات از استاندارد (v2.15) Impact2002+ موجود در نرم‌افزار سیماپرو (SimaPro V9.0.0) استفاده شد. مهم‌ترین گروه‌های تأثیر در این تحقیق در روش Impact2002+ شامل مواد سرطان‌زا، غیر سرطان‌زا، مواد تنفسی غیر آلی، تشعشعات یونیزه‌کننده، تخلیه لایه ازن، مواد تنفسی آلی، سمیت آبی، سمیت خاکی، اسیدی‌سازی خاکی، اشغال زمین، اسیدی‌سازی آبی، اوتریفیکاسیون، پتانسیل گرمایش جهانی، انرژی تجدیدناپذیر و تخلیه مواد معدنی می‌باشند که نتایج سیاهه را به چهار شاخص پایانی یا رده خسارت سلامت انسان، کیفیت اکوسیستم، تغییر اقلیم و تخلیه منابع مرتبط می‌سازد (جدول ۲).

در توضیح برخی از شاخص‌های زیست‌محیطی مانند انرژی تجدیدناپذیر در حقیقت اشاره به گازوئیل، گاز طبیعی و نظیر آن‌ها دارد که بر اساس ورودی‌های مختلف و انرژی مورد نیاز برای ساخت و حمل و نقل آن‌ها و نگهداری ماشین‌آلات محاسبه می‌گردد. همچنین پتانسیل تخلیه لایه ازن نیز تأثیر مواد انتشار یافته در از بین بردن لایه ازن را کمّی‌سازی می‌کند. علاوه‌براین، اشغال یا استفاده از زمین نیز به استفاده از زمین به‌عنوان یک منبع مربوط می‌شود که باعث می-

گردد، به‌طور موقت برای سایر مقاصد و حیات وحش غیر قابل دسترس شود، این استفاده به‌صورت کمّی است و کیفیت زمین در آن لحاظ نمی‌شود. اسیدی‌سازی به اثر مواد اسیدی در خاک و اوتریفیکاسیون نیز به اثر تلفات فسفر و نیتروژن اشاره داشته که به صورت معادل PO_4^{-} کمّی می‌شود (Pennington et al., 2004).

درگام نهایی ارزیابی چرخه حیات نیز نتایج مراحل صورت‌برداری و ارزیابی تأثیر، مورد تحلیل قرار می‌گیرد تا مراحل یا نقاط در مسیر تولید و مصرف محصول، که بیشترین اثرات سوء زیست‌محیطی را دارند، شناسایی شوند و نیز محصول و یا فرایند دارای حداقل اثرات سوء برای محیط‌زیست مشخص می‌گردد. در آخر، با تبیین نتیجه-گیری‌های مربوطه، توصیه‌های مورد نیاز به عمل می‌آید و گزارش LCA تهیه می‌گردد (ISO, 1997).

در این پژوهش، تمامی شاخص‌های انتشار آلاینده‌های زیست-محیطی با استفاده از مدل LCA در نرم‌افزار SimaPro برآورد و مقایسه شدند. نمودارها نیز با نرم‌افزار Excel ترسیم شده است.

جدول ۱- ضرایب و فاکتورهای انتشار ترکیب‌های نیتروژنه و فسفره موجود در کودهای شیمیایی و دامی (IPCC, 2006)

Table 1- Emission factors of nitrogen and phosphorus compounds of chemical fertilizers and FYM (IPCC, 2006)

انتشارات Emissions	واحد Unit	انتشار به Emission to	معادله Equation
مقدار انتشارات حاصل از مجموع کودهای شیمیایی و دامی Emissions from fertilizers and FYM	kg N_2O.kg^{-1} N	هوا Air	$N_2O=[0.01\times kg\ N_{Chemical\ fertilizers\ \&\ FYM}]\times\left(\frac{44}{28}\right)$
مقدار انتشارات ناشی از تجزیه اتمسفری حاصل از کودهای شیمیایی Indirect N_2O from atmospheric deposition of chemical fertilizers	kg N_2O.kg^{-1} N	هوا Air	$N_2O=[0.01\times 0.1\times kg\ N_{Chemical\ fertilizers}]\times\left(\frac{44}{28}\right)$
مقدار انتشارات ناشی از تجزیه اتمسفری حاصل از کودهای دامی Indirect N_2O from atmospheric deposition of FYM	kg N_2O.kg^{-1} N	هوا Air	$N_2O=[0.01\times 0.2\times kg\ N_{FYM}]\times\left(\frac{44}{28}\right)$
انتشارات مستقیم NO_x ناشی از خاک و کودها Direct NO_x emissions from fertilizers and soil	kg NO_x.kg^{-1} N_2O from fertilizers and soil	هوا Air	$NOx=[kg\ N_2O_{Chemical\ fertilizers\ \&\ Soil}]\times\left(\frac{21}{100}\right)$
انتشارات حاصل از کود دامی Emissions from FYM	kg NH_3.kg^{-1} N	هوا Air	$NH_3=[0.2\times kg\ N_{FYM}]\times\left(\frac{17}{14}\right)$
انتشارات حاصل از کود شیمیایی Emissions from chemical fertilizers	kg NH_3.kg^{-1} N	هوا Air	$NH_3=[0.1\times kg\ N_{Chemical\ fertilizers}]\times\left(\frac{17}{44}\right)$
انتشارات حاصل از کودهای شیمیایی و دامی Emissions from chemical fertilizers and FYM	kg NO_3.kg^{-1} N	آب Water	$NO_3^-=[0.3\times kg\ N_{Chemical\ fertilizers\ \&\ FYM}]\times\left(\frac{62}{14}\right)$
انتشارات حاصل از کودهای شیمیایی و دامی Emissions from chemical fertilizers and FYM	kg P.kg^{-1} P	آب Water	$P_2O_5=[0.05\times kg\ P_{Chemical\ fertilizers\ \&\ FYM}]\times\left(\frac{62}{142}\right)$

نتایج و بحث

در این پژوهش، ارزیابی چرخه حیات دو سامانه کشت مجدد و راتون از مرحله استخراج مواد اولیه تا برداشت آن به‌جهت بررسی‌های زیست‌محیطی تولید برنج انجام پذیرفت. میانگین مقادیر نهاده‌های مصرفی و نیز عملکرد شلتوک در هر هکتار از شالیزارهای منتخب در جدول ۳ ارائه شده است که در آن میانگین عملکرد سامانه‌های کشت مجدد و راتون به‌ترتیب ۴۲۰۰ و ۲۶۰۹ کیلوگرم در هکتار بوده است. علاوه‌براین، محاسبات به‌دست آمده از ارزیابی چرخه حیات با رویکرد استاندارد IMPACT 2002+ بر مبنای یک تن تولید شلتوک در

سامانه‌های کشت مجدد و راتون برنج در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۲- تعریف نقاط میانی و روابط بین آن‌ها با نقاط پایانی در روش +IMPACT 2002

Table 2- Explanation of midpoints and their relationship with endpoints in IMPACT 2002+ method of LCA

نقاط میانی (گروه‌های اثر) Midpoints	واحد Unit	شاخص اثر Impact indicator	گروه آسیب Damage category
مواد سرطان‌زا Carcinogens	kg C_2H_3Cl eq.	سرطان، بیماری‌های تنفسی Cancer, respiratory diseases	سلامت انسان Human health
مواد غیرسرطان‌زا Non-carcinogens	kg $C2H_3Cl$ eq.	سرطان، بیماری‌های تنفسی Cancer, respiratory diseases	سلامت انسان Human health
مواد تنفسی غیرآلی Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq.	افزایش اندازه ذرات معلق در هوا Increase in different sized particles suspended in air (PM10, PM2.5, PM0.1)	سلامت انسان Human health
تشعشعات یونیزه کننده Ionizing radiation	Bq C-14 eq.	اثرات تشعشع (کاهش سلامت، سرطان، بیماری) Effects of the radiation (health decline, cancer, illnesses, etc.)	سلامت انسان Human health
تخلیه لایه ازن Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	افزایش تشعشعات ماورا بنفش و بیماری سرطان پوست Increase of ultraviolet UV-B radiation and the number of cases of skin illnesses	سلامت انسان/کیفیت اکوسیستم Human health/ Ecosystem quality
مواد تنفسی آلی Respiratory organics	kg C_2H_4 eq.	افزایش مه دود Increase in the summer smog	سلامت انسان/کیفیت اکوسیستم Human health/ Ecosystem quality
سمیت آبی Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	کاهش تنوع زیستی و یا انقراض گونه‌ها Biodiversity loss and/or extinction of species	کیفیت اکوسیستم Ecosystem quality
سمیت خاکی Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	کاهش تنوع زیستی و یا انقراض گونه‌ها Biodiversity loss and/or extinction of species	کیفیت اکوسیستم Ecosystem quality
اسیدی‌سازی خاکی Terrestrial acid/nutria	kg SO_2 eq.	Increase of the acidity in soil systems	کیفیت اکوسیستم Ecosystem quality
اشغال زمین Land occupation	$m_2$org.arable	فقدان گونه‌ها، کاهش کیفیت خاک و مواد آلی خاک Species loss, soil loss, amount of organic dry matter content, etc.	کیفیت اکوسیستم Ecosystem quality
اسیدی‌سازی آبی Aquatic acidification	kg SO_2 eq.	افزایش مواد اسیدی در آب Increase of the acidity in water	کیفیت اکوسیستم Ecosystem quality
اوتریفیکاسیون Aquatic eutrophication	kg phosphate P-lim	افزایش غلظت نیتروژن و فسفر در زیست توده (جلبک) Increase of nitrogen and phosphorus concentrations formation of biomass (e.g., algae)	کیفیت اکوسیستم Ecosystem quality
پتانسیل گرمایش جهانی Global warming	kg CO_2 eq.	تغییر درجه حرارت و پدیده تغییر اقلیم Disturbances in global temperature and climatic phenomenon	تغییر اقلیم Climate change
انرژی تجدیدناپذیر Non-renewable energy	MJ primary	کاهش منابع Decrease of resources	منابع Resources
تخلیه مواد معدنی Mineral extraction	MJ surplus	کاهش منابع Decrease of resources	منابع Resources

جدول ۳- میانگین مقادیر نهاده‌های مورد استفاده و عملکرد در دو سامانه مختلف تولید شلتوک

Table 3- Input usage and Yield mean of two different paddy systems

سامانه‌های برنج **Rice systems**	بذر **Seed (kg)**	نایلون **Nylon (kg)**	نیتروژن **N (kg N)**	فسفر **P (kg P_2O_5)**	پتاسیم **K (kg K_2O)**	سموم **Pesticide (kg)**	روغن **Oil (kg)**	دیزل **Diesel (kg)**	عملکرد **Yield**
کشت مجدد Rice second cropping	77.26	8.93	293.07	115.79	110.89	23.10	1.24	161.61	4200
راتون Ratoon cropping	-	-	165.88	-	-	13.56	0.60	102.86	2609

جدول ٤- شاخص‌های ارزیابی چرخه‌ی حیات در بوم‌نظام‌های تولید برنج (کشت مجدد و راتون) با رویکرد + IMPACT 2002

Table 4- Impact categories of life cycle assessment in the rice second and ratoon cropping systems based upon IMPACT 2002+

نقاط میانی (گروه‌های اثر) **Midpoints**	واحد **Unit**	کشت مجدد **Second cropping**	راتون **Ratoon cropping**
مواد سرطان‌زا Carcinogens	kg C_2H_3Cl eq.	15.13798	16.85573
مواد غیرسرطان‌زا Non-carcinogens	kg $C2H_3Cl$ eq.	353.7397	126.2992
مواد تنفسی غیرآلی Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq.	2.844396	3.668581
تشعشعات یونیزه کننده Ionizing radiation	Bq C-14 eq.	9467.609	12438.35
تخلیه لایه ازن Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq.	0.000201	0.000195
مواد تنفسی آلی Respiratory organics	kg C_2H_4 eq.	0.564458	0.274459
سمیت آبی Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	6304765	6183495
سمیت خاکی Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	1195652	819852.9
اسیدی‌سازی خاکی Terrestrial acid/nutria	kg SO_2 eq.	110.2985	140.3193
اشغال زمین Land occupation	$m_2$org.arable	183.7228	188.2601
اسیدی‌سازی آبی Aquatic acidification	kg SO_2 eq.	16.27214	20.61563
اوتریفیکاسیون Aquatic eutrophication	kg phosphate P-lim	1.237713	0.467854
پتانسیل گرمایش جهانی Global warming	kg CO_2 eq.	1896.923	1673.995
انرژی تجدیدناپذیر Non-renewable energy	MJ primary	10740.49	13422.03
تخلیه مواد معدنی Mineral extraction	MJ surplus	87.66822	154.1945

با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر، در سامانه‌های کشت مجدد و راتون برنج به‌ترتیب در حدود ۱۸۹۶/۹۲ و ۱۶۷۳/۹۹ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن به‌ازای تولید هر تن شلتوک به اتمسفر انتشار می‌یابد. لذا، مقدار پتانسیل گرمایش به‌ازای هر تن شلتوک به‌دست آمده در نظام‌های کشت مجدد برنج بیشتر از مقدار آن در نظام‌های راتون برنج بود.مقادیر شاخص سمیت آبی برای تولید برنج در سامانه‌های کشت مجدد و راتون به‌ترتیب ۶۳۰۴۷۶۵ و ۶۱۸۳۴۹۵ کیلوگرم معادل تری اتیلن گلیکول به‌ازای تولید هر تن شلتوک است، همچنین این میزان برای شاخص سمیت خاکی نیز در دو سامانه به‌ترتیب ۱۱۹۵۶۵۲و ۸۱۹۸۵۲ کیلوگرم معادل تری اتیلن گلیکول به‌ازای تولید هر تن شلتوک بوده است. فیروزی و همکاران (Firouzi et al., 2018) نیز با بررسی سامانه کشت اصلی و راتون برنج با رویکرد ارزیابی چرخه حیات در شمال ایران اذعان داشتند، انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ترتیب در سامانه‌های راتون و کشت اصلی برنج در حدود ۱۴۵۱/۷ و ۲۴۲۶/۲ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن بوده است. در پژوهشی دیگر نیز شاخص پتانسیل گرمایش جهانی برای هر تن برنج بین ۹۳۳ تا ۱۸۴۰ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن برآورد شد (Fangueiro et al., 2017).

دستان و همکاران (Dastan et al., 2016) نیز در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که سامانه‌های کاشت رایج (سنتی) منطقه و سامانه‌های کاشت فشرده برنج (System of Rice Intensification) به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر پتانسیل گرمایش جهانی در واحد انرژی خروجی را داشتند. در این پژوهش، متوسط پتانسیل گرمایش جهانی در سه سامانه کاشت فشرده، بهبود یافته و رایج (سنتی) مزارع برنج برابر با ۲۸۰۳/۲ کیلوگرم معادل دی-اکسیدکربن در هکتار بود. همچنین یودخوم و همکاران (Yodkhum et al., 2017) در مزارع برنج واقع در شمال کشور تایلند، مقدار پتانسیل گرمایش جهانی حاصل از تولید یک تن برنج در حدود ۵۸۰ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن گزارش کردند. در پژوهشی دیگر، مقدار شاخص پتانسیل گرمایش جهانی برای تولید هر تن برنج سفید در حدود ۲۵۲۰ تا ۲۶۶۰ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن حاصل گردید (Beccali et al., 2009). در پژوهشی در کشور چین، مقدار شاخص اسیدی‌سازی در تولید هر تن شلتوک در حدود ۵۲/۲۶ کیلوگرم معادل دی اکسید سولفور برآورد شد (He et al., 2018).

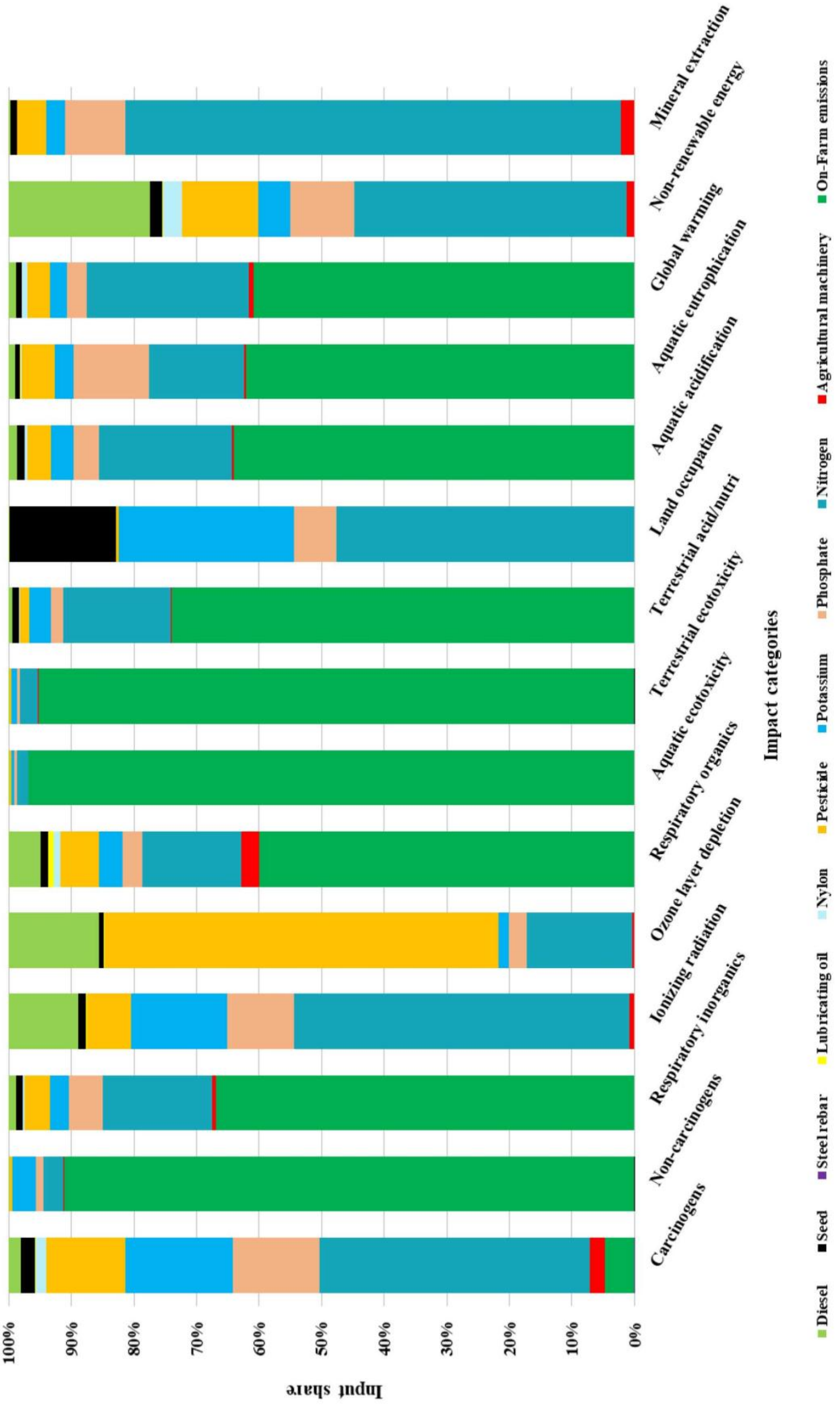
سهم هر کدام از نهاده‌ها در میزان هر یک از گروه‌های تأثیر مورد مطالعه در روش IMPACT 2002+ به‌ترتیب در سامانه‌های کاشت مجدد و راتون برنج در اشکال ۲ و ۳ نشان داده شد. به‌طور مشخص، در سامانه کشت مجدد برنج، فعالیت‌های درون مزرعه در نه گروه اثر مواد غیرسرطان‌زا، مواد تنفسی غیرآلی، مواد تنفسی آلی، سمیت آبی، اسیدی‌سازی خاکی، سمیت خاکی، اسیدی‌سازی آبی، اوتریفیکاسیون و پتانسیل گرمایش جهانی بیشترین تأثیر را داشتند. این در حالی است که فعالیت‌های درون مزرعه در سامانه راتون برنج تنها در شش گروه اثر (مواد غیر سرطان‌زا، مواد تنفسی غیرآلی، سمیت آبی، اسیدی‌سازی خاکی، سمیت خاکی و اسیدی‌سازی آبی) بالاترین میزان را به خود اختصاص دادند. منشأ این نوع از آلایندگی‌ها سوخت مصرفی و احتراق سوخت در ماشین‌آلات کشاورزی به همراه واکنش‌های ناشی از کودهای شیمیایی و انتشارات ترکیبات نیتروژن‌دار ناشی از مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه می‌باشند.

در این راستا، در پژوهش شن و همکاران (Shen et al., 2021) جهت ارزیابی زیست‌محیطی چرخه حیات تولید برنج راتون در ۵۶۱ مزرعه استان هوبئی چین، انتشار متان، مصرف سوخت دیزل برای ماشین‌آلات و کودها و سموم شیمیایی مهم‌ترین نقاط بحرانی برای این سامانه تولید برنج شناسایی شدند. همچنین بر اساس اطلاعات مزرعه‌ای جمع‌آوری شده در این تحقیق، تولید هر تن برنج در این سامانه کشت کارآیی زیست‌محیطی بهتری در مقایسه با سامانه کشت اصلی داشت. در مجموع، نتیجه این مطالعه مؤید این نکته کلیدی است که سامانه تولید برنج راتون می‌تواند عملکردی را که با تغییر از سامانه کشت مجدد به تک محصولی کاهش یابد را با حداقل اثرات زیست‌محیطی جبران کند و گزینه جایگزین مناسبی برای افزایش کارآیی با حداقل خسارت زیست‌محیطی باشد.

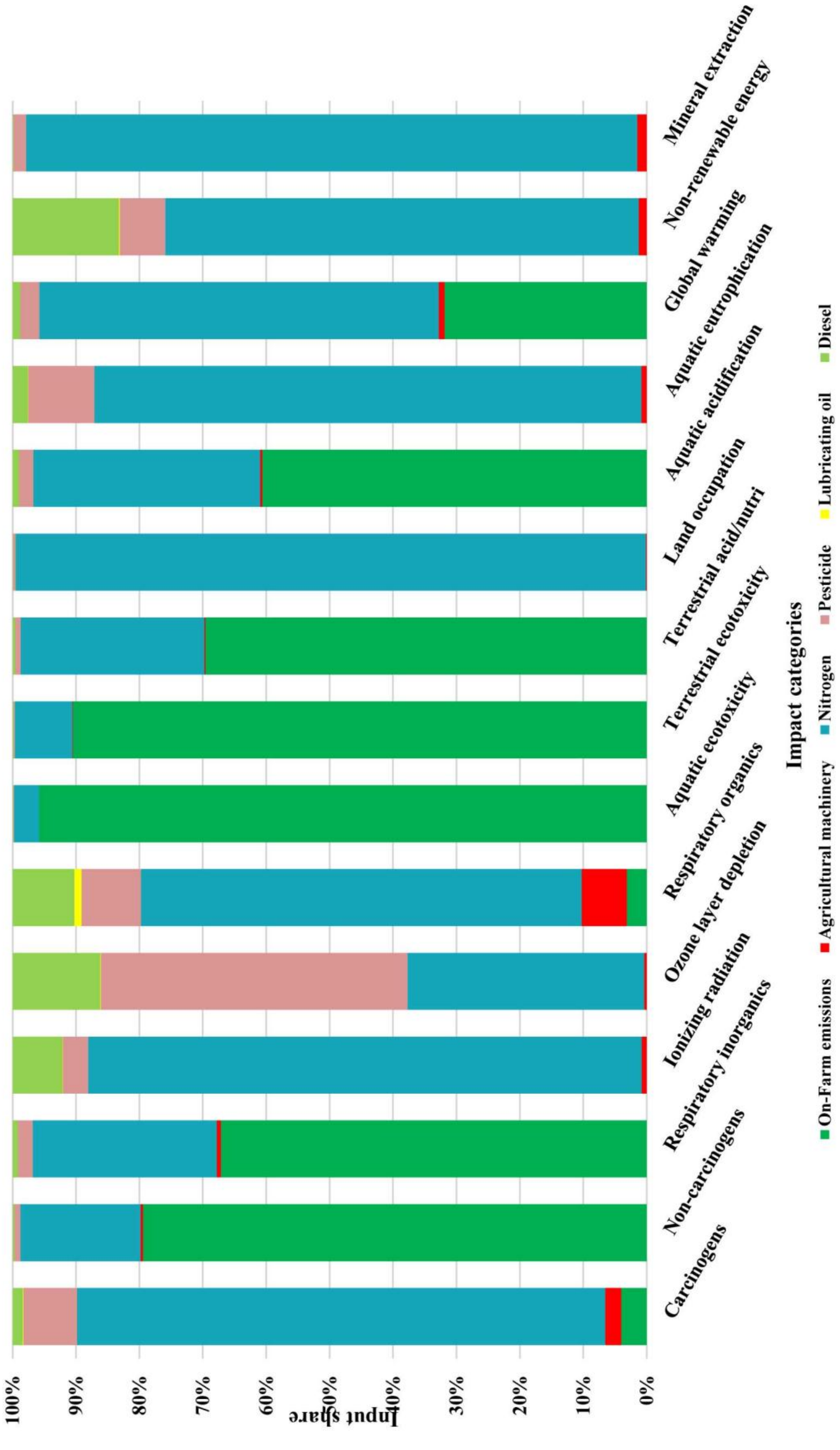
جدول ۵ گروه‌های مختلف آسیب‌های زیست‌محیطی را در سامانه‌های مختلف تولید برنج در چهار گروه متفاوت نشان می‌دهد. بر این اساس، مقادیر گروه سلامت انسان در دو سامانه کشت مجدد و راتون به‌ترتیب ۰/۰۰۳۰ و ۰/۰۰۲۹ DALY می‌باشد. همچنین مقادیر خسارات کیفیت اکوسیستم نیز در این سامانه‌ها به‌ترتیب در حدود ۱۰۰۸۹/۰۸ و ۷۱۴۶/۵۸ $PDF\times m^2\times yr$ بود. از سویی، مقدار خسارات منابع و نیز خسارات تغییر اقلیم نیز در سامانه کشت مجدد ۱۰۸۲۸/۱۶ MJprimary و ۱۸۹۶/۹۲ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن و در حدود ۱۳۵۷۶/۲۲ MJprimary و ۱۶۷۳/۹۹ کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن برای سامانه راتون به‌دست آمد.

شکل ۲- سهم هر یک از نهاده‌های مصرفی در انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی در سامانه‌های کشت مجدد برنج

Fig. 2- Proportion of each input and emissions in the environmental pollutants of the rice second cropping systems



شکل ۳- سهم هر یک از نهاده‌های مصرفی در انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی در سامانه‌های راتون برنج
Fig. 3- Proportion of each input and emissions in the environmental pollutants of ratoon cropping systems



جدول ۵- نتایج دسته خسارات زیست‌محیطی بر مبنای یک تن تولید شلتوک در سامانه‌های مختلف تولید شلتوک

Table 5- Results of damage categories in two paddy systems based on per ton of paddy

دسته خسارات Damage categories	واحد Unit	کشت مجدد Second cropping	راتون Ratoon cropping
سلامت انسان Human health	DALY	0.003027	0.002972
کیفیت اکوسیستم Ecosystem quality	PDF×m²×yr	10089.08	7146.583
تغییر اقلیم Climate change	kg CO_2 eq.	1896.923	1673.995
منابع Resources	MJ primary	10828.16	13576.22

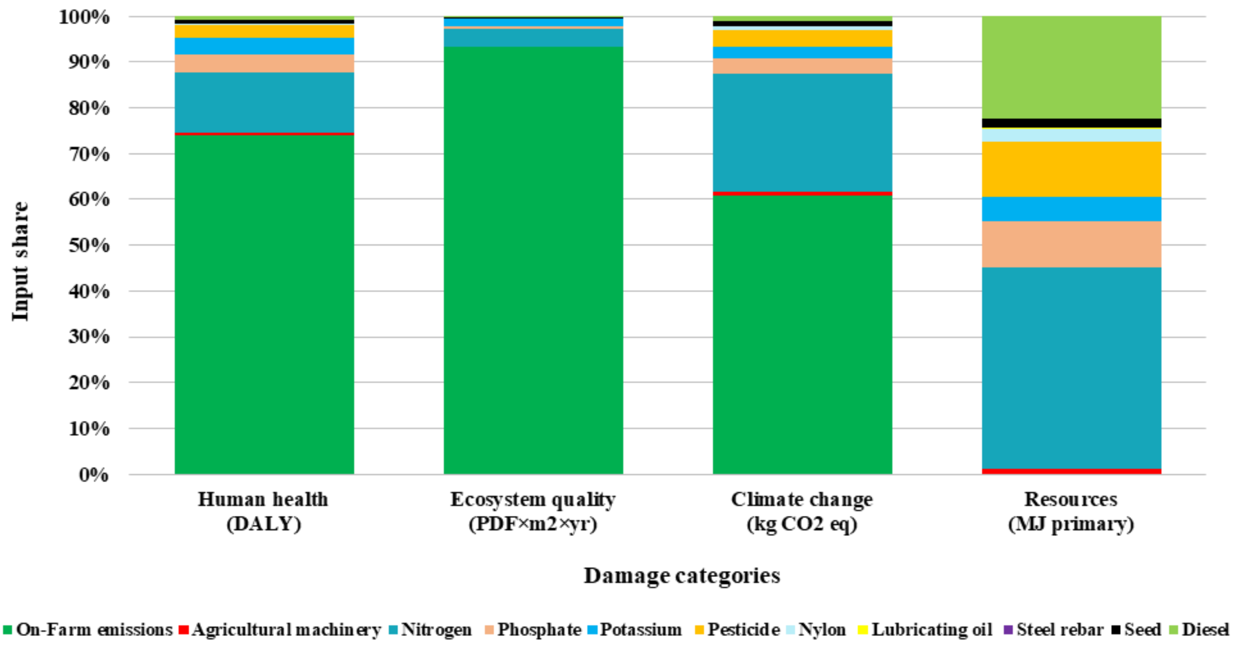
شکل‌های ۴ و ۵ به‌ترتیب تأثیر هر یک از نهاده‌های مصرفی را در سامانه‌های کشت دوم و راتون در دسته‌های خسارات سلامت انسان، کیفیت اکوسیستم، تغییر اقلیم و منابع نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در مورد گروه آسیب منابع، کود شیمیایی نیتروژن بالاترین سهم را در سامانه‌های کشت دوم و راتون (۴۳/۸۵ و ۷۴/۸۹ درصد) و بعد از آن دیزل (۲۲/۳۷ و ۱۶/۵۴ درصد) داشته است. بدین ترتیب، در سامانه‌های راتون برنج که در آن کاربرد کودهای شیمیایی بالاتر است، سهم کود شیمیایی در گروه آسیب منابع افزایش می‌یابد.

همچنین، انتشارات مستقیم درون‌مزرعه‌ای نقش اساسی در دسته‌های خسارت سلامت انسان و کیفیت اکوسیستم در هر دو سامانه زراعی داشته است. در این راستا، در سامانه کشت دوم در دسته خسارت سلامت انسان انشارات درون مزرعه‌ای در حدود ۷۳/۹۷ درصد و کود نیتروژن در حدود ۱۳/۱۹ درصد، در گروه آسیب کیفیت اکوسیستم نیز انتشارات درون مزرعه‌ای در حدود ۹۳/۲۹ درصد و در گروه آسیب تغییرات اقلیم نیز انتشارات درون مزرعه‌ای با ۶۰/۹۵ و کود نیتروژنه نیز با حدود ۲۵/۹۶ درصد بالاترین سهم را به خود اختصاص دادند. انتشارات درون مزرعه در سامانه راتون نیز در دسته خسارات سلامت انسان و کیفیت اکوسیستم به‌ترتیب در حدود ۶۷/۵۶ و ۸۷/۷۱ درصد بود، این در حالی است که در دسته خسارت تغییرات اقلیم بالاترین سهم در این سامانه‌ها مربوط به کودهای نیتروژنه با سهم ۶۳ درصد بوده است. انتشارات مستقیم درون‌مزرعه‌ای معمولاً در نتیجه احتراق دیزل و به‌کارگیری کودهای شیمیایی و سموم در شالیزارها هستند. انتشارات مستقیم ناشی از فعالیت‌های درون مزرعه‌ای در هر دو سامانه است که منشأ این آلایندگی‌ها را می‌توان در احتراق سوخت مصرفی در تجهیزات کشاورزی و نیز انتشار اکسیدهای نیتروژن‌دار، دی اکسید نیتروژن و دیگر ترکیبات نیتروژن‌دار حاصل از مصرف کود نیتروژن دانست. به‌طور مشابهی، هوکوزانو و هایاشی (Hokazono & Hayashi, 2012) گزارش دادند که انتشارات مستقیم از مهم‌ترین مشارکت‌کننده‌ها در اثرات زیست محیطی در سامانه‌های تولید برنج به‌شمار می‌روند. علاوه‌براین، آلام و همکاران (Alam et al., 2019) نیز خاطر نشان کردند، سهم نسبی انتشارات درون‌مزرعه‌ای در حدود ۶۷ درصد انتشارات گازهای گلخانه‌ای بوده است؛ نتایج آن‌ها با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد. در مورد گروه آسیب منابع، کودهای شیمیایی نیتروژنه بالاترین سهم را در هر دو سامانه به خود اختصاص داده است، چرا که تولید کودهای شیمیایی در کارخانه‌ها، مقادیر فراوانی از منابع را مصرف می‌کنند. نتایج مشابه دیگری در مورد گیاهان مختلف نیز بیانگر این واقعیت است که کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژنه و سوخت دیزل بالاترین سهم را در انتشارات گازهای گلخانه‌ای داشته‌اند (Lu et al., 2018; Moradi et al., 2018).

شکل‌های ۶ و ۷ مقادیر و شاخص‌های وزن‌دهی‌شده کل انتشارات را در سامانه‌های مختلف مورد بررسی به نمایش می‌گذارند. بر اساس این نتایج، در رده‌های آسیب سلامت انسان، کیفیت اکوسیستم و تغییر اقلیم در هر سامانه کشت مجدد در این پژوهش، انتشارات درون‌مزرعه‌ای دارای بالاترین میزان اثر در این رده‌های یاد شده محسوب می‌شوند و در سامانه راتون فعالیت درون‌مزرعه‌ای در شاخص‌های سلامت انسان و کیفیت اکوسیستم و نیز نیتروژن بالاترین سهم را در رده آسیب تغییرات اقلیم داشته است. در پژوهشی در شالیزارهای شمال ایران، بالاترین میزان اثر سامانه‌های مختلف تولید برنج به سلامت انسان و پس از آن به کیفیت اکوسیستم تعلق داشت (Saber et al., 2020).

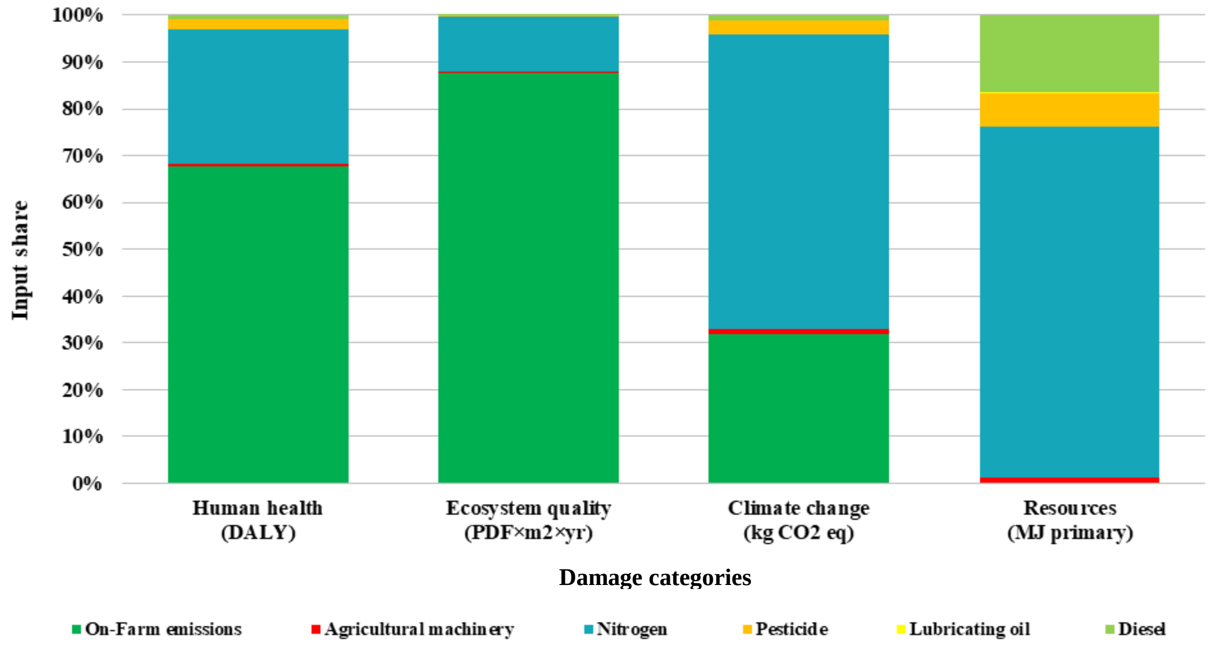
شکل ٤- سهم هر یک از نهاده‌های مصرفی و تأثیر آن‌ها در دسته خسارات در سامانه کشت مجدد برنج

Fig. 4- Proportion of each input and emissions in damage categories of the rice second cropping system



شکل ٥- سهم هر یک از نهاده‌های مصرفی و تأثیر آن‌ها در دسته خسارات در سامانه راتون برنج

Fig. 5- Proportion of each input and emissions in damage categories of the rice ratoon cropping system



علاوه‌براین، این نتایج حکایت از ایـن حقیقـت دارنـد کـه در رده آسیب منابع نیز در هر دو سامانه مورد بررسی (شکل‌های ۶ و ۷)، کود شیمیایی نیتروژنه، به‌ویژه در سامانه‌های تولید راتون بـالاترین مقـدار انتشارات را به خود اختصاص داده است که دلیل این افزایش را مـی-

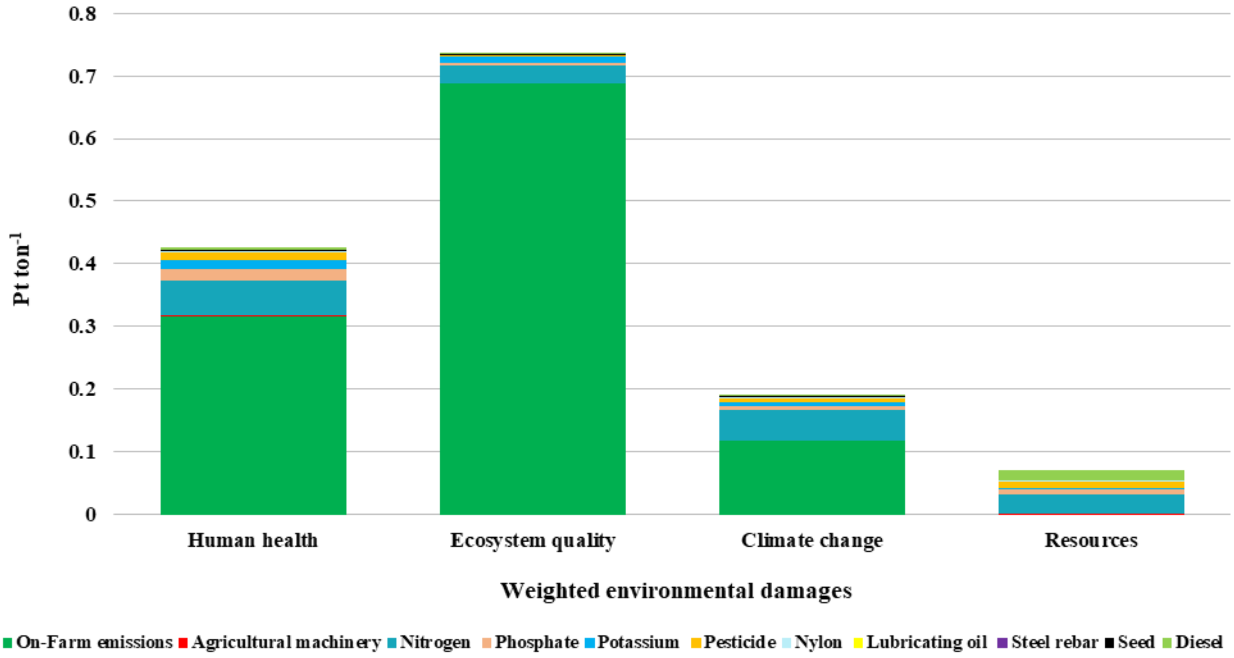
توان مصرف بسیار زیاد کودهای شیمیایی نیتروژنه در سامانه‌های تولید راتون دانست. همچنین، نتایج وزن‌دهی حکایت از آن دارند که هر دو سامانه تولید بیشترین تأثیر مخرب را به کیفیت اکوسیستم و پس از آن به سلامت انسان و تغییرات اقلیم از خود نشان می‌دهند. از جمله دلایل عمده انتشارات گازهای گلخانه‌ای در سامانه‌های کشاورزی را می‌توان به مصارف بیش از حد سوخت در تجهیزات کشاورزی در مراحل کاشت، داشت و برداشت و نیز مصارف بیش از اندازه کودهای شیمیایی نسبت داد. در این راستا، برن‌تروپ و همکاران (Brentrup et al., 2004b) بیان داشتند در حدود ۶۰ درصد از کل انتشار دی‌اکسیدکربن به‌طور مستقیم به فرایند تولید کودهای شیمیایی نیتروژنه وابسته است. در بررسی چرخه حیات انتشار گازهای گلخانه‌ای در سیستم تولیدی نسبتاً فشرده برنج در کالیفرنیا، انتشارات داخل مزرعه با ۶۹ درصد بیش‌ترین سهم را داشت. این پژوهشگران به‌منظور کاهش انتشارات چرخه حیات این محصول، افزایش بازده سوخت مصرفی یا کاهش استفاده از ماشین‌آلات مزرعه و بهینه‌سازی مصرف کود نیتروژن را پیشنهاد نمودند (Brodt et al., 2014).

علاوه‌براین، در مطالعه دیگری برای ارزیابی زیست‌محیطی چرخه حیات برنج تولیدی در مزارع جوانجیاو چین هم مصرف نهاده‌های کود شیمیایی، دیزل و الکتریسیته مهم‌ترین نقاط داغ زیست‌محیطی در تولید این محصول بودند (Chen et al., 2021). در پژوهشی در شالیزارهای شمال ایران، بالاترین میزان اثر سامانه‌های مختلف تولید برنج به سلامت انسان و پس از آن به کیفیت اکوسیستم تعلق داشت (Saber et al., 2020).

در مقام مقایسه دو سامانه مورد نظر با یکدیگر، همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده است، کشت مجدد برنج در سه رده آسیب سلامت انسان، کیفیت اکوسیستم و تغییر اقلیم نسبت به کشت راتون تأثیر بیشتری داشته است، این درحالی است که در رده آسیب منابع سامانه راتون نسبت به کشت دوم از میزان اثرگذاری بیشتری برخوردار بوده است. به‌طور مشابه، نتایج بررسی میدانی از ۲۴۰ مزرعه برنج در مرکز چین نشان داد که سامانه کشت راتون می‌تواند گزینه مناسبی از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی برای بهره‌برداران برنج باشد (Yuan et al., 2019).

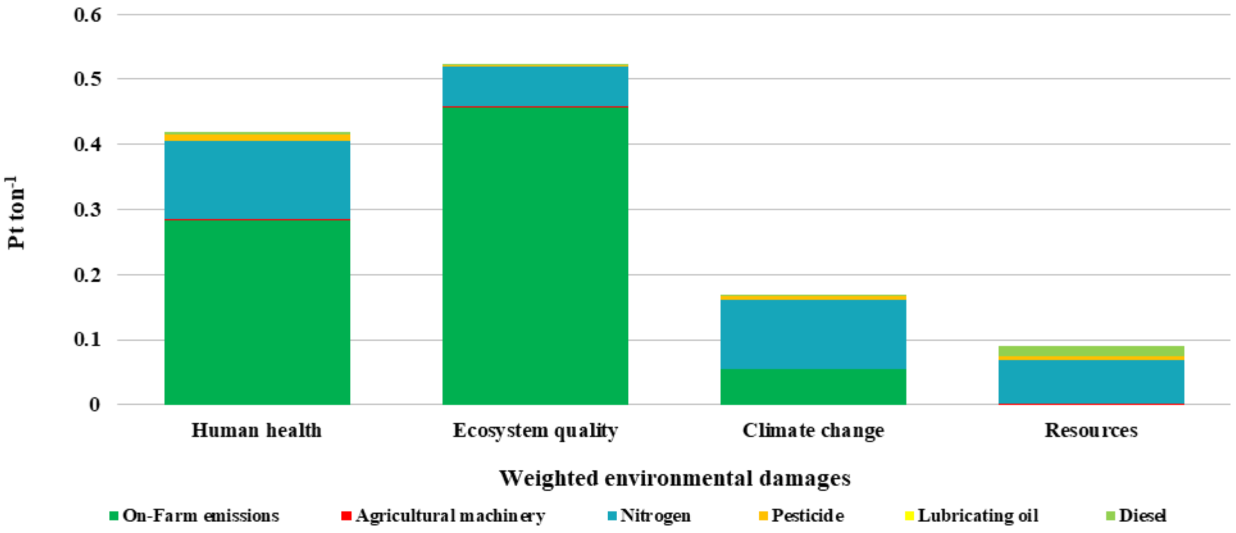
شکل ٦- مقادیر انتشارات وزن‌دهی‌شده هر یک از رده‌های آسیب در سامانه کشت مجدد برنج

Fig. 6- Proportion of weighting emissions in damage categories of the rice second cropping system



شکل ۷- مقادیر انتشارات وزن‌دهی‌شده هر یک از رده‌های آسیب در سامانه راتون برنج

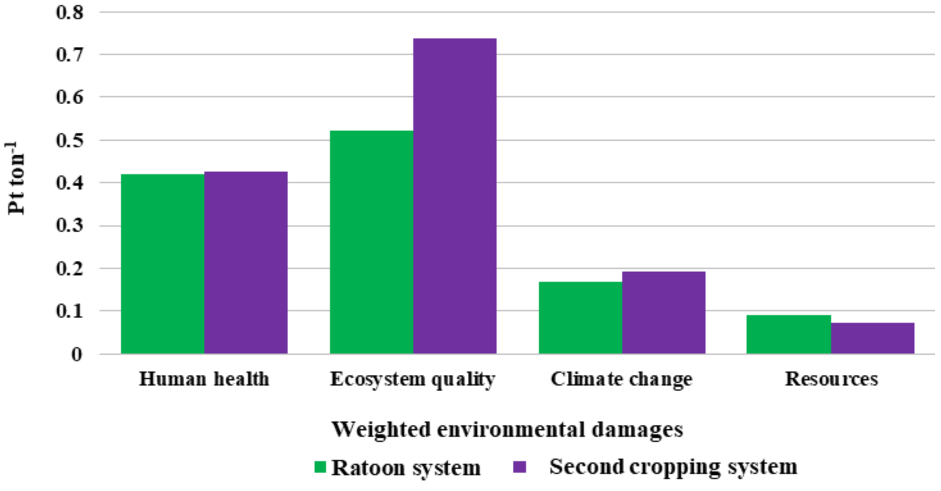
Fig. 7- Proportion of weighting emissions in damage categories of the rice ratoon cropping system



نتایج آزمایش میدانی دیگری جهت اندازه‌گیری انتشار متان (CH_4) در اولین فصل برداشت و راتون مزرعه برنجی در لوئیزیانا آمریکا نشان داد که میزان انتشار این آلاینده اتمسفری در طی ۷۳ روز از رشد محصول راتون تحت تیمار کود اوره با مقدار انتشاری معادل ۵۲۰ کیلوگرم در هکتار بیش‌تر از میزان انتشار ۳۴۰ کیلوگرم در هکتار در طی ۷۷ روز از رشد محصول اصلی بود (Lindau & Bollich, 1993). همچنین، در پژوهشی دیگر با بررسی تولید برنج راتون در کشور چین پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که تولید برنج راتون می‌تواند یک گزینه جایگزین مطلوب به‌منظور افزایش بهره‌وری با حداقل تأثیرات محیطی در تولید باشد (Shen et al., 2021).

شکل ۸- مقایسه انتشارات وزن‌دهی‌شده هر یک از رده‌های آسیب در سامانه‌های کشت مجدد و راتون برنج

Fig. 8- Comparison of weighting emissions in damage categories of the rice second cropping and rice ratoon systems



علاوه‌براین، در مطالعه‌ای با بررسی شاخص‌های زیست‌محیطی در سناریوهای مختلف تولید برنج از جمله کشت اول- راتون، کشت اول- کشت مجدد و کشت کلزا- کشت برنج، پژوهشگران نشان دادند که کشت برنج در سناریو کشت اول- کشت مجدد و سناریو بعد از برداشت کلز آثار مخرب زیست‌محیطی بالایی از منظر ردپای آب و تخلیه منابع داشته‌اند. این پژوهشگران اذعان داشتند که سناریو کشت اول- راتون در کنار تولید محصول مناسب برای کشاورزان، دارای اثرات زیست‌محیطی پایین‌تری نسبت به دو سناریوی دیگر بوده است (Motevaliet al., 2019). در این راستا، سامانه تولید برنج راتون به‌عنوان روشی سبز و کارآمد از نظر منابع برای تولید برنج شناخته

شده که با مدیریت مناسب زراعی می‌تواند ضمن بهبود کیفیت دانه و تولید عملکردی معادل ۶۰ درصد محصول اصلی سبب افزایش سود برای زارعین و کاهش نیروی کار، منابع و انتشار گازهای گلخانه‌ای گردد (Wang et al., 2020).

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به بررسی مؤلفه‌های زیست‌محیطی سامانه‌های کشت مجدد و راتون برنج پرداخته است. یافته‌های حاصل از این پژوهش حاکی از آن است که بیشترین مقادیر گروه تأثیر زیست-محیطی پتانسیل گرمایش جهانی به سامانه‌های کشت مجدد برنج متعلق بود که این میزان به مصرف فشرده نهاده‌ها و مدیریت خاک-ورزی و مصرف سوخت‌های فسیلی در این سامانه‌ها مرتبط می‌باشد. در این راستا، مقادیر خسارات زیست‌محیطی بر مبنای یک تن تولید شلتوک در سامانه‌های تولید راتون برنج نسبت به سامانه‌های کشت مجدد اثرات کمتری را در رده‌های آسیب کیفیت اکوسیستم‌ها، سلامت انسان و تغییر اقلیم از خود نشان داد. همچنین، در سامانه‌های کشت مجدد و راتون فعالیت‌های درون‌مزرعه‌ای به‌ترتیب در نه و شش گروه اثر نقشی اساسی داشتند. در مجموع، با توجه به یافته‌های این پژوهش و تبعات منفی زیست‌محیطی حاصل از نظام‌های کشت مجدد تولید برنج، سامانه تولید برنج راتون می‌تواند اثرات زیست‌محیطی را نسبت به سامانه کشت مجدد کاهش دهد و گزینه جایگزین مناسبی برای به حداقل رساندن خسارات زیست‌محیطی باشد.

سپاسگزاری

اعتبار این پژوهش از محل پژوهه طرح شماره ۱۶۶۹۰/۹۹/۱۱۰/د مصوب ۱۳۹۹/۰۶/۱۱ از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری تأمین شده است که به‌این‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

References

1. Alam, M.K., Bell, R.W., & Biswas, W.K. (2019). Increases in soil sequestered carbon under conservation agriculture cropping decrease the estimated greenhouse gas emissions of wetland rice using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, *224*, 72-87. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.215
2. Alipour, A., Veisi, H., Darijani, F., Mirbagheri, B., & Behbahani, A.G. (2012). Study and determination of energy consumption to produce conventional rice of the Guilan province. *Research in Agricultural Engineering*, *58*, 99-106. https://doi.org/10.17221/8/2011-RAE
3. Ansari, M.J., Khoramdel, S., Ghorbani, R., & Pirdashti, H. (2015). Evaluationof global warming potential for rice in the first and second cropping patterns (Case study: Sari province). *Journal of Agroecology*, *3(1)*, 14-26. (In Persian with English Summary)
4. Armanuos, A.M., Negm, A., & El Tahan, A.H.M.H. (2016). Life cycle assessment of diesel fuel and solar pumps in operation stage for rice cultivation in Tanta, Nile Delta, Egypt. *Procedia Technology*, *22*, 478-485. https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.01.095Get rights and content
5. Bare, J.C. (2002). TRACI: The tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts. *Journal of Industrial Ecology*, *6(3- 4)*, 49-78. https://doi.org/10.1162/108819802766269539
6. Beccali, M., Cellura, M., Iudicello, M., & Mistretta, M. (2009). Resource consumption and environmental impacts of the agrofood sector: Life cycle assessment of Italian citrus-based products. *Environmental Management*, *43(4)*, 707-724. DOI 10.1007/s00267-008-9251-y
7. Bellarby, J., Foereid, B., Hastings, A., & Smith, P. (2008). Cool Farming: Campaigning for Sustainable Agriculture. Greenpeace International Ottho. https://www.organicconsumers.org/sites/default/files/cool-farming-full-report.pdf (Accessed 22 December 2015).
8. Blengini, G.A., & Busto, M. (2009). The life cycle of rice: LCA alternative agri-food chain management systems in Vercelli (Italy). *Journal of Environmental Management*, *90(3)*, 1512-1522. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.10.006
9. Brentrup, F., Küsters, J., Kuhlmann, H., & Lammel, J. (2004a). Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. *European Journal of Agronomy*, *20(3)*, 247-264.
10. Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Barraclough, P., & Kuhlmann, H. (2004b). Environmental impact

assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology: II. The application to N fertilizer uses in winter wheat production systems. *European Journal of Agronomy*, *20(3),* 265-279.

11. Brodt, S., Kendall, A., Mohammadi, Y., Arslan, A., Yuan, J., Lee, I., & Linquist, B. (2014). Life cycle greenhouse gas emissions in California rice production. *Field Crops Research, 169,* 89-98. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.09.007
12. Chabra, D., Kashani Nezhad, M., & Rafiee, S.H. (2006). Comparison of the contents of waste in different drying rice. Proceedings of the First National Conference on Rice 5-4 December, Amol, Iran. (In Persian).
13. Chen, Y., Liu, C., Chen, J., Hu, N., & Zhu, L. (2021). Evaluation on environmental consequences and sustainability of three rice-based rotation systems in Quanjiao, China by an integrated analysis of life cycle, emergy and economic assessment. *Journal of Cleaner Production*, *310,* 127493. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127493
14. Dai, L., Jia, J., Yu, D., Lewis, B.J., Zhou, L., Zhou, W., Zhao, W., & Jiang, L. (2013). Effects of climate change on biomass carbon sequestration in old-growth forest ecosystems on Changbai Mountain in Northeast China. *Forest Ecology and Management*, *300,*106-116. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.06.046
15. Dastan, S., Soltani, A., Noormohamadi, G., Madani, H., & Yadi, R. (2016). Estimation of the carbon footprint and global warming potential in rice production systems. *Iranian Journal of Crop Science*, *14(1),* 19-28. (In Persian with English Summary).
16. Durlinger, B., Koukouna, E., Broekema, R., & Van Paassen, M. (2015). Scholten. Agri-foot- print 3.0. Blonk Consultans, Gouda, The Netherlands.
17. Fangueiro, D., Becerra, D., Albarrán, Á., Peña, D., Sanchez-Llerena, J., Rato-Nunes, J.M., & López-Piñeiro, A. (2017). Effect of tillage and water management on GHG emissions from Mediterranean rice growing ecosystems. *Atmospheric Environment*, *150,* 303-312. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.11.020
18. Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R.B.H., Christiansen, K., & Klüppel, H.J. (2006). The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. *International Journal of Life Cycle Assessment*, *11(2),* 80-85.
19. Firouzi, S., Nikkhah, A., & Aminpanah, H. (2018). Rice single cropping or ratooning agro-system: Which one is more environment-friendly. *Environmental Science and Pollution Research*, *25(32),* 32246-32256. (In Persian with English Summary)
20. Fu, L., Zhao, Y., Xu, Z., & Wu, B. (2015). Spatial and temporal dynamics of forest aboveground carbon stocks in response to climate and environmental changes, *Soils Sediments*, *15(2),* 249-259. DOI 10.1007/s11368-014-1050-x
21. Guinée, J.B., & Lindeijer, E. (2002). Handbook on life cycle assessment: Operational guide to the ISO standards (Vol. 7). Springer Science and Business Media.
22. He, X., Qiao, Y., Liang, L., Knudsen, M.T., & Martin, F. (2018). Environmental life cycle assessment of long-term organic rice production in subtropical China. *Journal of Cleaner Production*, *176,* 880-888. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.045
23. Hokazono, S., & Hayashi, K. (2012). Variability in environmental impacts during conversion from conventional to organic farming: A comparison among three rice production systems in Japan. *Journal of Cleaner Production*, *28*, 101-112. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.12.005
24. Hokazono, S., & Hayashi, K. (2015). Life cycle assessment of organic paddy rotation systems using land and product-based indicators: A case study in Japan. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *20(8),* 1061–1075. DOI 10.1007/s11367-015-0906-7
25. Homayouni, Z., Abolhassani, L., & Sabuhi, M. (2018). Environmental impact assessment of different varieties of rice paddy in the Kordkoy. Journal of Agroecology *10(2),* 580-602. (In Persian with English Summary).
26. IPCC. (2006). IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. 2 Institute for Global Environmental Strategies Hayama, Japan.
27. Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., & Troxler, T.G. (2014). 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. IPCC, Switzerland.
28. ISO. (1997). ISO 14040-Environmental management-Life cycle assessment-principles and framework. p.14.
29. Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., & Mousazadeh, H. (2013b). Applying data envelopment analysis

approach to improve energy efficiency and reduce GHG (greenhouse gas) emission of wheat production. *Energy*, *58*, 588-593. https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.06.030

30. Lindau, C.W., & Bollich, P.K. (1993). Methane emissions from Louisiana first and ratoon crop rice. *Soil Science*, *156*, 42-48.
31. Lu, B., Yang, J., Ijomah, W., Wu, W., & Zlamparet, G. (2018). Perspectives on reuse of WEEE in China: Lessons from the EU. *Resources, Conservation and Recycling Journal*, *135*, 83e92. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.012
32. Miao, R., Lu, N.; Yao, L.; Zhu, Y.; Wang, J.; & Sun, J. (2013). Multi-year comparison of carbon dioxide from satellite data with ground-based FTS measurements (2003-2011), *Remote Sensing 5(7)*, 3431-3456. https://doi.org/10.3390/rs5073431
33. Ministry of Jihad-e-Agriculture of Iran. (2019). Annual agricultural statistics. Available at: www.maj.ir. (In Persian)
34. Mollafilabi, A. (2019). Comparison of environmental impacts for rice (*Oryza sativa* L.) agroecosystems in the first and second planting patterns by using life cycle assessment (Case study: Sari County). *Journal of Agroecology*, *10(4)*, 949-964. (In Persian with English Summary). 10.22067/jag.v10i4.56929
35. Moradi, M., Nematollahi, M.A., Mousavi Khaneghah, A., Pishgar-Komleh, S.H., & Rajabi, M.R. (2018). Comparison of energy consumption of wheat production in conservation and conventional agriculture using DEA. *Environmental Science Pollution Research*, *25*, 35200-35209. https://doi.org/10.1007/s11356-018-3424-x
36. Morino, I., Uchino, O., Inoue, M., Yoshida, Y., Yokota, T., Wennberg, P., & Rettinger, M. (2010). Preliminary validation of column-averaged volume mixing ratios of carbon dioxide and methane retrieved from GOSAT short-wavelength infrared spectra. *Atmospheric Measurement Techniques*, *4(2)*, 1061-1076. https://doi.org/10.5194/amt-4-1061-2011
37. Motevali, A., Hashemi, S.J., & Tabatabaeekoloor, R. (2019). Environmental footprint study of white rice production chain-case study: Northern of Iran. *Journal of Environmental Management*, *241*, 305-318. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.033
38. Motevali, A., Yasour, S., Teymori Omran, M., & Mousavi Seyedi, S.R. (2019). Investigating of environmental indicators of water footprint and Depletion of resources in different scenario of rice cultivation. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, *13(2)*, 512-527. (In Persian with English Summary). 20.1001.1.20087942.1398.13.2.21.9
39. Moumeni, A., Yazdi-Samadi, B., Wu, J., & Leung, H. (2003). Genetic diversity and relatedness of selected Iranian rice cultivars and disease resistance donors assayed by simple sequence repeats and candidate defense gene markers. *Euphytica*, *131*, 275-284.
40. Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S.S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., & Chau, K.W. (2017). Energy consumption enhancement and environmental life cycle assessment in paddy production using optimization techniques. *Journal of Cleaner Production*, *162*, 571–86. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.071
41. Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S.S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., & Chau, K.W. (2019). Comprehensive model of energy, environmental impacts, and economic in rice milling factories by coupling adaptive neuro-fuzzy inference system and life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, *217*, 742-756. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.228
42. Nemecek, T., Huguenin-Elie, O., Dubois, D., Gaillard, G., Schaller, B., and Chervet, A. (2011). Life cycle assessment of Swiss farming systems: II. Extensive and intensive production. *Agricultural System*, *104*, 233-245. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.07.007
43. Nouri, M.Z., Gholami, M., Mousavi, A.A., & Hosseini, S. (2014). Study of rice replanting in Mazandaran and comparison of crop indices of rice cultivars in two cultivations, 13th Iranian Conference on Agriculture and Plant Breeding and 3rd Conference Iranian Seed Science and Technology, Karaj, Iran. (In Persian)
44. Pennington, D.W., Potting, J., Finnveden, G., Lindeijer, E., Jolliete, O., Rydberg, T., & Rebitzer, G. (2004). Life cycle assessment Part 2: Current impact assessment practice. *Environment International*, *30*, 721–739. https://doi.org/10.1016/j.envint.2003.12.009
45. Pishgar-Komleh, S.H., Akram, A., Keyhani, A., Raei, M., Elshout, P.M.F., & Huijbregts, M.A.J. (2017). Variability in the carbon footprint of open-field tomato production in Iran -A case study of Alborz and East-Azerbaijan provinces. *Journal of Cleaner Production*, *142*, 1510–1507.

https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.154
46. Rahman, N.M.F., Hossain, M.I., Aziz, M.A., & Baten, M.A. (2014). Prospects of rice production in Bangladesh. *Advances in Environmental Biology, 7(14):*, 4542-4549.
47. Rashid, A. F.A., & Yusoff, S. (2015). A review of life cycle assessment method for building industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *45*, 244-248.
48. Romero-Gámez, M., Suárez-Rey, E., Antón, A., Castilla, N., & Soriano, T. (2012). Environmental impact of screen house and open-field cultivation using a life cycle analysis: The case study of green bean production. *Journal of Cleaner Production*, *28,* 63-69. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.07.006
49. Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., & Okadome, H. (2009). A review of cycle life assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*, *90*, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.016
50. Saber, Z., Esmaeili, M., Pirdashti, H., Motevali, A., & Nabavi-Pelesaraei, A. (2020). Exergoenvironmental-life cycle cost analysis for conventional, low external input and organic systems of rice paddy production. *Journal of Cleaner Production*, *263*, 121529. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121529
51. Sahle, A., & Potting J. (2013). Environmental life cycle assessment of Ethiopian rose cultivation. *Science of the Total Environment*, *443*, 163-172. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.10.048
52. Schau, E.M., & Fet, A.M. (2008). LCA studies of food products as background for environmental product declarations. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *13(3)*, 255-264.
53. Schröder, J.J., Aarts, H.F.M., Ten Berge, H.F.M., Van Keulen, H., & Neeteson, J.J. (2003). An evaluation of wholefarm nitrogen balances and related indices for efficient nitrogen use. *European Journal of Agronomy*, *20*, 33-44. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00070-4
54. Shen, X., Zhang, L., & Zhang, J. (2021). Ratoon rice production in central China: Environmental sustainability and food production. *Science of the Total Environment*, *764,* 142850.
55. Song, K., Zhang, G., Yu, H., Huang, Q., Zhu, X., Wang, T., Xu, H., Lv, S., & Ma, J. (2021). Evaluation of methane and nitrous oxide emissions in a three-year case study on single rice and ratoon rice paddy fields. *Journal of Cleaner Production*, *297*, 126650. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126650
56. Song, K., Zhang, G., Yu, H., Xu, H., Lv, S., & Ma, J. (2021). Methane and nitrous oxide emissions from a ratoon paddy field in Sichuan province, China. *European Journal of Soil Science, 72,* 1478-1491. https://doi.org/10.1111/ejss.13066
57. Tong, R., Zhai, Y., & Li, X. (2015). An LCA-based health damage evaluation method for coal mine dust. Veterinary Clinical Pathology: A Case-Based Approach, 223-230.
58. Wang, M., Xia, X., Zhang, Q., & Liu, J. (2010). Life cycle assessment of a rice production system in Taihu region, China. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, *17(2)*, 157-161. https://doi.org/10.1080/13504501003594224
59. Wang, W., He, A., Jiang, G., Sun, H., Jiang, M., Man, J., Ling. X., Cui, K., Huang, J., Peng, S., & Nie, L. (2020). Ratoon rice technology: A green and resource-efficient way for rice production. *Advances in Agronomy*, *159*, 135-167. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.07.006
60. Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., & Weidema, B. (2016). The ecoinvent database version 3 (part I): Overview and methodology. *International Journal of Life Cycle Assessment, 21*, 1218–1230.
61. Wikström, H., & Adolfsson, R., 2004. Field burning of crop residues. SMED Report No 62.
62. Yazdpour, H., Shirani-Rad, A.H., & Mobaser, H.R. (2007). Examination of the harvesting time and cutting height on yield and yield components of rice ratoon (*Oryza sativa* L.) Taroom Hashemi variety. *Journal of Agricultural Sciences*, 13(1), 151-160. (In Persian with English Summary)
63. Yodkhum, S., Gheewala, S.H., & Sampattagul, S. (2017). Life cycle GHG evaluation of organic rice production in Northern Thailand. *Journal of Environmental Management*, *196*, 217-223. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.004
64. Yuan, S., Cassman, K.G., Huang, J., Peng, S., & Grassini, P. (2019). Can ratoon cropping improve resource use efficiencies and profitability of rice in central China? *Field Crops Research*, *234*, 66-72. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.02.004

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

CC BY

Research Article
Vol. 15, No. 2, Summer 2023, p. 403-425

Evaluation of Competitive Indices and Grain Yield of Triticale (× *Triticosecale* Wittmack) – Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Intercropping as Affected by Bio-Organic Fertilizer and Water Stress

Ida Rashidipour[1], Vahid Barati[2]* and Ehsan Bijanzadeh[3]

Received: 08-05-2022
Revised: 29-08-2022
Accepted: 01-10-2022
Available Online: 01-10-2022

How to cite this article:
Rashidipour, I., Barati, V., & Bijanzadeh, E. (2023). Evaluation of competitive indices and grain yield of triticale (× *Triticosecale* Wittmack) – chickpea (*Cicer arietinum* L.) intercropping as affected by bio-organic fertilizer and water stress. *Journal of Agroecology*, *15*(2), 403-425.
DOI: 10.22067/agry.2022.76290.1107

Introduction

Todays, efforts to increase crop yields have led to the indiscriminate use of chemical fertilizers, especially nitrogen (N) and phosphorus (P) fertilizers. It has caused soil and groundwater pollution and the destruction of soil microbial communities. Therefore, researchers should look for ways to replace N fertilizers and reduce their side effects. Intercropping of cereals and legumes due to differences in the distribution and depth of roots in the soil profile can reduce competition for water and the survival of these plants in water shortage conditions. Among the methods that may reduce the use of N and P fertilizers and thus reduce sensitivity to water stress is the intercropping of cereals and legumes. Using growth-promoting N-fixing bacteria such as *Azospirillum brasilense* and phosphorus solvents such as *Pseudomonas fluorescens* as biofertilizers can be another way to reduce the use of N and P fertilizers and the adverse effects of water stress. Therefore, this study aimed to investigate the effects of different fertilizer systems [chemical, integrated, and biological] on yield and competitive indices in triticale (× *Triticosecale* Wittmack) - chickpea (*Cicer arietinum* L.) intercropping under water stress conditions in Southern Iran (Fars province).

Materials and Methods

This experiment was performed as a split factorial on a randomized complete block design with three replications in the research farm of the Darab Faculty of Agriculture and Natural Resources-Shiraz University in the 2019-2020 growing season. Experimental treatments included two levels of irrigation (Ir) [Normal: irrigation based on plant water requirement (IR_N) and water stress: irrigation based on plant water requirement up to the milking stage (WS)] as the main factors. The Sub-factors included three sources of fertilizer (F) [Chemical: 50 kg P.ha^{-1} +150 kg N.ha^{-1}, Bio-organic: 40 tons of manure sheep ha^{-1} + inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasillens*, Integrated: 25 kg P ha^{-1} + 75 kg N.ha^{-1} + 20 tons of manure sheep ha^{-1} + inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilens*] and three types of cropping systems (Cp) [Monoculture of triticale, monoculture of chickpea, and intercropping of triticale-chickpea (1:1)]. The crops Grain yield were measured, of the crops was measured and competitive indices including land equivalent ratio (LER), aggressivity (A), competitive ratio (CR), and system productivity index (SPI) were computed. The SAS

1- M.Sc. Student, Agro-Ecology Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz, Iran.
2- Assistant Professor of Agro-Ecology Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz, Iran.
3- Associate Professor of Agro-Ecology Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz, Iran
(*- Corresponding author's Email: v.barati@shirazu.ac.ir)

9.1 software was used to analyze the data, and the means were separated using the least significant difference (LSD) test at a 5% probability level.

Results and Discussion

The results showed that the cessation of irrigation after the milking stage put severe stress on the triticale and chickpea during the grain-filling period and reduced the grain yield of both plants. The Ir × F interaction for triticale and chickpea grain yield showed that the lowest reduction of their grain yield (31% and 27%, respectively) was obtained in Bio treatment due to water stress as compared to IR_N. Furthermore, The Ir × Cp interaction for triticale and chickpea grain yield showed that the water stress reduced their grain yield. However, the reductions were lower in the intercropping system of triticale (38%) and chickpea (24%) as compared with their sole cropping. Late season water stress increased triticale, chickpea, and total LER as compared with IR_N conditions by 40, 65 and 51%, respectively. Furthermore, the Ir × F interaction showed that the highest and the lowest reductions (55% and 17%, respectively) of SPI were achieved in chemical and Bio treatments due to water stress conditions.

Conclusions

Based on the results obtained from this study, it can be concluded that the intercropping system of triticale and chickpea is superior to their monocropping under late season water stress conditions. Also, the lowest reduction of chickpea and triticale grain yields as a consequence of water stress was obtained by applying Bio and integrated fertilizers. Therefore, the use of *Azospirillum brasiliens* and *Pseudomonas fluorescens* with sheep manure fertilizer not only mitigates the negative effects of water stress but also reduces the excessive use of N-P chemical fertilizers and their harmful environmental effects, and it can be an effective step for the sustainability of agricultural systems.

Keywords: *Azospirillum*, Cereal and legume, *Pseudomonas*, System productivity

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

مقاله پژوهشی
جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۴۲۵-۴۰۳

ارزیابی شاخص‌های رقابتی و عملکرد کشت مخلوط تریتیکاله (*Triticosecale* Wittmack ×) و نخود (.*Cicer arietinum* L) تحت تأثیر کود زیستی- آلی در شرایط تنش آبی

آیدا رشیدی‌پور[۱]، وحید براتی[۲]* و احسان بیژن‌زاده[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۹

چکیده

به‌منظور ارزیابی تأثیر منابع مختلف کودی بر عملکرد و شاخص‌های رقابتی تریتیکاله (*Triticosecale* Wittmack ×) و نخود (*Cicer arietinum* L.) در کشت مخلوط تریتیکاله و نخود تحت شرایط تنش آبی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب- دانشگاه شیراز در سال زراعی ۱۳۹۹_۱۳۹۸ انجام شد. تیمارها در دو سطح آبیاری [۱_ مطلوب: آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه و ۲_ تنش آبی: آبیاری تا مرحله شیری] به‌عنوان عامل اصلی و سه منبع کودی [شیمیایی: (۵۰ کیلوگرم فسفر بر هکتار + ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار)، زیستی- آلی: (۴۰ تن کود گوسفندی بر هکتار + تلقیح با *سودوموناس فلورسنس* (*Pseudomonas fluorescens*) و *آزوسپیریلوم براسیلنس* (*Azospirillum brasilense*)] و تلفیقی: (۲۵ کیلوگرم فسفر بر هکتار + ۷۵ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار + ۲۰ تن کود گوسفندی بر هکتار + تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*)، و سه الگوی کشت [کشت خالص تریتیکاله، کشت خالص نخود و کشت مخلوط تریتیکاله و نخود (۱:۱)] به‌عنوان عوامل فرعی بودند. نتایج نشان داد، تنش آبی شاخص نسبت برابری زمین هر دو گیاه وکل را افزایش داد. همچنین، بیشترین نسبت برابری کل در تیمار تلفیقی مشاهده شد. شاخص بهره‌وری سیستم به‌واسطه تنش آبی کاهش یافت که کمترین کاهش (۱۷ درصد) در تیمار کود زیستی رخ داد. همچنین، شاخص نسبت رقابتی برای تریتیکاله در تیمار کود شیمیایی و برای نخود در کود زیستی بیشترین مقدار (به‌ترتیب ۱/۳۷ و ۱/۰۲) را داشت. برهم‌کنش تیمار آبیاری × سامانه کودی برای تریتیکاله و نخود نشان داد که بیشترین عملکرد دانه نخود و تریتیکاله در تیمار آبیاری مطلوب و کود تلفیقی به‌ترتیب (۳۵۴۴ و ۷۴۵۰ کیلوگرم بر هکتار) به‌دست آمد. همچنین، باتوجه به اینکه کمترین کاهش عملکرد دانه نخود و تریتیکاله به‌واسطه تنش آبی در تیمار کود زیستی (به‌ترتیب ۲۷ و ۳۱ درصد) مشاهده شد، کشت تریتیکاله و نخود با کاربرد کود زیستی جهت تعدیل اثرات منفی تنش آبی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *آزوسپیریلوم*، بهره‌وری سیستم، *سودوموناس*، غلات و حبوبات

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
۲- استادیار، گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز شیراز، ایران.
۳- دانشیار، گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز شیراز، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: v.barati@shirazu.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2022.76290.1107

مقدمه

امروزه تلاش برای افزایش عملکرد محصولات کشاورزی، منجر به استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی، به‌ویژه کود نیتروژن و فسفر شده است (Basu et al., 2021). تلفات نیتروژن استفاده شده از طریق تصاعد گازهای آمونیاک و اکسیدهای نیتروژن و یا آبشویی نیترات، بازده مصرف کودهای نیتروژن در مزارع غلات را کاسته (Abalos et al., 2014; Linquist et al., 2013; Cui et al., 2010) و سبب بروز آلودگی خاک، آب‌های زیر زمینی و از بین رفتن جوامع میکروبی خاک شده است (Atieno et al., 2020). از این‌رو، علاوه‌بر افزایش هزینه‌های تولید غلات، مخاطرات زیست‌محیطی نیز رو به افزایش است. همچنین، کاربرد سطوح بالای کودهای نیتروژنه به‌ویژه در مناطق جنوبی ایران که با احتمال بروز تنش آبی در مراحل زایشی غلات زمستانه روبرو هستند، سبب افزایش سطح تنش در مرحله پر شدن دانه می‌شود (Niazi Ardakani et al., 2020 ; Barati & Ghadiri, 2016). با کاربرد بیش از حد کودهای نیتروژن در این مناطق، به‌دلیل افزایش سطح برگ و اندام‌های رویشی، سطح تعرقی گیاه افزایش یافته و آب موجود در ناحیه ریشه سریع‌تر تخلیه می‌شود؛ بنابراین، گیاه در مرحله پر شدن دانه با کمبود آب مواجه می-شود (Herwaarden et al., 1998). از این رو، پژوهشگران باید به -دنبال راهکارهایی برای جایگزینی کودهای شیمیایی نیتروژنه و کاهش اثرات ناخواسته آن‌ها باشند. از جمله روش‌هایی که ممکن است سبب کاهش استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژنه و بنابراین، کاهش حساسیت به تنش آبی شود، کشت مخلوط غلات و بقولات است (Hauggaard & Jensen, 2001). کشت مخلوط به کاشت دو یا چند گونه گیاهی در یک منطقه مشخص گفته می‌شود (Peksen et al., 1995) که روابط مکمل و تسهیل‌کننده را به‌وجود می‌آورند (Duchene et al., 2017).

تسهیل‌کنندگی در کشت مخلوط زمانی اتفاق می‌افتد که گیاهان کاشته شده، محیط را برای گیاهان مجاور خود بهبود بخشیده و رشد و بقای آن‌ها را افزایش دهند (Hauggaard & Jensen, 2005). در سیستم کشت مخلوط غلات با حبوبات، حبوبات نیتروژن موجود در هوا را از طریق همزیستی با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، در ریشه تثبیت می‌کنند (Cowell et al., 1989) و بخشی از این نیتروژن تثبیتی در اختیار گیاه غله نیز قرار می‌گیرد (Mazaheri, 1998). بنابراین، در شرایطی که میزان نیتروژن خاک کم است، غلات در کشت مخلوط با حبوبات نسبت به تک کشتی آن، عملکرد بیشتری دارند (Hauggaard et al., 2001). محسن آبادی و همکاران (Mohsen Abadi et al., 2008) نتیجه گرفتند، کشت مخلوط نسبت به تک کشتی‌های جو (*Hordeum vulgare* L.) و ماشک (*Vicia dasycarpa*) از لحاظ کمّی و کیفی برتری داشت. نتایج حاصل از پژوهش نخ زری مقدم (Nakhzari Moghaddam, 2016) نیز، نشان داد در کشت مخلوط جو و نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) شاخص‌های نسبت برابری زمین، غالبیت و نسبت رقابتی در جو بیش از نخودفرنگی بود. کشت مخلوط غلات و بقولات به‌دلیل تفاوت توزیع و عمق ریشه‌ها در پروفایل خاک می‌تواند سبب کاهش رقابت برای آب شده و بقای این گیاهان را در شرایط کمبود آب سبب شود (Mazaheri, 1998). نتایج حاصل از پژوهش حسینعلی‌پور و همکاران (Hosseinali pour et al., 2020) نشان داد، تنش آبی سبب کاهش رشد سیستم ریشه‌ای ارقام گندم از جمله طول و تعداد ریشه‌های اصلی در مرحله رویشی شد. پژوهش دیگری نشان داد، تنش آبی منجر به افزایش عمق ریشه در گیاه نخود شد (Benjamin et al., 2006).

استفاده از باکتری‌های آزادزی تحریک‌کننده رشد و تثبیت‌کننده نیتروژن مانند *آزوسپیریلوم* و حل‌کننده فسفر مانند *سودوموناس* نیز می‌توانند به‌عنوان کود زیستی راهکاری دیگر در جهت کاهش استفاده از کود شیمیایی نیتروژن و فسفر و همچنین کاهش اثرات نامطلوب ناشی از تنش آبی شوند (Ashrafi et al., 2017; Di Salvo et al., 2018). از این باکتری‌ها، به‌عنوان مایع تلقیح استفاده می‌شود و علاوه‌بر تثبیت نیتروژن و حل کردن فسفات، از طریق ترشح اگزو پلی ساکاریدها، تجزیه مواد آلی و تولید سیدروفورها، سبب تحریک رشد ریشه و اندام‌های هوایی شده و به افزایش تولیدات کشاورزی به‌ویژه در شرایط تنش آبی کمک می‌کنند (Kumar & Gopta, 2015; Naik et al., 2019)

پژوهش‌های بسیاری در مورد تأثیر باکتری‌های *سودوموناس* و *آزوسپیریلوم* بر رشد گیاهان مختلف در شرایط مطلوب رطوبتی انجام شده است. از جمله: ریندر و واسار (Reynders & Vassar, 1982) در آزمایشی نشان دادند که پس از تلقیح بذر گندم با باکتری *آزوسپیریلوم براسلینس*، پنجه‌زنی بیشتر همراه با توانایی جذب مواد

غذایی منجر به افزایش عملکرد شد. از طرفی، دولخانی و همکاران (Dolkhani et al., 2021) اثبات کردند که کاربرد کود تلفیقی (۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار+ باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم*) سبب افزایش عملکرد دانه جو شده است. در مقابل، پژوهشگران دیگری به بررسی اثر این باکتری‌ها بر گیاهان مختلف در شرایط تنش آبی پرداختند، از جمله: اولاح و همکاران (Ullah et al., 2019) نشان دادند که این باکتری‌ها می‌توانند در شرایطی که رطوبت خاک کم است، زنده بمانند و سبب افزایش ریشه‌دهی گیاهان و بنابراین، کاهش آثار منفی تنش آبی شوند. همچنین، در پژوهشی پراساد و بابو (Prasad & Babu, 2017) نشان دادند، تلقیح بذر بادام زمینی با باکتری‌های *آزوسپریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس* به‌ترتیب باعث افزایش رشد ریشه اصلی و ریشه‌های فرعی این گیاه شد، که این افزایش رشد ریشه مقاومت نسبت به تنش آبی را به همراه داشت. همچنین، نیازی اردکانی و همکاران (Niazi Ardakani et al., 2020) در پژوهشی نشان داده‌اند که کاربرد تلفیقی باکتری *آزوسپیریلوم براسیلنس* و کود شیمیایی نیتروژن، تأثیر مثبتی بر عملکرد دانه جو در شرایط تنش آبی داشته است. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که این اثر مثبت ممکن است به‌دلیل اثرات مثبت باکتری *آزوسپیریلوم* بر رشد بیشتر ریشه گیاه جو در شرایط تنش آبی و بهبود جذب آب بوده است.

با توجه به اهمیت گیاه تریتیکاله (*Triticosecale* × Wittmack) و نخود (*Cicer arietinum* L.) در مناطق جنوبی ایران، بررسی برهم‌کنش آن‌ها در شرایط کشت مخلوط و سامانه‌های زیستی و شیمیایی می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را برای مدیریت آن‌ها در اختیار کشاورزان این منطقه و مناطق مشابه قرار دهد. از این رو، این پژوهش به بررسی تأثیر سامانه‌های مختلف کودی (شیمیایی، زیستی- آلی و تلفیق آن‌ها) در کشت مخلوط تریتیکاله- نخود تحت شرایط تنش آبی بر عملکرد این دو گیاه و شاخص‌های رقابتی در جنوب استان فارس (داراب) پرداخته است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب- دانشگاه شیراز (طول جغرافیایی ۵۴ و۳۰ شرقی و عرض جغرافیایی ۲۸ و۵۰ شمالی و با ارتفاع ۱۱۸۰ متری از سطح دریا) در سال زراعی ۱۳۹۹ـ ۱۳۹۸ اجرا شد. منطقه داراب با میانگین بارش بلندمدت سالیانه (۲۷ ساله، از ۱۳۷۳ تا ۱۴۰۰) ۲۶۴ میلی‌متر، دارای آب‌وهوای گرم و خشک می‌باشد. وضعیت آب و هوای منطقه داراب در سال زراعی ۱۳۹۹ـ ۱۳۹۸ در جدول ۱ نشان داده شده است. به‌منظور بررسی بافت خاک مزرعه و عناصر غذایی موجود در آن، نمونه‌ای مرکب از عمق ۳۰ -۰ سانتی‌متری تهیه و به آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب فرستاده شد. جدول ۲ نتایج برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را نشان می‌دهد.

جدول ۱ـ داده‌های هواشناسی شهرستان داراب در سال زراعی ۱۳۹۹ـ ۱۳۹۸

Table 1-Climatic data of Darab during 2019-2020 growing season

ماه‌ها Month	مهر October	آبان November	آذر December	دی January	بهمن February	اسفند March	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September
حداقل دما Minimum temperature (°C)	18.4	10.8	6.3	3.9	3.8	7.9	10.8	15.8	21.3	25.4	26.7	23.4
متوسط دما Average temperature (°C)	26.9	18.5	13.0	10.7	11.0	15.5	17.2	23.9	30.9	33.4	34.6	30.6
حداکثر دما Maximum temperature (°C)	35.4	26.2	19.8	17.6	18.3	23.1	23.6	31.9	40.5	41.5	42.5	37.8
بارندگی Rainfall (mm)	0.2	26.1	117.3	122.8	24.6	9.4	158.7	0.0	2.6	1.3	0.0	0.4

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر
Table 2- Physical and chemical characteristics of the soil in 0-30 cm depth

ویژگی Characteristics	واحد Unit	مقدار Amount	ویژگی Characteristics	واحد Unit	مقدار Amount
شن Sand	%	38.23	نیتروژن کل Total N	٪	0.09
سیلت Silt	٪	45.10	پتاسیم قابل دسترس Available K	$mg.kg^{-1}$	340
رس Clay	٪	16.67	فسفر قابل دسترس Available P	$mg.kg^{-1}$	10.67
کربن آلی O.C.	٪	0.93	آهن قابل دسترس Available Fe	$mg.kg^{-1}$	6.01
ماده آلی O.M.	٪	1.57	منگنز قابل دسترس Available Mn	$mg.kg^{-1}$	15.88
قابلیت هدایت الکتریکی EC	$dS.m^{-1}$	1.07	مس قابل دسترس Available Cu	$mg.kg^{-1}$	1.54
اسیدیته pH	–	7.49	روی قابل دسترس Available Zn	$mg.kg^{-1}$	0.63

تیمارهای آزمایش شامل دو سطح آبیاری [۱- مطلوب: آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و ۲- تنش آبی: آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه تا مرحله شیری (قطع آبیاری پس از مرحله شیری)] به‌عنوان عامل اصلی بود. عامل‌های فرعی شامل سه منبع کودی [۱- تیمار شیمیایی: کود شیمیایی نیتروژن و فسفر (۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌صورت سوپرفسفات تریپل + ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌صورت اوره)، ۲- تیمار زیستی- آلی: کود گوسفندی کامل (۴۰ تن در هکتار) + تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس* ۳- تیمار تلفیقی: کود شیمیایی نیتروژن و فسفر به اندازه نصف نیاز گیاه تریتیکاله (۲۵ کیلوگرم فسفر در هکتار + ۷۵ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار) + کود گوسفندی به‌اندازه نصف نیاز گیاه تریتیکاله (۲۰ تن کود گوسفندی در هکتار) + تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*] و سه نوع کشت [۱- کشت خالص تریتیکاله، ۲- کشت خالص نخود، ۳- کشت مخلوط تریتیکاله نخود (۱:۱)] بود که به صورت فاکتوریل در هر تکرار قرار گرفتند. ویژگی‌های کود گوسفندی مورد استفاده در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کود گوسفندی مورد استفاده
Table 3- Physical and chemical characteristics of the sheep manure

ویژگی Characteristics	واحد Unit	مقدار Amount	ویژگی Characteristics	واحد Unit	مقدار Amount
کربن آلی O.C.	%	32.31	پتاسیم قابل دسترس Available K	$mg.kg^{-1}$	589
اسیدیته pH	-	7.97	مس قابل دسترس Available Cu	$mg.kg^{-1}$	49
قابلیت هدایت الکتریکی EC	$dS.m^{-1}$	8.21	منگنز قابل دسترس Available Mn	$mg.kg^{-1}$	212
نیتروژن کل Total N	%	1.51	روی قابل دسترس Available Zn	$mg.kg^{-1}$	99
فسفر قابل‌دسترس Available P	$mg.kg^{-1}$	25.43	آهن قابل دسترس Available Fe	$mg.kg^{-1}$	2714

جهت آماده سازی زمین، عملیات خاکورزی با گاوآهن برگردان‌دار و دیسک انجام شد. سپس اقدام به کرت بندی در ابعاد ۲×۳/۵ متر شد. قبل از کاشت کود دامی (گوسفندی) به‌مقدار (۴۰ و ۲۰ تن بر هکتار) به زمین اضافه و دو هفته قبل از کاشت با خاک مزرعه مخلوط

شد. پس از آن، آبیاری کرت‌ها به‌منظور پوسیدگی کود دامی انجام گرفت. با توجه به نتایج آزمون خاک، کود سوپرفسفات تریپل ۵۰ کیلوگرم بر هکتار و ۲۵ کیلوگرم بر هکتار یک روز قبل از کاشت به‌صورت نواری بین ردیف‌های کشت هر دو گیاه به زمین اضافه شد. بذر نخود (رقم محلی داراب) (مناسب برای کشت در مناطق گرم و خشک) (Mohavieh Asadi et al., 2019) و بذر تریتیکاله (رقم هاشمی) (رقم زودرس مناسب برای کاشت در اراضی کم‌بازده و گرم و خشک) از مؤسسه تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه شد و بر روی شش خط کاشت به‌طول سه متر با فاصله ۲۵ سانتی‌متر کاشته شد (فواصل خطوط کاشت یکسان در نظر گرفته شده، امّا فواصل بوته‌ها روی ردیف برای تریتیکاله و نخود متفاوت بود). همچنین، باکتری‌های *آزوسپیریلوم براسیلنس* و *سودوموناس* (10^8 سلول در هر گرم) از مؤسسه تحقیقات آب و خاک تهیه گردید.

ضدعفونی کردن بذرها قبل از کاشت، با محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد به‌مدت ۱۰ دقیقه انجام شد و پس از آن بذرها با آب مقطر سترون شستشو و خشک شدند. در مرحله بعد، بذرها به‌مدت ۳۰ ثانیه در محلول شکر ۲۰ درصد قرار گرفتند، تا تمام سطح بذر به‌صورت یکنواخت چسبناک شود. تلقیح بذرهای تریتیکاله و نخود در شرایط آزمایشگاهی و بعد از گندزدایی انجام شد. به این منظور، مایه تلقیح باکتری‌های *آزوسپیریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس* (در ازای هر کیلوگرم بذر ۲۰ گرم از هر باکتری) به بذرهای چسبناک اضافه شده و بعد از ۴۵ ثانیه تکان دادن ظرف محتوی بذر و باکتری، بذرهای آغشته به مایه تلقیح روی ورقه آلمینیومی تمیز پهن شدند تا در سایه خشک شوند.

عملیات کاشت بر اساس مقدار توصیه شده بذر نخود (۴۰ بوته در مترمربع) و تریتیکاله (۲۰۰ بوته در مترمربع) در تاریخ هشتم دی ماه انجام و پس از آن آبیاری کرت‌ها به‌صورت یکنواخت انجام شد. در تیمارهای کود شیمیایی، کود نیتروژن در سه مرحله سه برگچه‌ای، پنجه‌زنی و ساقه‌دهی، به‌مقدار مساوی به کرت‌ها اضافه و بعد از آن آبیاری انجام شد. همچنین، در تیمارهای کود زیستی- آلی و تلفیقی، علاوه‌بر تلقیح بذرها، باکتری *آزوسپیریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس* در دو مرحله پنجه‌زنی و ساقه‌دهی، همراه با آب آبیاری به‌مقدار (۱۰ گرم از هر باکتری) در هر کرت استفاده شد (Niazi Ardakani et al., 2020).

در کرت‌های آبیاری مطلوب، محتوای رطوبت خاک به‌روش وزنی اندازه‌گیری شد. به این منظور، تا عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک و در فواصل ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری با مته از خاک انجام و بعد از وزن‌کردن، خاک به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد درون آون قرار گرفت تا خشک شود (Barati et al., 2015). با کم کردن وزن خاک خشک (پس از قرار دادن درآون) از وزن خاک مرطوب (قبل از قرار دادن در آون) رطوبت خاک به‌دست آمد (Alizadeh, 2001). زمانی که میانگین رطوبت خاک در نقاط اندازه-گیری شده به کمتر از ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس رسید، آبیاری کرت‌ها انجام و رطوبت زمین در عمق ۶۰-۰ سانتی‌متری به ظرفیت مزرعه رسانده شد (Barati & Ghadiri, 2016).

مقدار آب مورد نیاز برای آبیاری کرت‌ها از طریق معادله ۱ محاسبه و مقدار آب استفاده شده برای هر کرت از روش حجمی-زمانی (Grimes et al., 1987) اندازه‌گیری شد. زمان مورد نیاز برای آبیاری کرت‌ها با توجه به دبی آب خروجی از لوله‌های تعبیه شده برای آبیاری به‌دست آمد. در کرت‌های مربوط به تیمار تنش آبی، آبیاری تا انتهای مرحله شیری انجام شد.

$$D = \sum_{i=1}^{n} (\theta_{fci} - \theta_i) \Delta Z_i \quad \text{(1)معادله}$$

که در آن، D: عمق آب آبیاری (میلی‌متر)، i: یک لایه، n: تعداد لایه‌های خاک، θ_{fci}: محتوای حجمی رطوبت خاک در حالت ظرفیت مزرعه (سانتی‌مترمکعب بر سانتی‌مترمکعب)، θ_i: محتوای حجمی رطوبت خاک (سانتی‌مترمکعب بر سانتی‌مترمکعب) در i امین لایه خاک و ΔZ_i: ضخامت هر لایه (میلی‌متر) می‌باشند.

پس‌از مرحله رسیدگی فیزیولوژیک تریتیکاله و نخود، در تاریخ ۱۴ خرداد، به‌منظور تعیین عملکرد دانه از وسط هر کرت یک ردیف به طول یک متر از سطح خاک هر کرت کف بر شد (۵۰ سانتی‌متر ابتدا و انتهای هر ردیف و همچنین دو ردیف کناری هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای در نظر گرفته شد). لازم به ذکر است که به‌منظور یکسان بودن سطح برداشت در کشت مخلوط و خالص برای هر دو گیاه، مساحتی مساوی در شرایط کشت خالص و مخلوط برای هر دو گیاه برداشت شد. به‌منظور بررسی میزان رقابت بین اجزای کشت مخلوط از معادله‌های جدول ۳ استفاده شده است.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای جدید دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه و شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

جدول ٤- شاخص‌های رقابت در کشت مخلوط

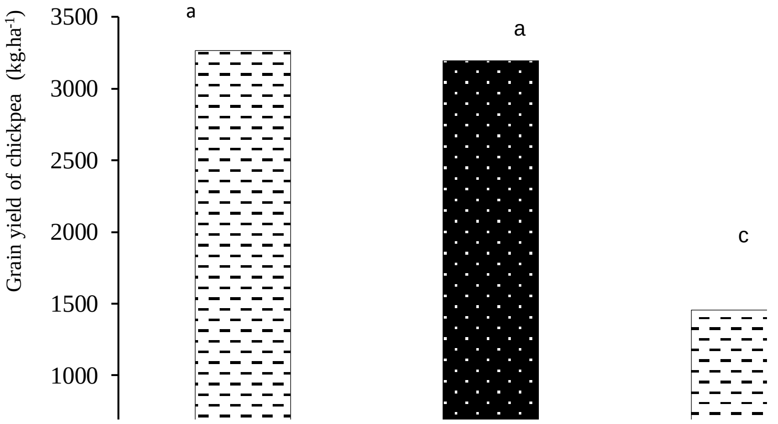
Table 4- Competition indices in intercropping

شاخص **index**	معادله **Equation**	توضیحات معادله **Explain Equation**
نسبت برابری زمین Land equivalent ratio	$(LER) = (Y_{ab} / Y_{aa})+(Y_{ba} / Y_{bb})$	عملکرد تریتیکاله (a) در کشت مخلوط Y_{ab}: Yield of triticale (a) in intercropping
نسبت رقابتی تریتیکاله Competitive ratio (a)	$(CR_a) = (LER_a / LER_b)\times(Z_{ba} / Z_{ab})$	عملکرد نخود (b) در کشت مخلوط Y_{ba}: Yield of chickpea (b) in intercropping
نسبت رقابتی نخود Competitive ratio (b)	$(CR_b) = (LER_b / LER_a)\times(Z_{ab} / Z_{ba})$	عملکرد تریتیکاله (a) در کشت خالص Y_{aa}: Yield of triticale (a) in sole cropping
غالبیت تریتیکاله Aggressivity (a)	$(A_a) = (Y_{ab} / Y_{aa} \times Z_{ab}) – (Y_{ba} /Y_{bb} \times Z_{ba})$	عملکرد نخود (b) در کشت خالص Y_{bb}: Yield of chickpea (b) in sole cropping
غالبیت نخود Aggressivity (b)	$(A_b) = (Y_{ba} / Y_{bb} \times Z_{ba}) – (Y_b / Y_{aa} \times Z_{ab})$	نسبت تریتیکاله (a) در کشت مخلوط Z_{ab}: Rate of triticale (a) in intercropping
شاخص بهره‌وری سیستم System productivity index	$(SPI) = (Y_{bb}/Y_{aa})\ Y_{ba} +Y_{ab}$	نسبت نخود (b) در کشت مخلوط Z_{ba}: Rate of chickpea (b) in intercropping

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهم‌کنش رژیم آبیاری × الگوی کاشت بر عملکرد دانه نخود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). در تیمار آبیاری مطلوب، اگرچه تیمارهای کشت خالص و کشت مخلوط تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. نخود در شرایط تنش آبی نسبت به آبیاری مطلوب رطوبتی رفتار متفاوتی را نشان داد، به این صورت که بین تیمارهای کشت خالص و کشت مخلوط، تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در تیمار تنش آبی، عملکرد نخود (۲۴۱۶ کیلوگرم در هکتار) در تیمار کشت مخلوط به‌دست آمد که به‌طور معنی‌دار و به‌میزان ۶۵/۹ درصد بیشتر از عملکرد نخود در شرایط کشت خالص (۱۴۵۶ کیلوگرم در هکتار) بود (شکل ۱). بررسی این برهم‌کنش از منظری دیگر، نشان داد که تنش آبی منجر به کاهش ۵۵/۴ و ۲۴/۳ درصدی عملکرد دانه نخود نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی به‌ترتیب در تیمارهای کشت خالص و مخلوط شد.



شکل ۱- اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری و الگوی کاشت بر عملکرد دانه نخود

Fig. 1- Interaction effect of irrigation regime and cropping pattern on grain yield of chickpea

میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون چند دامنه‌ای جدید دانکن ، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Sole-cropping : کشت خالص، Inter-cropping: کشت مخلوط، IR_N: آبیاری مطلوب، WS: تنش آبی

The means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using the Duncan’s new multiple range test. IR_N: normal irrigation and WS: water stress

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر رژیم آبیاری، الگوهای کاشت و سامانه کودی بر عملکرد دانه تریتیکاله و نخود

Table 5- Analysis of variance for the effect of irrigation regime, cropping pattern and fertilizer system on grain yield of triticale and chickpea

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares	
		عملکرد دانه تریتیکاله Grain yield of triticale	عملکرد دانه نخود Grain yield of chickpea
تکرار Replication	2	23001^{ns}	16774^{ns}
رژیم آبیاری Irrigation regime (Ir)	1	82716296**	1505520*
خطای (الف) Error (a)	2	252273^{ns}	247458**
الگوی کاشت Cropping pattern (CP)	1	15000516**	1764912**
سامانه کودی Fertilizer system (Fs)	2	5751212**	5315787**
Ir × CP	1	1029108*	2404050**
Ir × Fs	2	5141185**	758100**
CP × Fs	2	247121^{ns}	1044909**
Ir × CP × Fs	2	116314^{ns}	14493^{ns}
خطای (ب) Error (b)	20	139990.1	29690.07
ضریب تغییرات CV$^{€}$ (%)		7.40	6.67

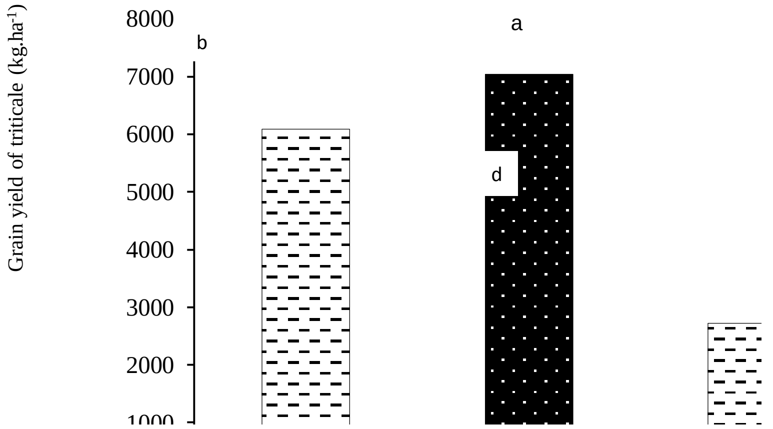
* و **: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد، ns: غیرمعنی‌داری، €: ضریب تغییرات

* and **: significant at the 5% and 1% probability levels respectively, ns: Non significant; €: Coefficient of variation

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهم‌کنش رژیم آبیاری × الگوی کاشت بر عملکرد دانه تریتیکاله در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). تنش آبی سبب کاهش ۵۵/۳ و ۳۸/۲ درصدی عملکرد دانه تریتیکاله به‌ترتیب در تیمارهای کشت خالص و مخلوط شد (شکل ۲). در تیمار آبیاری مطلوب، عملکرد دانه تریتیکاله در کشت مخلوط (۷۰۴۵ کیلوگرم در هکتار) به‌طور معنی‌دار و به‌میزان ۱۳/۵ درصد بیشتر از کشت آن به‌صورت خالص بود. در شرایط تنش آبی، الگویی مشابه با شرایط آبیاری مطلوب برای تریتیکاله وجود داشت. در شرایط تنش آبی نیز، تیمار کشت مخلوط (۴۳۵۲ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه بیشتری نسبت به کشت خالص تریتیکاله به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری و به‌میزان ۳۷ درصد بیشتر بود (شکل ۲).

به‌طور کلی، اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری × الگوی کاشت بر عملکرد دانه تریتیکاله و نخود نشان داد، تنش آبی منجر به کاهش عملکرد دانه نخود و تریتیکاله در شرایط کشت خالص و مخلوط شد (شکل‌های ۱ و ۲). با توجه به اینکه در هر دو شرایط آبیاری (مطلوب و تنش)، عملکرد تریتیکاله در تیمار کشت مخلوط به‌طور معنی‌داری بیشتر از کشت خالص بوده است، به نظر می‌رسد این امر به‌دلیل جوانه‌زنی سریع‌تر تریتیکاله نسبت به نخود بوده است. در این شرایط، تریتیکاله در استفاده از آب و مواد غذایی خاک، از نخود پیشی گرفته و این اختلاف فاز در رشد دو گیاه سبب تولید سطح برگ بیشتر، استفاده کاراتر از نورخورشید و بنابراین، فتوسنتز، زیست‌توده و عملکرد دانه بیشتر تریتیکاله شده است. از این رو، می توان گفت که این برتری رقابتی در مراحل ابتدایی زندگی تریتیکاله نسبت به نخود، سبب غالبیت این گیاه در سایر مراحل زندگی آن‌ها شده و یکی از دلایل اصلی بیشتر بودن عملکرد دانه تریتیکاله در کشت مخلوط، نسبت به کشت خالص آن بوده است.

همچنین، در تأیید این بحث، برخی دیگر از پژوهشگران (Pelzer et al., 2014 ;Bedoussac & Justes, 2011) نیز اثبات کرده‌اند که کاهش رقابت درون گونه‌ای غلات در شرایط کشت مخلوط با حبوبات، در کنار برتری رقابتی غلات نسبت به حبوبات (کمتر بودن رقابت بین گونه‌ای) سبب افزایش عملکرد غلات در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص آن شده است.



شکل ۲- اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری و الگوی کاشت بر عملکرد دانه تریتیکاله

Fig. 2- Interaction effect of irrigation regime and cropping pattern on grain yield of triticale

میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون چند دامنه‌ای جدید دانکن، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Sole-cropping : کشت خالص، Inter-cropping: کشت مخلوط، IR_N: آبیاری مطلوب، WS: تنش آبی

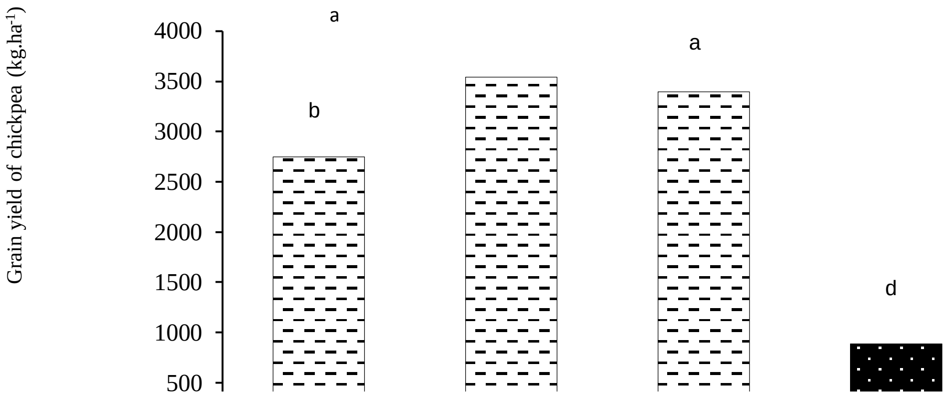
The means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using the Duncan's new multiple range test. IR_N: normal irrigation and WS: water stress

بر اساس نتایج آزمایش حاضر، اعمال تنش آبی عملکرد دانه تریتیکاله را کاهش داد. امّا، این کاهش در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط آن بیشتر (به‌ترتیب ۵۵/۳ و ۳۸/۲ درصد) بود (شکل ۲). این نتیجه به‌طور عمومی نشان می‌دهد که در شرایط تنش آبی به دلیل افزایش سطح رقابت در مزرعه بر سر یک محدودیت جدی (کمبود آب) نسبت به شرایط مطلوب، کاهش عملکرد دانه را خواهیم داشت. امّا، چون در کشت مخلوط تریتیکاله و نخود ریشه‌های تریتیکاله افشان و سطحی بوده و ریشه‌های نخود در عمق پروفایل خاک فرو می‌روند، عملاً به‌دلیل جذب آب از دو عمق متفاوت سطح رقابت نسبت به کشت خالص کاهش خواهد یافت و این کاهش میزان رقابت سبب کاهش کمتر عملکرد دانه تریتیکاله به‌واسطه تنش آبی در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص شده است. براتی و همکاران (Barati et al., 2020) نیز در پژوهشی بر روی یونجه (*Medicago sativa* L.) و علف پشمکی (*Bromus tomentellus* Boiss) نشان دادند، علف پشمکی به‌دلیل داشتن ریشه‌های افشان از رطوبت موجود در سطح خاک استفاده می‌کند، امّا یونجه به‌دلیل دارا بودن ریشه اصلی از رطوبت موجود در لایه‌های عمیق‌تر خاک استفاده می‌کند. بنابراین، دو گونه در استفاده از رطوبت خاک به‌دلیل تفاوت در گستردگی ریشه، به‌صورت مکمل عمل کرده و باعث افزایش کارایی مصرف آب در کشت مخلوط تحت تنش آبی می‌شوند.

برهم‌کنش رژیم آبیاری × سامانه‌های کودی بر عملکرد دانه نخود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). در هر دو رژیم آبیاری، نخود رفتار مشابهی را در تیمارهای کودی نشان داد. در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین عملکرد دانه نخود در تیمار کود تلفیقی به‌میزان (۳۵۴۴ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار زیستی- آلی نداشت (شکل ۳). در شرایط تنش آبی بیشترین عملکرد دانه نخود در تیمار زیستی- آلی (۲۴۷۷ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار تلفیقی نشان نداد (شکل ۳). تنش آبی منجر به کاهش ۶۷/۸، ۳۰/۹ و ۲۷ درصدی عملکرد نخود به‌ترتیب در تیمارهای شیمیایی، تلفیقی و زیستی- آلی شد.

برهم‌کنش رژیم آبیاری × سامانه‌های کودی بر عملکرد دانه تریتیکاله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین و کمترین عملکرد دانه تریتیکاله به‌ترتیب در تیمار کود تلفیقی (۷۴۵۰ کیلوگرم در هکتار) و شیمیایی (۶۹۷۰ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. امّا، در شرایط تنش آبی، بیشترین و کمترین عملکرد دانه تریتیکاله به‌ترتیب در تیمار کود تلفیقی (۴۱۹۰ کیلوگرم در هکتار) و زیستی- آلی (۳۶۶۳ کیلوگرم درهکتار) به‌دست آمد (شکل ۴). بررسی این برهم‌کنش از منظری دیگر نشان داد که تنش آبی منجر به کاهش ۶۰/۴، ۴۳/۷ و ۳۰/۷

درصدی عملکرد دانه تریتیکاله به‌ترتیب در تیمارهای شیمیایی، تلفیقی و زیستی- آلی نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی شد (شکل ۴). نیازی اردکانی و همکاران (Niazi Ardakani et al., 2019) نیز نتیجه گرفتند که در شرایط آبیاری مطلوب و تنش آبی، بیشترین عملکرد جو در تیمار کود تلفیقی (تلقیح با باکتری *آزوسپیریلوم* و کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن) مشاهده شد.



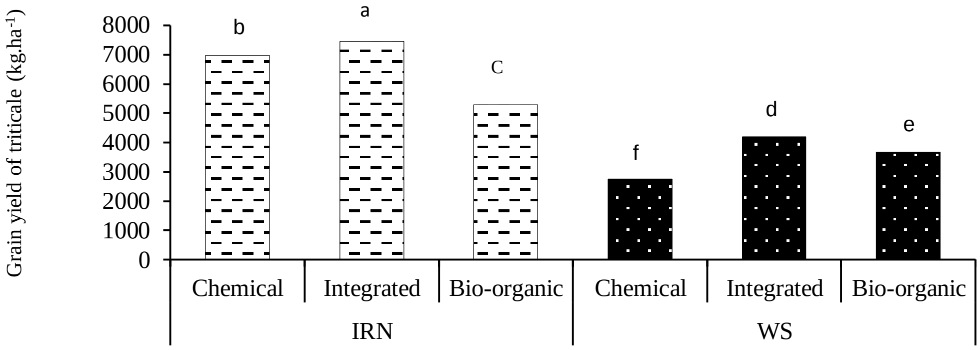
شکل ۳- اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری و سامانه کودی بر عملکرد دانه نخود

Fig. 3- Interaction effect of irrigation regime and fertilizer system on grain yield of chickpea

میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون چند دامنه‌ای جدید دانکن ، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

شیمیایی: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر، تلفیقی: ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۲۵ کیلوگرم در هکتار فسفر + ۲۰ تن در هکتار کود گوسفندی + تلقیح بذر با باکتری‌های *آزوسپریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس*، زیستی- آلی: ۴۰ تن در هکتار کود گوسفندی + تلقیح بذر با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپریلوم براسیلنس*، IRN: آبیاری مطلوب، WS: تنش آبی

The means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using the **Duncan's new multiple range test.** Chemical: 150 kg N .ha^{-1} + 50 kg P .ha^{-1}, Integrated: 75 kg N .ha^{-1} + 25 kg P .ha^{-1} + 20 ton.ha^{-1} of sheep manure + seed inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens*, Bio-organic: 40 ton.ha^{-1} of sheep manure + Seed inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*, IR$_N$: normal irrigation and WS: water stress



شکل ٤- اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری و سامانه کودی بر عملکرد دانه تریتیکاله

Fig. 4- Interaction effect of irrigation regime and fertilizer system on grain yield of triticale

میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون چند دامنه‌ای جدید دانکن، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

شیمیایی: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۵۰ کیلوگرم بر هکتار فسفر، تلفیقی: ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۲۵ کیلوگرم در هکتار فسفر + ۲۰ تن در هکتار کود گوسفندی + تلقیح بذر با باکتری‌های *آزوسپریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس*، زیستی- آلی: ۴۰ تن در هکتار کود گوسفندی + تلقیح بذر با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپریلوم براسیلنس*، IRN: آبیاری مطلوب، WS: تنش آبی

The means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using the Duncan's new multiple range test. Chemical: 150 kg N.ha^{-1} + 50 kg P.ha^{-1}, Integrated: 75 kg N.ha^{-1} + 25 kg P.ha^{-1} + 20 ton.ha^{-1} of sheep manure + seed inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens*, Bio-organic: 40 ton.ha^{-1} of sheep manure + seed inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*, IR$_N$: normal irrigation and WS: water stress

اثر برهم‌کنش رژیم‌آبیاری × سامانه کودی بر عملکرد دانه تریتیکاله و نخود نشان داد که، تنش آبی باعث کاهش عملکرد دانه آن‌ها در همه تیمارها شد. امّا، این کاهش عملکرد در تیمارهای مختلف متفاوت بود. با توجه به اینکه کمترین کاهش عملکرد نخود (۲۷ درصد) و تریتیکاله (۳۰/۷ درصد) در شرایط قطع آبیاری نسبت به آبیاری مطلوب، در تیمار کود زیستی- آلی مشاهده شد (شکل‌های ۳ و ۴)، می‌توان نتیجه گرفت که حضور باکتری‌های *آزوسپیریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس* به‌عنوان باکتری‌های محرک رشد در تیمار زیستی- آلی سبب تحریک رشد ریشه‌ها و بنابراین جذب بیشتر آب (داده‌ها نشان داده نشده است) در شرایط تنش آبی و کاهش پیامدهای تنش آبی از جمله محدودیت عملکرد دانه شده است. از طرفی، وجود کود حیوانی در تیمار زیستی- آلی به‌واسطه ایجاد تخلل بیشتر و در نتیجه، ایجاد شرایط هوازی برای فعالیت این باکتری‌ها و همچنین به‌عنوان منبع کربوهیدرات برای آن‌ها سبب افزایش اثرات مثبت باکتری‌ها در رشد ریشه‌ها شده است. علاوه‌براین، کود حیوانی به‌عنوان ماده آلی سبب افزایش قابلیت نگهداری آب در خاک شده و اثرات تنش آبی را برای گیاه و باکتری‌ها کاهش می‌دهد (Singh et al., 2011).

بیشترین کاهش عملکرد در شرایط قطع آبیاری، در تیمار کود شیمیایی مشاهده شد (شکل‌های ۳ و ۴). کاهش بیشتر عملکرد در تیمار کود شیمیایی تحت تنش آبی، به پدیده "Haying-off" نسبت داده می‌شود (Herwaarden, 1995). چنین به نظر می‌رسد که در شرایطی که از کود شیمیایی به‌مقدار زیادی استفاده شود، به‌دلیل تولید بیشتر زیست‌توده و افزایش سطح برگ، میزان تعرق از سطح برگ افزایش یافته و نیمرخ خاک سریع‌تر از رطوبت تخلیه می‌شود، و گیاه در انتهای فصل با تنش آبی شدیدتری مواجه می‌شود. در نتیجه، فتوسنتز کاهش یافته و عملکرد دانه کاهش پیدا می‌کند (Barati & Ghadiri, 2016). برخی دیگر از آزمایشات در مورد تریتیکاله (Barati & Bijanzadeh, 2020)، جو (Niazi Ardakani et al., 2020) و گندم دوروم (*Triticum durum* L.) (Ercoli et al., 2008) نیز یافته‌های پژوهش حاضر را تأیید می‌کنند.

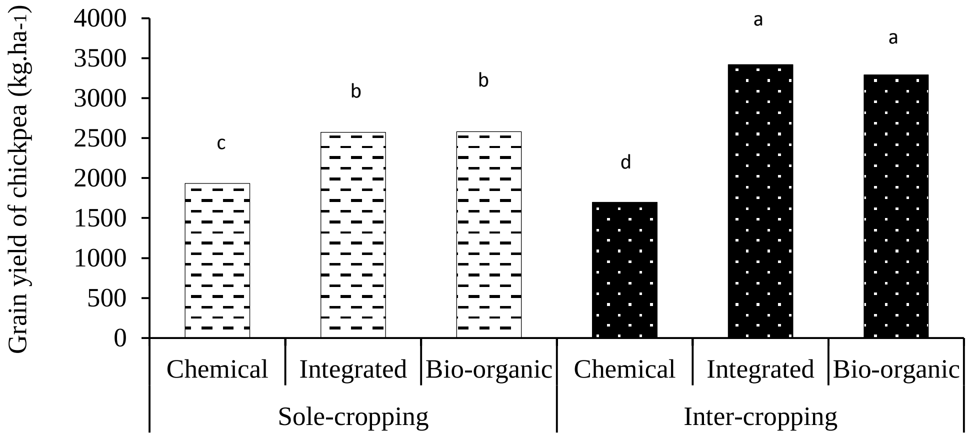
برهم‌کنش الگوی‌کشت × سامانه‌کودی بر عملکرد دانه نخود در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). این برهم‌کنش نشان داد که در کشت خالص اگر چه عملکرد دانه نخود در سامانه کودی تلفیقی و زیستی- آلی (به‌ترتیب ۲۵۷۲ و ۲۵۸۱ کیلوگرم در هکتار) تفاوت معنی‌داری نداشتند. امّا، به‌طور معنی‌دار و به‌میزان ۲۵ درصد عملکرد دانه نخود را نسبت به تیمار کود شیمیایی افزودند (شکل ۵). روندی مشابه کشت خالص، در شرایط کشت مخلوط نیز مشاهده شد. در تیمار کشت مخلوط، بیشترین عملکرد دانه نخود در سامانه کودی تلفیقی (۳۴۲۰ کیلوگرم درهکتار) به‌دست آمد. این در حالی بود که با عملکرد نخود در تیمار زیستی- آلی (۳۲۹۴ کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی‌داری نداشت. امّا، تیمار تلفیقی و زیستی- آلی عملکرد دانه نخود را نسبت به تیمار کود شیمیایی (۱۶۹۸ کیلوگرم در هکتار) به‌طور معنی‌دار و به‌ترتیب به‌میزان ۱۰۱/۴ و ۹۳/۹ درصد افزایش دادند (شکل ۵).

گیاه نخود، همزیست با باکتری لگومینوز[1] است و در شرایطی که این باکتری در خاک حضور داشته باشند، نیاز این گیاه به کود نیتروژن به‌مقدار زیادی برطرف می‌شود و تنها به‌مقدار کمی کود نیتروژن در ابتدای فصل رشد و قبل از تشکیل گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن نیاز دارد. برخی پژوهشگران (Rupela & Saxena, 1986; Herridge et al., 1995; Marcellos et al., 1998; Pilbeam et al., 1998; Carranca et al., 1999; Kumar & Abbo, 2001) گزارش نموده‌اند که نخود می‌تواند تا ۱۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار را در هر فصل رشد تثبیت کند. بنابراین، استفاده از تیمار تلفیقی (کود شیمیایی و کود دامی به اندازه نصف نیاز گیاه + تلقیح با باکتری) و زیستی- آلی (کود دامی + تلقیح با باکتری) در شرایط کشت خالص و مخلوط می‌توانند عناصر مورد نیاز از جمله نیتروژن و فسفر را به‌طور آهسته و در تمام طول فصل رشد در اختیار گیاه نخود قرار دهد (Barker, 2016).

این در حالی است که استفاده از سطوح بالای کود نیتروژن به صورت شیمیایی، علاوه‌بر اینکه مانع از تشکیل گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن می‌شود (Mazaheri, 1998)، تغذیه متعادلی از عناصر غذایی را برای گیاه فراهم نمی‌آورد. رضایی چیانه و همکاران (Rezaei Chiyaneh et al., 2019) نیز در پژوهشی بر روی کشت مخلوط نخود و جو نشان دادند، بیشترین عملکرد دانه نخود در شرایط کشت خالص و مخلوط در تیمارهای کودی تلفیقی (کود شیمیایی + کود زیستی) به‌دست آمد که بیشتر از عملکرد دانه حاصل از کاربرد کود شیمیایی کامل بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش سعیدی و همکاران (Saeidi et al., 2018) نیز، در کاربرد تلفیقی کود زیستی

1- *Rhizobium*

به‌همراه ۶۰ درصد کود شیمیایی (اوره + سوپرفسفات تریپل) در کشت مخلوط گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) و باقلا (*Vicia faba* L.)، عملکرد هر دو گیاه افزایش یافت.



شکل ۵- اثر برهم‌کنش الگوی کاشت و سامانه کودی بر عملکرد دانه نخود

Fig. 5- Interaction effect of cropping pattern and fertilizer system on grain yield of chickpea

میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون چند دامنه‌ای جدید دانکن، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

شیمیایی: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۵۰ کیلوگرم بر هکتار فسفر، تلفیقی: ۷۵ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن + ۲۵ کیلوگرم بر هکتار فسفر + ۲۰ تن در هکتار کود گوسفندی + تلقیح بذر با باکتری‌های *آزوسپیریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس*، زیستی- آلی: ۴۰ تن در هکتار کود گوسفندی + تلقیح بذر با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپریلوم براسیلنس*، در کشت خالص و کشت مخلوط

The means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using the Duncan's new multiple range test. Chemical: 150 kg N.ha^{-1} + 50 kg P.ha^{-1}, Integrated: 75 kg N.ha^{-1} + 25 kg P.ha^{-1} + 20 ton.ha^{-1} of sheep manure + seed inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens*, Bio-organic: 40 ton.ha^{-1} of sheep manure + seed inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*, in solecropping and intercropping

نسبت برابری زمین

شاخص نسبت برابری زمین (LER) یکی از شاخص‌هایی است که برتری کشت مخلوط را نسبت به کشت خالص نشان می‌دهد (Fetene, 2003) و به‌طور گسترده‌ای کارایی استفاده از زمین در کشت مخلوط را توصیف می‌کند (Mead & Willey, 1980). این شاخص از حاصل جمع دو جزء تشکیل شده است. در جزء اول (مربوط به گیاه غله) عملکرد دانه تریتیکاله در کشت مخلوط بر عملکرد دانه تریتیکاله در کشت خالص تقسیم می‌شود و در جزء دوم، عملکرد دانه نخود در کشت مخلوط بر عملکرد دانه نخود در کشت خالص تقسیم می‌شود (جدول ۴). اگر عدد حاصل از هر جزء بیشتر از ۰/۵ باشد، نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط در جزء مربوطه است.

در تمام تیمارهای آزمایش، نسبت برابری زمین کل بالاتر از یک بود که نشان‌دهنده مطلوب بودن سامانه کشت مخلوط تریتیکاله و نخود می‌باشد (جدول ۶). نتایج تجزیه واریانس شاخص برابری زمین نشان داد، شاخص برابری زمین برای تریتیکاله، نخود و کل به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر رژیم آبیاری قرار گرفت (جدول ۶). تنش آبی سبب افزایش نسبت برابری زمین تریتیکاله، نخود و کل به‌ترتیب به‌میزان ۳۹/۶، ۶۵/۳ و ۵۱/۴ درصد نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی شد. (جدول ۷). برخی از پژوهشگران نیز، در کشت مخلوط جو/نخود (Mohavieh Asadi et al., 2019) و جو/باقلا (Niksirat et al., 2018) نتایج مشابهی را به‌دست آوردند.

شاخص برابری زمین در نخود تحت تأثیر سامانه کودی نیز قرار گرفت (جدول ۶). نسبت برابری زمین برای نخود، در تیمارهای کود تلفیقی و زیستی- آلی به‌طور معنی‌دار و به‌ترتیب به‌میزان ۲۶/۷ و ۲۱/۴ درصد بیشتر از شاهد (کود شیمیایی) بود (جدول ۷). نتایج به‌دست آمده (شکل ۵) نشان داد، بیشترین عملکرد نخود در کشت مخلوط و در سامانه‌های کودی تلفیقی و زیستی- آلی مشاهده شد که با هم اختلاف معنی‌داری نیز نداشتند. با توجه به اینکه نسبت برابری زمین رابطه مستقیمی با عملکرد محصول در کشت مخلوط دارد (جدول ۴)، نسبت برابری زمین در این تیمارها نیز بیشترین میزان را

به خود اختصاص داده است. سعیدی و همکاران (Saeidi et al., 2019) در کشت مخلوط گلرنگ/باقلا نیز، نتایج مشابهی را به‌دست آوردند، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه گلرنگ و بیشترین نسبت برابری زمین، در تیمار کود تلفیقی (۶۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و فسفر + ازتوبارور ۱ و ۲) به‌دست آمد.

جدول ٦- تجزیه واریانس اثر رژیم کم آبیاری و سامانه کودی بر نسبت برابری زمین، نسبت رقابتی، غالبیت و شاخص بهره‌وری سیستم کشت مخلوط تریتیکاله با نخود

Table 6- Analysis of variance for effect of deficit irrigation regime and fertilizer system on the land equivalent ratio (LER), competitive ratio (CR), aggressivity (A), and system productivity index (SPI) of triticale and chickpea intercropping

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares							
		نسبت برابری زمین LER			نسبت رقابتی CR		غالبیت A		شاخص بهره‌وری SPI
		تریتیکاله Triticale	نخود Chickpea	کل Total	تریتیکاله Triticale	نخود Chickpea	تریتیکاله Triticale	نخود Chickpea	
تکرار (R) Replication	2	0.0131^{ns}	0.0006^{ns}	0.0081^{ns}	0.0227^{ns}	0.0219^{ns}	0.0774^{ns}	0.0774^{ns}	34382^{ns}
رژیم آبیاری (Ir) Irrigation regime	1	0.2473**	0.4802**	1.4000**	0.2112^{ns}	0.1300^{ns}	0.1494^{ns}	0.1494^{ns}	10689609**
خطای (الف) Error (a)	2	0.0036	0.0091	0.0016	0.0595	0.0452	0.0916	0.0916	101286
سامانه کودی Fertilizer system (Fs)	2	0.0032^{ns}	0.0381**	0.0247^{ns}	0.2750**	0.1168**	0.2404*	0.2404*	1806012**
Ir × Fs	2	0.0022^{ns}	0.0024^{ns}	0.0089^{ns}	0.0415^{ns}	0.0106^{ns}	0.0021^{ns}	0.0021^{ns}	1123474**
خطای (ب) Error (b)	8	0.0092222	0.0018167	0.0141889	0.0148778	0.0115361	0.0317889	0.0317889	35758.27
ضریب تغییرات CV€ (%)		13.83	6.55	8.85	10.89	11.51	11.22	12.63	5.20

* و **: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد. ns: غیرمعنی‌داری.

* and **: significant at the 5% and 1% probability levels, respectively; ns: non significant; €: Coefficient of variation

گیاهان زراعی که با تراکم بالا کشت می‌شوند (مانند غلات) به مقادیر نیتروژن بیشتری احتیاج دارند که از خاک برداشت می‌کنند (Barker, 2016). زمانی که در کشت مخلوط تریتیکاله با نخود، از کود شیمیایی به‌ویژه نیتروژن به‌مقدار زیاد استفاده شود، تریتیکاله از نیتروژن قابل دسترس استفاده نموده و با افزایش زیست‌توده، از طریق سایه‌اندازی بر روی نخود، عملکرد نخود را در کشت مخلوط کاهش داده و به‌دنبال آن، نسبت برابری زمین برای نخود نیز کاهش پیدا می‌کند. نیک سیرت و همکاران (Niksirat et al., 2017) نیز در پژوهشی بر روی غلات و حبوبات نتیجه گرفتند، که رقابت اصلی بین رقم‌های جو با نخود و باقلا بر سر جذب نور می‌باشد. جو نسبت به نخود و باقلا سریع‌تر جوانه می‌زند و سطح زمین را می‌پوشاند، بنابراین در طول فصل رشد بر روی نخود و باقلا سایه‌اندازی دارد، که این سبب یک برتری در جذب نور برای جو شده و با افزایش مقدار فتوسنتز برتری عملکردی گیاه جو را رقم می‌زنند.

در برخی از بررسی‌هایی که بر روی کشت مخلوط گندم یا جو با نخود یا ماشک انجام شده، نسبت برابری زمین غلات روی نسبت برابری زمین حبوبات اثر منفی داشته است. همچنین، در تحقیقاتی که بر روی کشت مخلوط گندم یا جو با حبوبات انجام شد، نیتروژن به‌فرم شیمیایی بر نسبت برابری زمین حبوبات تأثیر منفی داشت (Pelzer et al., 2014). بر اساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش محسن آبادی و

همکاران (Mohsen Abadi et al., 2008) بر روی کشت مخلوط جو/ماشک، بالاترین میزان نسبت برابری زمین (LER=1.14) در تیمار عدم کاربرد نیتروژن مشاهده شد. مطابق با یافته‌های پژوهش حاضر، با کاربرد نیتروژن به‌فرم شیمیایی، سودمندی کشت مخلوط کاهش یافت. همچنین، هم‌روند با نتایج پژوهش حاضر، پژوهش راعی و همکاران (Raei et al., 2020) بر روی کشت مخلوط لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) و خردل سیاه (*Brasassica nigra* L.) نشان داد، بیشترین نسبت برابری زمین در تیمار کود تلفیقی (کود زیستی ازتوبارور ۱ و ۲ + کاربرد کامل کود شیمیایی نیتروژن) به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده از پژوهش مشابه دیگری نیز نشان داد که در سیستم کشت مخلوط گلرنگ و باقلا، بیشترین میزان نسبت برابری زمین در تیمار کود تلفیقی (کود زیستی ازتوبارور ۱ و فسفات بارور ۲ + ۶۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و سوپرفسفات تریپل) حاصل شد (Saeidi et al., 2018).

جدول ۷- اثرات رژیم آبیاری و سامانه کودی بر نسبت برابری زمین، غالبیت و نسبت رقابتی در کشت مخلوط تریتیکاله و نخود

Table 7- Effects of irrigation regime and fertilizer system on the land equivalent ratio (LER), aggressivity (A), and competitive ratio (CR) of triticale and chickpea

تیمار Treatment	نسبت برابری زمین LER			غالبیت A		نسبت رقابتی CR	
	تریتیکاله Triticale	نخود Chickpea	کل Total	تریتیکاله Triticale	نخود Chickpea	تریتیکاله Triticale	نخود Chickpea
رژیم آبیاری Irrigation regime (Ir)							
مطلوب Normal	0.58b*	0.49b	1.07b	0.08a	-0.08b	1.23a	1.02a
تنش آبی Water stress	0.81a	0.81a	1.62a	0.00a	0.00a	1.01a	0.85a
سامانه کودی Fertilizer system (Fs)							
شیمیایی £ Chemical	0.72a	0.56b	1.28a	0.32a	-0.32b	1.37a	0.77b
تلفیقی ££ Integrated	0.70a	0.71a	1.41a	-0.03b	0.03a	0.99b	1.01a
زیستی- آلی ¥ Bio-organic	0.67a	0.68a	1.35a	-0.02b	0.02a	1.00b	1.02a

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای جدید دانکن، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

£: کود شیمیایی (۵۰ کیلوگرم فسفر بر هکتار و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن برهکتار) ، ££: کود تلفیقی (۲۵ کیلوگرم فسفر بر هکتار، ۷۵ کیلوگرم نیتروژن بر هکتار و۲۰ تن کود گوسفندی بر هکتار + تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*) ، ¥: کود زیستی- آلی (۴۰ تن بر هکتار کود گوسفندی، تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*)

* Means in each column followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using the Duncan's new multiple range test. £: Chemical (50 kg $P.ha^{-1}$ and 150 kg $N.ha^{-1}$), ££: Integrated (25 kg $P.ha^{-1}$, 75 kg $N.ha^{-1}$ and 20 $ton.ha^{-1}$ of sheep manure + inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*), ¥: Bio-organic (40 $ton.ha^{-1}$ of sheep manure + inoculated with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*)

غالبیت

شاخص غالبیت (A) حاصل تفریق نسبت برابری زمین در غله و لگوم است (جدول ۴) و به‌کمک این شاخص، میزان محصول اضافه تولید شده توسط هر گیاه، نسبت به گیاه دیگر در کشت مخلوط تعیین می‌شود (Foster & Gilchrist., 1965). گیاه غالب الزاماً گیاهی با زیست‌توده بیشتر نیست. بلکه گیاهی است که شاخ و برگ آن در وضعیت مناسب‌تری نسبت به سایر گیاهان رقابت‌کننده قرار گرفته باشد. مثلاً، رقابت برای نور، باعث کاهش نور مؤثر مورد نیاز برای فتوسنتز گیاه مغلوب می‌شود (Mazaheri, 1998).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، غالبیت تریتیکاله و نخود به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد تحت تأثیر سامانه کودی قرار گرفت (جدول ۵). شاخص غالبیت تریتیکاله در شرایط استفاده از کود شیمیایی نیتروژن مثبت بود و بیشترین مقدار را نشان داد. با کاربرد کود تلفیقی و زیستی- آلی شاخص غالبیت تریتیکاله به‌طور معنی‌داری

نسبت به شرایط کاربرد کود نیتروژن کاهش یافت. اگر چه شاخص غالبیت تریتیکاله در شرایط استفاده از کود زیستی- آلی کمتر از شرایط استفاده از کود تلفیقی بود، امّا این دو تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند (جدول ۷). در مقابل، شاخص غالبیت در گیاه نخود در پاسخ به کاربرد سامانه‌های مختلف کودی، روند متفاوتی را نشان داد. به‌طوری‌که، در شرایط استفاده از کود زیستی- آلی بیشترین شاخص غالبیت نخود مشاهده شد. اگرچه کاربرد کود زیستی- آلی و تلفیقی تفاوت معنی‌داری به لحاظ این صفت نشان ندادند. امّا، در شرایط کاربرد کود شیمیایی شاخص غالبیت نخود به‌طور معنی‌داری نسبت به سامانه‌های تلفیقی و زیستی- آلی کاهش یافت (جدول ۶).

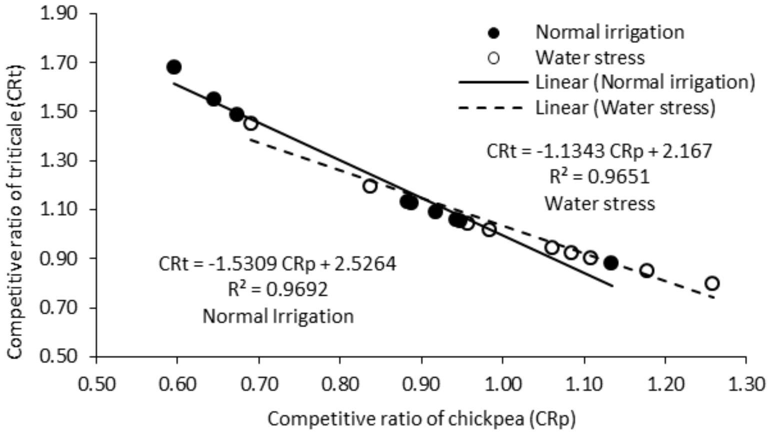
در شرایط کشت هم‌زمان تریتیکاله و نخود (مانند شرایط آزمایش حاضر)، جوانه‌زنی تریتیکاله سریع‌تر از نخود رخ می‌دهد و بنابراین، ریشه‌های آن قبل از نخود در خاک گسترش می‌یابد (Karpenstein-Machan et al., 2000). از این رو، در تیمارهایی که کود شیمیایی کامل دریافت کرده‌اند، نسبت به تیمارهای تلفیقی و زیستی- آلی، تریتیکاله در مراحل اولیه رشد رویشی، از نیتروژن قابل دسترس در خاک استفاده بیشتری می‌کند و جذب بیشتر نیتروژن سبب رشد اولیه رویشی بیشتر تریتیکاله و برتری رقابتی آن نسبت به نخود می‌شود. امّا، در تیمارهای کود تلفیقی و زیستی- آلی، با توجه به رهاسازی آهسته کود نیتروژن و سایر عناصر مورد نیاز توسط کودهای آلی، تریتیکاله نمی‌تواند از اختلاف فازی که در جوانه‌زنی با نخود دارد، بهره ببرد و برتری رقابتی پیدا کند.

در طول فصل رشد نیز به‌دلیل رهاسازی آهسته عناصر غذایی در کودهای زیستی- آلی و تلفیقی و برآورده نشدن نیاز نیتروژنی تریتیکاله، این گیاه نمی‌تواند به برتری رقابتی دست یابد. در مقابل، گیاه نخود به‌دلیل نیاز کمتر به کود نیتروژن می‌تواند از روند آهسته آزادسازی نیتروژن و سایر عناصر غذایی در تیمارهای تلفیقی و زیستی- آلی حداکثر بهره را برده و غالبیت جزئی بیابد. به عبارت کوتاه‌تر، می‌توان گفت که با توجه به نیاز کودی متفاوت تریتیکاله و نخود، تولید زیست‌توده و سایه‌اندازی تریتیکاله در تیمارهای تلفیقی و زیستی- آلی نسبت به تیمار کود شیمیایی کمتر شده و در نتیجه، غالبیت نخود نسبت به تریتیکاله افزایش جزئی پیدا کرده است. نیتروژن تأثیر خود را از طریق تغییر دادن گونه غالب نشان می‌دهد (Gliessman, 2001).

نتایج بعضاً متناقضی در مورد اثر منابع نیتروژن بر غالبیت غلات یا حبوبات در کشت مخلوط آن‌ها گزارش شده است. به‌عنوان مثال، برخی از تحقیقات نشان دادند که در کشت مخلوط غلات و حبوبات، معمولاً غلات به‌عنوان گیاه غالب و حبوبات به‌عنوان گیاه مغلوب شناخته می‌شوند (Haynes, 1980). در مقابل نتایج برخی دیگر از پژوهش‌ها (Nakhzari Moghaddam, 2016; Banik et al., 2006) نشان داد که، در کشت مخلوط جو و نخودفرنگی با کاربرد کود شیمیایی نیتروژن، جو گیاه غالب و نخودفرنگی گیاه مغلوب بود. امّا در پژوهش دیگری (Mariotti et al., 2006) بر روی کشت مخلوط گندم/ماشک و جو/ماشک در سامانه کودی زیستی، رقابت بین گونه‌ای مشاهده شد و غالبیت غلات کمتر از حبوبات بود.

نسبت رقابتی

استفاده از شاخص نسبت رقابتی (CR) روش دیگری برای ارزیابی رقابت، بین گونه‌های مختلف است (Willey & Rao, 1980). موفقیت یک گیاه در رقابت با سایر گیاهان، به سرعت رشد ریشه، میزان رشد نسبی شاخساره و تقاضای گیاه برای آب بستگی دارد (Mazaheri, 1998). این شاخص برای هر کدام از اجزای کشت مخلوط، از تقسیم نسبت برابری زمین یکی از اجزای کشت مخلوط بر نسبت برابری زمین جزء دیگر کشت مخلوط به‌دست می‌آید (جدول ۳). طبق معادله نسبت رقابتی (جدول ۳) و با توجه به یکسان بودن نسبت کاشت تریتیکاله به نخود (۱:۱)، نسبت رقابتی هر گیاه، رابطه مستقیمی با نسبت برابری زمین آن گیاه دارد. شاخص نسبت رقابتی در تریتیکاله و نخود در شرایط مطلوب رطوبتی و تنش آبی دارای رابطه منفی خطی با یکدیگر بودند (شکل ۶). وجود رابطه منفی در این شاخص را برخی دیگر از پژوهشگران نیز تأیید کرده‌اند (Niksirat et al., 2018; Mohavieh Asadi et al., 2019).



شکل ٦- رابطه نسبت رقابتی تریتیکاله و نخود تحت آبیاری مطلوب و تنش آبی

Fig. 6- The relationship between the competitive ratio of triticale and chickpea under regular irrigation and water stress conditions

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که نسبت رقابتی تریتیکاله و نخود به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر سامانه کودی قرار گرفتند (جدول ۶). تریتیکاله و نخود در سامانه‌های کودی تلفیقی و زیستی- آلی نسبت به شاهد (کود شیمیایی نیتروژن) رفتار متفاوتی را نشان دادند. که احتمالاً به‌دلیل تفاوت در نیاز کودی آن‌ها می‌باشد. معمولاً غلات از جمله تریتیکاله به مقدار زیاد نیتروژن در خاک واکنش مثبت نشان می‌دهند، امّا همان میزان نیتروژن خاک باعث کندی فعالیت باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن شده و احتمالاً به‌علت عدم دسترسی یکنواخت گیاه در سرتاسر فصل رشد به منبع نیتروژن، رشد گیاه نخود را کاهش می‌دهد (Mazaheri, 1999). بنابراین، با افزایش قابلیت دسترسی به نیتروژن که معمولاً با کاربرد کودهای شیمیایی حاصل می‌شود، ظرفیت رقابتی غلات زیاد می‌شود و نسبت رقابتی آن‌ها افزایش پیدا می‌کند، درحالی‌که با دسترسی آهسته‌تر به نیتروژن که در شرایط استفاده از کودهای تلفیقی و به‌ویژه کود زیستی رخ می‌دهد، توانایی رقابتی غلات کاهش پیدا کرده، در نتیجه نسبت رقابتی کمتری به‌دست می‌آید (Dhima et al., 2007). همچنین، در شرایط استفاده از کودهای زیستی- آلی و تلفیقی، حبوبات که نیاز کمتری به نیتروژن دارند و روند آهسته در آزادسازی نیتروژن از کودهای زیستی- آلی و تلفیقی تأمین‌کننده نیاز آن‌ها است، از توانایی رقابتی بیشتری نسبت به شرایط استفاده از کود شیمیایی برخوردار خواهند شد. در پژوهشی بر روی کشت مخلوط کلزا و نخود فرنگی تحت سطوح مختلف کود نیتروژن (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ کیلوگرم بر هکتار)، برتری رقابتی کلزا نسبت به نخود فرنگی مشاهده شد (Fallah et al., 2014). همچنین همروند با نتایج پژوهش حاضر، پژوهش دیگری نشان داد، در کشت مخلوط غلات و سویا، با افزایش سطح نیتروژن، نسبت رقابتی سویا کاهش پیدا کرد، که این کاهش نسبت رقابتی سویا ممکن است به‌دلیل افزایش رقابت بین اجزای کشت مخلوط در شرایط کاربرد بالای کود نیتروژن باشد (Layek et al., 2014).

بهره‌وری سیستم

بهره‌وری سیستم (SPI[1]) شاخصی است که برای ارزیابی اجزای کشت مخلوط استفاده می‌شود و عملکرد محصول ثانویه را بر حسب محصول اولیه استاندارد می‌کند (Agegnehu et al., 2006). نتایج تجزیه واریانس نشان داد، برهم‌کنش رژیم آبیاری × سامانه کودی اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر این شاخص داشت (جدول ۶). در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین میزان بهره‌وری سیستم (۴۹۷۹/۲) در تیمار کود تلفیقی به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با دو منبع دیگر کودی داشت و کمترین میزان بهره‌وری سیستم (۳۹۱۴/۷) در کود تیمار زیستی- آلی به‌دست آمد (شکل ۷). در شرایط تنش آبی، بیشترین میزان بهره‌وری سیستم در تیمار کود تلفیقی (۳۴۳۱/۰) به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار کود زیستی- آلی نداشت. امّا، با کمترین مقدار شاخص بهره‌وری سیستم که در تیمار کود شیمیایی (۱۹۱۰/۱) به‌دست آمد، اختلاف معنی‌دار نشان داد

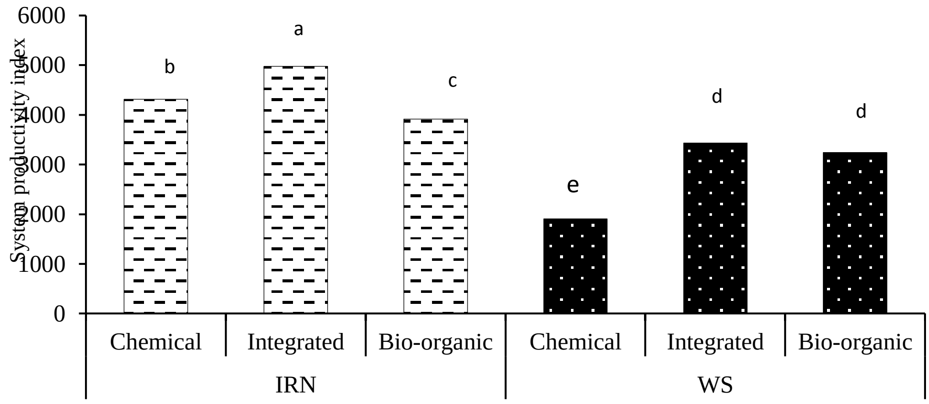
1- System productivity index

(شکل ۷).

طبق معادله شاخص بهره‌وری سیستم (جدول ۴)، با توجه به اینکه عملکرد حبوبات در کشت خالص و مخلوط، با عدد به‌دست آمده از معادله شاخص بهره‌وری سیستم رابطه مستقیمی دارد، از این رو، با توجه به اینکه بیشترین عملکرد دانه نخود مربوط به تیمار کود تلفیقی و تحت آبیاری مطلوب بوده، بیشترین میزان شاخص بهره‌وری سیستم نیز در این تیمار مشاهده شد. مطالعات زیادی برتری تیمارهای تلفیقی را نشان داده‌اند. از جمله، دودمان و همکاران (Doodeman et al., 2020) در پژوهشی بر روی کشت مخلوط جو و خلر نشان دادند، بیشترین شاخص بهره‌وری سیستم در تیمار کود تلفیقی (سوپر فسفات تریپل + فسفات زیستی بارور ۲) در شرایط تنش آبی به‌دست آمد. همچنین، در پژوهش مشابهی که بر روی کشت مخلوط گلرنگ/باقلا انجام شد، بیشترین بهره‌وری سیستم در سامانه کودی تلفیقی (۶۰ درصد کود شیمیایی + کود زیستی) و در شرایط آبیاری مطلوب به‌دست آمد (Saeidi et al., 2019). در پژوهش دیگری بر روی کشت مخلوط گلرنگ/گاودانه (*Vicia ervilia* L.)، بیشترین بهره‌وری سیستم در سامانه کودی تلفیقی (کود گاوی + کود زیستی) با آبیاری مطلوب مشاهده شد (Jalilian et al., 2016). روستایی و همکاران (Rosataei et al., 2019) نتیجه گرفتند، کاربرد کود آلی رقابت بین سیاهدانه (*Nigella sativa*) شنبلیله (*Trigonella foenum*) را در کشت مخلوط کاهش می‌دهد، بنابراین بیشترین بهره‌وری سیستم را در سامانه کودی تلفیقی (کود شیمیایی + کود آلی) به‌دست آوردند. همچنین مجیدیان و همکاران (Majidian et al., 2009) در پژوهشی تحت شرایط تنش آبی نشان دادند که با کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و دامی، علاوه‌بر افزایش عملکرد دانه ذرت، می‌توان به کاهش استفاده از کودهای شیمیایی و بهبود ساختار خاک کمک کرد.

تنش آبی باعث کاهش ۵۵/۷، ۳۱ و ۱۷/۱ درصدی شاخص بهره‌وری سیستم به‌ترتیب در شاهد (شیمیایی) و تیمارهای تلفیقی و زیستی- آلی شد (شکل ۷). کاهش بیشتر شاخص بهره‌وری سیستم در شرایط استفاده از کود شیمیایی (۵۵/۷ درصد) نشان می‌دهد، حساسیت سامانه کشت مخلوط به تنش آبی در شرایط استفاده از کود نیتروژن نسبت به شرایط استفاده از کود زیستی- آلی و تلفیقی بیشتر بوده است. بارکر (Barker, 2016) معتقد است که هر چه از کود شیمیایی نیتروژن در مقادیر بالاتری استفاده شود، نیتروژن از طریق تأثیر بر روی تعادل هورمونی گیاهان، سبب افزایش رشد شاخساره‌ها شده و از رشد ریشه‌ها ممانعت می‌کند. به عبارتی، نسبت رشد اندام‌های هوایی به ریشه افزایش می‌یابد. این عدم تعادل در رشد اندام‌های هوایی نسبت به ریشه سبب تعرق بیشتر گیاهان در سامانه کشت مخلوط شده و خیلی سریع (نسبت به سامانه‌های دیگر کودی: زیستی- آلی و تلفیقی) نیمرخ خاک را از آب تهی می‌کند. بنابراین، گیاهان حساسیت بیشتری نسبت به تنش آبی به‌ویژه تنش آبی انتهای فصل پیدا می‌کنند. در نتیجه، در شرایط استفاده از کود شیمیایی نسبت به شرایط استفاده از کود زیستی- آلی و تلفیقی اثرات منفی تنش آبی تشدید می‌شود و بهره‌وری سیستم کاهش پیدا می‌کند. نتایجی مشابه از سایر پژوهش‌ها (Ercoli et al., 2008; Herwaarden, 1998; Niazi Ardakani et al., 2020) یافته‌های پژوهش حاضر را تأیید می کنند.

با توجه به نتایج پژوهش حاضر، کمترین درصد کاهش بهره‌وری سیستم به‌واسطه شرایط تنش آبی، نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی، مربوط به تیمار کود زیستی- آلی (۱۷/۱ درصد) و سپس کود تلفیقی (۳۱ درصد) بود (شکل ۷). این کاهش کمتر می‌تواند به‌واسطه استفاده از کود حیوانی به‌عنوان ماده آلی باشد که سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک شده و این مورد در کنار اثراتی که باکتری‌های *آزوسپیریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس* در کاهش اثرات نامطلوب تنش آبی داشته است، سبب کاهش اثرات مخرب تنش و بنابراین، کاهش کمتر شاخص بهره‌وری سیستم در شرایط تنش آبی نسبت شرایط مطلوب رطوبتی شده است. در همین راستا، گشسبی و همکاران (Goshasbi et al., 2021) در پژوهشی نتیجه گرفتند که استفاده از کودهای زیستی به‌ویژه *آزوسپیریلوم* و *سودوموناس* می‌تواند اثرات منفی تنش آبی را در گیاه آویشن (*Thymus vulgaris* L.) را کاهش می‌دهد. همچنین، در مورد اثرات مثبت مواد آلی بر کاهش اثرات تنش آبی، برخی از مطالعات نشان دادند که مواد آلی از طریق تشکیل خاکدانه‌ها و حفظ ساختمان خاک، منجر به افزایش ظرفیت آب قابل دسترس ریشه می‌شود (Huntington, 2006).



شکل ۷- شاخص بهره‌وری سیستم در کشت مخلوط تریتیکاله و نخود

Figure 6- System productivity index of triticale and chickpea intercropping

میانگین‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون چند دامنه‌ای جدید دانکن، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

شیمیایی: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر ، تلفیقی: ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۲۵ کیلوگرم در هکتار فسفر + ۲۰ تن در هکتار کود گوسفندی + تلقیح بذر با باکتری‌های *آزوسپریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس*، زیستی- آلی: ۴۰ تن در هکتار کود گوسفندی + تلقیح بذر با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپریلوم براسیلنس*، IRN: آبیاری مطلوب و WS: تنش آبی

The means followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level using the Duncan's new multiple range test. Chemical: 150 kg N.ha^{-1} + 50 kg P.ha^{-1}, Integrated: 75 kg N.ha^{-1} + 25 kg P.ha + 20 ton.ha^{-1} of sheep manure + seed inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens*, Bio-organic: 40 ton.ha^{-1} of sheep manure + seed inoculation with *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense*, IRN: regular irrigation and WS: water stress

نتیجه‌گیری

در شرایط آبیاری مطلوب با توجه به اینکه بیشترین عملکرد تریتیکاله و نخود به‌واسطه کاربرد کود تلفیقی (۷۵ کیلوگرم بر هکتار کود نیتروژن + ۲۵ کیلوگرم بر هکتار سوپرفسفات تریپل + ۲۰ تن بر هکتار کود آلی + تلقیح با باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* و *آزوسپیریلوم براسیلنس*) به‌دست آمد، استفاده از این سامانه کودی در شرایط آبیاری مطلوب توصیه می‌شود. بررسی نتایج آزمایش حاضر نشان داد، قطع آبیاری پس از مرحله شیری، تنش شدیدی را در دوره پر شدن دانه بر تریتیکاله و نخود وارد کرد و موجب کاهش عملکرد دانه در هر دو گیاه شد. برهم‌کنش آبیاری × سامانه کودی در مورد تریتیکاله و نخود نشان داد، کمترین کاهش عملکرد دانه تریتیکاله (۳۰/۷ درصد) و نخود (۲۷ درصد) به‌واسطه تنش آبی در مقایسه با آبیاری مطلوب، در تیمار کود زیستی- آلی مشاهده شد. برهم‌کنش آبیاری × الگوی کاشت در مورد عملکرد دانه تریتیکاله و نخود نیز نشان داد که کمترین کاهش عملکرد دانه تریتیکاله (۳۸/۲ درصد) و نخود (۲۴/۳ درصد) به‌واسطه تنش آبی نسبت به آبیاری مطلوب در تیمار کشت مخلوط به‌دست آمد (در مقایسه با کشت خالص آن‌ها). تنش آبی انتهای فصل باعث افزایش نسبت برابری زمین تریتیکاله، نخود و کل نسبت به شرایط مطلوب رطوبتی به‌ترتیب به‌میزان ۳۹/۶، ۶۵/۳ و ۵۱/۴ درصد شد. بیشترین و کمترین درصد کاهش بهره‌وری سیستم در شرایط تنش آبی نسبت به آبیاری مطلوب، به‌ترتیب در تیمار کود شیمیایی (۵۵/۷ درصد) و زیستی- آلی (۱۷/۱ درصد) مشاهده شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت، در شرایط تنش آبی کشت مخلوط بر کشت خالص برتری داشت. همچنین، کاربرد کود زیستی- آلی، نسبت به کود تلفیقی و شیمیایی در شرایط تنش آبی سبب کاهش اثرات منفی تنش آبی شد. بنابراین، استفاده از کود زیستی (باکتری‌های *آزوسپیریلوم براسیلنس* و *سودوموناس فلورسنس* به همراه کود گوسفندی)، نه تنها اثرات منفی تنش آبی (قطع آبیاری) را تعدیل می‌کند، بلکه موجب کاهش استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی شده و اثرات مخرب زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد و گامی مؤثر در راستای رسیدن به کشاورزی پایدار است.

References

1. Abalos, D., Jeffery, S., Sanz-Cobena, A., Guardia, G., & Vallejo, A. (2014). Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Agriculture Ecosystem and Environment*, *189*, 136-144. https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.036 .
2. Agegnehu, G., Ghizaw, A., & Sinebo, W. (2006). Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. *European Journal Agronomy*, *25*(3), 202-207. https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.05.002.
3. Alizadeh, A. (2001). Soil-water-plant relationship. Emam Reza University, Mashhad, Iran. (In Persian)
4. Ashrafi-Saeidlou, S., Rasouli-Sadaghiani, M.H., Asadzadeh, F., & Barin, M. (2017). Modeling phosphate solubilization by *Pseudomonas fluorescens* using response surface methodology. *Water and Soil Science*, *26*(4.2), 299-324. (In Persian)
5. Atieno, M., Herrmann, L., Nguyen, H.T., Phan, H.T., Nguyen, N.K., Srean, P., Than, M.M., Zhiyong, R., Tittabutr, P., Shutsrirung, A., Brau, L., & Lesueur, D. (2020). Assessment of biofertilizer use for sustainable agriculture in the Great Mekong region. *Journal of Environmental Management*, *275*, 111300. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111300 .
6. Banik, P., Midya, A., Sarkar, B.K., & Ghose, S.S. (2006). Barley and pea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. *European Journal of Agronomy*, *24*, 325-332.
7. Barati, S., Basiri, M., Vahabi, M.R., & Mosadeghi, M.R. (2020). Effects of plant density and drought stress on alfalfa leaf water potential (*Medicago sativa* L.) and flesh grass (*Bromus tomentellus* Boiss) and soil weight moisture in solecropping and intercropping. *Rangeland*, *13*(1), 65-75. (In Persian with English Summary)
8. Barati, V., & Bijanzadeh, E. (2020). Grain yield and its components of triticale as affected by silicon foliar application, nitrogen fertilizer and water stress in reproductive phase. *Iranian Journal of Field Crop Research*, *18*(4), 435-439. https://doi.org/10.22067/jcesc.2020.88386 .
9. Barati, V., & Ghadiri, H. (2016). Effects of drought stress and nitrogen fertilizer on yield, yield components and grain protein content of two barley cultivars. Isfahan University of Technology-*Journal of Crop Production and Processing*, *6*(20), 191-207. http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.6.20.191 (In Persian with English Summary)
10. Barati, V., Ghadiri, H., Zand-Parsa, S., & Karimian, N. (2015). Nitrogen and water use efficiencies and yield response of barley cultivars under different irrigation and nitrogen regimes in a semi-arid mediterranean climate. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *61*(1), 15-32. https://doi.org/10.1080/03650340.2014.921286 .
11. Barker, A.V. (2016). Science and Technology of Organic Farming. Emam Reza University, Mashhad, Iran. (In Persian)
12. Basu, A., Prasad, P., Das, S.N., Kalam, S., Sayyed, R.Z., Reddy, M.S. & El Enshasy, H. (2021). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: Recent developments, constraints, and prospects. *Journal of Sustainability*, *13*(3), 1140. https://doi.org/10.3390/su13031140 .
13. Bedoussac, L., & Justes, E. (2011). A comparison of commonly used indices for evaluating species interactions and intercrop efficiency: Application to durum wheat–winter pea intercrops. *Field Crops Research*, *124*(1), 25-36. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.05.025
14. Benjamin, J.G., & Nielsen, D.C. (2006). Water deficit effects on root distribution of soybean, Field pea, and chickpea. *Field Crops Research*, *97*(2-3), 248-253. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.10.005 .
15. Carranca, C., De Varennes, A., & Rolston, D. (1999). Biological nitrogen fixation by fababean, pea, and chickpea, under field conditions, estimated by the 15N isotope dilution technique. *European Journal of Agronomy* *10*(1), 49-56. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(98)00049-5
16. Cowell, L.E., Bremer, E., & Kessel, C.V. (1989). Yield and N fixation of pea and lentil as affected by intercropping and N application. *Canadian Journal of Soil Science*, *69*(2), 243-251. https://doi.org/10.4141/cjss89-025 .
17. Cowell, L.E., Bremer, E., & Kessel, C.V. (1989). Yield and N fixation of pea and lentil as affected by intercropping and N application. *Canadian Journal of Soil Science*, *69*(2), 243-251.
18. Cui, Z., Zhang, F., Chen, X., Dou, Z., & Li, J. (2010). In-season nitrogen management strategy for winter wheat: Maximizing yields, minimizing environmental impact in an over-fertilization context. *Field Crops Research*, *116*(1-2), 140-146. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.12.004 .
19. Dhima, K.V., Lithourgidis, A.S., Vasilakoglou, I.B., & Dordas, C.A. (2007). Competition indices of common

vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Research, 100,* 249-256. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.07.008 .

20. Di Salvo, L.P., Ferrando, L., Fernandez-Scavino, A., & De Salamone, I.E.G. (2018). Microorganisms reveal what plants do not: Wheat growth and rhizosphere microbial communities after *Azospirillum brasilense* inoculation and nitrogen fertilization under field conditions. *Plant and Soil, 424*(1), 405-417. https://doi.org/10.1007/s11104-017-3548-7 .
21. Dolkhani, F., Bijanzadeh, E., Boostani, H.R., & Behpouri, A. (2021). Effect of nitrogen-fixing bacteria on yield and some macronutrients of two barley cultivars. *Soil Management and Sustainable Production, 11*(1), 117-134. https://doi.org/10.22069/ejsms.2021.18110.1959 . (In Persian with English Summary)
22. Doodeman, A., Mirshekari, B., Taheri, M., Farahvash, F., & Moradi, P. (2020). Effects of P organic and chemical fertilizers on yield and productivity indicators in barley and grass pea intercropping under Rainfed conditions. *Iranian Journal of Crop Science, 51*(3), 139-149. (In Persian with English Summary)
23. Duchene, O., Vian, J.F., & Celette, F. (2017). Intercropping with legume for agroecological cropping systems: Complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 240*, 148-161. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.019 .
24. Ercoli, L., Lulli, L., Mariotti, M., Masoni, A., & Arduini, I. (2008). Post-anthesis dry matter and nitrogen dynamics in durum wheat as affected by nitrogen supply and soil water availability. *European Journal of Agronomy, 28*, 138-147. https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.06.002 .
25. Fallah, S.A., Baharlooii, S., & Sooraki, A.A. (2014). Evaluation of competitive and economic indicators of intercropping of rapeseed (*Brassica napus* L.) and chickpeas (*Pisum sativum* L.) under different amounts of nitrogen fertilizer. *Journal of Agroecology, 6*(3), 571-581. https://doi.org/10.22067/jag.v6i3.23941 . (In Persian with English Summary)
26. Fetene, M. (2003). Intra-and inter-specific competition between seedlings of *Acacia etbaica* and a perennial grass (*Hyparrenia hirta*). *Journal of Arid Environments, 55*(3), 441-451. https://doi.org/10.1016/S0140-1963(03)00052-1 .
27. Foster, R.D., & Gilchrist, M.C. (1965). First single cluster corrosion test WANL hydrogen corrosion test facility *(No. WANL-TME-1072). Westinghouse* Electric Corp., Pittsburgh, Pa. (USA). Astronuclear Lab.
28. Gliessman, S.R., (2001). Agroecology. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian)
29. Goshasbi, F., Heidari, M., Sabbagh, S.K., & Hassan Makarian, H. (2021). Effect of water deficit stress and bio and non-bio-fertilizers on flowering branches yield, photosynthetic pigments and concentration of macro elements in thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Crop Science, 52*(2), 157-172. (In Persian with English Summary)
30. Grimes, D.W., Yamada, H., & Hughes, S.W. (1987). Climate-normalized cotton leaf water potentials for irrigation scheduling. *Agricultural Water Management, 12*(4), 293-304. https://doi.org/10.1016/0378-3774(87)90004-7 .
31. Hauggaard-Nielsen, H., & Jensen, E.S. (2001). Evaluating pea and barley cultivars for complementarily in intercropping at different levels of N availability. *Field Crop Research, 72*(3), 185-196. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00176-9 .
32. Hauggaard-Nielsen, H., & Jensen, E.S. (2005). Facilitative root interactions in intercrops In Root physiology from gene to function. *Springer*, *274*, 237-250. https://doi.org/10.1007/1-4020-4099-7_13 .
33. Hauggaard-Nielsen, H., Ambus, P., & Jensen, E.S. (2001). Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea-barley intercropping. *Field Crops Research, 70*(2), 101-109. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00126-5 .
34. Haynes, R.J., (1980). Competitive aspects of the grass-legume association. *Advances in Agronomy, 33*, 227-261. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60168-6 .
35. Herridge, D.F., Marcellos, H., Felton, W.L., Turner, G.L., & Peoples, M.B. (1995). Chickpea increases soil-N fertility in cereal systems through nitrate sparing and N_2 fixation. *Soil Biology and Biochemistry, 27*(4-5), 545-551. https://doi.org/10.1016/0038-0717(95)98630-7 .
36. Herwaarden, A.F.V. (1995). Carbon, Nitrogen and Water dynamics in dryland Wheat, with particular reference to haying-off.
37. Herwaarden, A.F.V., Farquhar, G.D., Angus, J.F., Richards, R.A., & Howe, G.N. (1998). Haying off, the negative grain yields response of dry land wheat to N fertilizer. I. Biomass, grain yield, and water use. *Australian Journal of Agricultural Research, 49*(1), 1067-1081. https://doi.org/10.1071/A97039 .

38. Hosseinali pour, B., Rahnama, A., & Farokhian Firouzi, A. (2020). The effect of drought stress on the growth and architecture of wheat roots in the vegetative growth stage. Iranian Journal of Field Crop Science, 51(1), 63-75.
39. Huntington, T.G. (2006). Available water capacity and soil organic matter. *Encyclopedia of Soil Science, 1*, 139-143.
40. Jalilian, J., Najafabadi, A., & Zardashti, M.R. (2016). The effect of intercropping patterns on some quantitative and qualitative characteristics of safflower forage and Cattle in high-input and low-input cultivation systems. *Journal of Crop Improvement*, *19*(2), 445-460. https://doi.org/10.22059/jci.2017.60427 . (In Persian with English Summary)
41. Karpenstein-Machan, M., & Stuelpnagel, R. (2000). Biomass yield and nitrogen fixation of legumes monocropped and intercropped with rye and rotation effects on a subsequent maize crop. *Plant and soil*, *218*, 215-232. https://doi.org/10.1023/A:1014932004926.
42. Kumar, B.L., & Gopta, D.S. (2015). Effective role of indigenous microorganisms for sustainable environment. *3Biotech*, *5*(6), 867-876. https://doi.org/10.1007/s13205-015-0293-6
43. Kumar, J., & Abbo, S. (2001). Genetics of flowering time in chickpea and its bearing on productivity in semiarid environments. *Advances in agroniomy*, *72*, 107-138. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(01)72012-3 .
44. Layek, J., Anup, D., Ramkrushna, G.I., Venkatesh, A., Verma, B.C., Roy, A., Panwar, A.S., & Ngachan, S.V. (2014). Improving productivity of *jhum* rice through agronomic management practices. In: Book of abstracts. National seminar on shifting cultivation (*Jhum*) in 21st century: Fitness and improvement. 28-29 November, 2014, at CPGS, CAU, Umiam, Meghalaya, p 65.
45. Linquist, B.A., Liu, L., van Kessel, C., & van Groenigen, K.J. (2013). Enhanced efficiency nitrogen fertilizers for rice systems: Meta-analysis of yield and nitrogen uptake. *Field Crops Research*, *154*, 246–254. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.08.014 .
46. Majidian, M., Ghalavand, A., Karimian, N., & Kamkar haghighi, A.A. (2009). Effect of moisture stress, nitrogen chemical fertilizer, fertilizer and combination of nitrogen fertilizer and fertilizer on yield, yield components, and efficiency of single cross 704 corn juice. *Water and Soil Sciences*, *12*(45), 417-432. http://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1387.10.3.7.4 . (In Persian with English Summary)
47. Marcellos, H., Felton, W.L., & Herridge, D.F. (1998). Chickpea in wheat-based cropping systems of northern New South Wales I. N_2 fixation and influence on soil nitrate and water. *Australian Journal of Agricultural Research*, *49*(3), 391-400. https://doi.org/10.1071/A97066 .
48. Mariotti, M., Masoni, A., Ercoli, L., & Arduini, I. (2006). Forage potential of winter cereal/legume intercrops in organic farming. *Italian Journal of Agronomy*, *1*(3), 403-412.
49. Mazaheri, D. (1998). Intercropping. Tehran University, Tehran, Iran. (In Persian)
50. Mead, R., & Willey, R. (1980). The concept of a land equivalent ratio and advantages in yields from intercropping. *Experimental Agriculture*, *16*, 217-228. https://doi.org/10.1017/S0014479700010978 .
51. Mohavieh Asadi, N., Bijanzadeh, E., & Behpouri, A. (2019). Evaluation of seed yield and competitive indices in relay intercropping of barley (*Hordeum vulgare* L.) with chickpea (*Cicer arietinum* L.) under late season low water stress. *Journal of Agroecology*, *11*(3), 1169-1182. https://doi.org/10.22067/jag.v11i3.79532 . (In Persian with English Summary)
52. Mohsen Abadi, G., Jahansooz, M., Chayichi, M., Rahmatian Mashhadi, R., Liaghat, A., & Savabeghi Firoozabadi, G. (2008). Evaluation of barley-vetch intercropping at different levels of nitrogen fertilizer. *International Journal of Agricultural Science and Technology*, *10*(1), 23-31. (In Persian with English Summary)
53. Naik, K., Mishra, S., Srichandan, H., Singh, P.K., & Sarangi, P.K. (2019). Plant growth promoting microbes: Potential link to sustainable agriculture and environment. *Biocatalysis and Agricultural biotechnology*, *21*, 101326. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101326 .
54. Nakhzari Moghaddam, A. (2016). Effect of nitrogen and different intercropping arrangements of barley (*Hordeum vulgare* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) on forage yield and competitive indices. *Journal of Agroecology*, *8*(1), 47-58. https://doi.org/10.22067/jag.v8i1.12534 . (In Persian with English Summary)
55. Niazi Ardakani, M., Barati, V., & Bijanzadeh, E. (2019). Physiological and biochemical characteristics of barley as affected by biofertilizer, crop residues and water stress. *Plant process and function*, *9*(36), 279-298. http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1399.9.36.23.6 . (In Persian with English Summary)
56. Niazi Ardakani, M., Barati, V., Bijanzadeh, E., & Behpouri, A. (2020). Effects of different nitrogen fertilizer

sources and crop residues on yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) under late season water stress. *Journal of Agroecology, 12*(1), 107-126. https://doi.org/10.22067/jag.v12i1.79989. (In Persian with English Summary)

57. Niksirat, H., Bijanzadeh, E., & Naderi, R. (2018). Effect of cutting off irrigation on yield and competition and economic indices of intercropping barley with legumes. *Journal of Agroecology, 10*(2), 444-458. https://doi.org/10.22067/jag.v10i2.55828 . (In Persian with English Summary)
58. Niksirat2017, S.H., Bijanzadeh, E., & Behpouri, A. (2017). Effect of cutting off irrigation on yield and advantage indices of barley intercropped with legumes. *Plant Eco physiology, 10*(34), 46-58. (In Persian with English Summary)
59. Peksen, E., & Gulumser, A. (1995). The Importance of Intercropping in the Black Sea region and possibilities of using some edible legumes and graminae plants in intercropping system. *Technics Congress in the Development of Black Sea Region Agriculture*, 307-315.
60. Pelzer, E., Hombert, N., Jeuffroy, M.H., & Makowski, D. (2014). Meta- analysis of the effect of nitrogen fertilization on annual cereal-legume intercrop production. *Agronomy Journal, 106*(5), 1775-1786. https://doi.org/10.2134/agronj13.0590 .
61. Pilbeam, C.J., Wood, M., Harris, H.C., & Tuladhar, J. (1998). Productivity and nitrogen use of three different wheat-based rotations in North West Syria. *Australian Journal of Agricultural Research, 49*(3), 451-458. https://doi.org/10.1071/A97015.
62. Prasad, A.A., & Babu, S. (2017). Compatibility of *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens* in growth promotion of groundnut (*Arachis hypogea* L.). *Anais da Academia Brasileira de Ciências 89*, 1027-1040. https://doi.org/10.1590/0001-3765201720160617 .
63. Raei, Y., Sayyadi Ahmadabad, M., Ghassemi-Golezani, K., & Ghassemi, S. (2020). The effect of biological and chemical nitrogen fertilizers on pinto bean (*Phaseolus vulgaris* l.) and black mustard (*Brassica nigra* l.) intercropping. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30*(3), 21-40.
64. Reynders, L., & Vlassak, K. (1982). Use of *Azospirillum brasilense* as biofertilizer in intensive wheat cropping. *Plant and soil, 66*(2), 217-223. https://doi.org/10.1007/BF02183980.
65. Rezaei-Chiyaneh, E., Rasouli, Y., Jalilian, J., & Ghodsi, M. (2019). Evaluation of quantitative and qualitative yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) in intercropping affected by biological and chemical fertilizers in supplemental irrigation condition. *Journal of Agroecology, 11*(1), 69-85. https://doi.org/10.22067/jag.v11i1.71201.
66. Rosataei, M., Fallah, S., & Abbasi Surki, A. (2019). Effect of different fertilization systems (chemical, organic and integrated) on competitive and economic indices of fenugreek and black cumin intercropping. *Plant Production Technology, 18*(1), 159-174. (In Persian with English Summary)
67. Rupela, O.P., & Saxena, M.C. (1987). Nodulation and nitrogen fixation in chickpea. *The Chickpea*, 191-206.
68. Saeidi, M.R, Raei, Y., Amini, R., Pasban Eslam, B., & Rohi Saralan, A. (2019). Effect of nitrogenous and phosphorous biological and chemical fertilizers on growth, yield and fatty acid compositions of safflower intercropped with faba bean. *Journal of Crops Improvement, 20*(4), 769-784. https://doi.org/10.22059/jci.2018.260250.2052. (In Persian with English Summary)
69. Saeidi, M.R., Raei, Y., Amini, R., Taghizadeh, A., & Pasban Eslam, B. (2018). Evaluation of yield and protein content of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in intercropping with faba bean (*Vicia faba* L.) under biological and chemical fertilizers. *Agricultural Knowledge and Sustainable Production, 28*(4), 247-260. (In Persian with English Summary)
70. Singh, J.S., Pandey, V.C., & Singh, D.P. (2011). Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 140*(3-4), 339-353. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.017.
71. Ullah, S., Ashraf, M., Asghar, H.N., Iqbal, Z., & Ali, R. (2019). Plant growth promoting rhizobacteria-mediated amelioration of drought in crop plants. *Soil and Environment, 38*(1), 10-20.
72. Willey, R.W., & Rao, M.R. (1980). A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. *Experimental Agriculture, 16*(2): 117-125. https://doi.org/10.1017/S0014479700010802.

Contents

Analysis of phenology and net ecological production of Hyssopus officinalis using AEZ model under subtropical conditions of Southern Kerman **209**
Nazila Abousaeidi-Dolatabad, Mehrangiz Jowkar, Ahmad Aeen, Javad Taei-Semiromi, Zeinab Roozpeikar

The effect of type and amount of natural zeolite on yield and yield components of millet (*Panicum miliaceaum L.*) **223**
Zahra Rezaei, Mohammad Ali Behdani, Abbas Khashiei Siuki and Alireza Samadzadeh

Investigation of Aboveground Interspecific Interaction in the Intercropping Culture of Soybean (*Glycine max* (L) Merrill) and Niger (*Guizotia abyssinica* Cass) **239**
Meisam Namdari, Rahmat Abbasi, Hematollah Pirdashti and Faeze Zaefarian

The Effect of Planting Method and Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) Residue Compost on Yield and Yield Components of Corn (*Zea mays* L.) and some Properties of Soil **263**
Mohamad Tahmasebi, Mohamad Hossain Gharineh, Ali Moshatati and Aydin Khodaei-Joghan

Evaluation and Quantification of Ecosystem Services in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Agroecosystem **277**
Mostafa Koozehgar Kaleji, Hossein Kazemi, Behnam Kamkar[3], Hamid Amirnejad and Mohsen Hosseinalizadeh

Estimation of the Yield of Some Rainfed Crops in the Present Irrigated Lands of Iran **301**
Safora Jafar Nodeh, Afshin Soltani, Ramtin Joolaei, Shahrzad Mirkarimi and Ebrahim Zeinali

Evaluating the Sustainability Indices for Rapeseed (*Brassica napus* L.) Production Systems Using Emergy Analysis (Case Study: Kalaleh County, Golestan province) **319**
Samaneh Lotfi, Hossein Kazemi, Behnam Kamkar and Hamid Reza Shahhoseini

Effect of Competition on Morphological, Physiological and Productivity Characteristics in Soybean (*Glycine max* (L) Merrill) and Millet (*Panicum miliaceum* L.) Intercropping **337**
Meisam Namdari, Rahmat Abbasi, Hemmatolaah Pirdashti and Faezeh Zaefarian

Evaluation the of the Effect of Application of Superabsorbent and Mycorrhiza Inoculation on Nutrient Uptake, Water Use Efficiency and Yield of Potato (*Solanum tuberosum*) Plant in Deficit Irrigation Conditions **359**
Khosro Parvizi, Alireza Yazdanpanah and Behrouz Moradi-Ashour

Assessing the Environmental Parameters of the Rice (*Oryza sativa* L.) in the Second Cropping and Ratoon Systems using Life Cycle Assessment (LCA) **381**
Hematollah Pirdashti, Zahra Saber, Faezeh Mohammadi Kashka, Yaser Rahmati and Ali Motevali

Evaluation of Competitive Indices and Grain Yield of Triticale (× *Triticosecale* Wittmack) – Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Intercropping as Affected by Bio-Organic Fertilizer and Water Stress **403**
Iida Rashidipour, Vahid Barati and Ehsan Bijanzadeh

Journal of Agroecology (Quarterly)

Vol. 15 No. 2 Summer 2023

Published by: Ferdowsi University of Mashhad

Editor in charge: Prof. Alireza Koocheki

Editor in chief: Prof. Parviz Rezvani Moghaddam

Internal manager: Dr. Surur Khorramdel

Editorial Board:

Dr. Goodarz Ahmadvand, Faculty of Agriculture, BU-Ali Sina University, Hamadan

Prof. Morteza Barmaki, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili

Prof. Mohammad Pessarakli, Research Professor, School of Plant Sciences, the University of Arizona

Dr. Surur Khorramdel, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Adel Dabagh Mohammadi Nasab, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

Prof. Mehdi Rastgoo, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Parviz Rezvani Moghaddam, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Ahmad Zare Fazabadi, Agricultural Research Institute of Khorasan Razavi

Prof. Saeed Zehtab Salmasi, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

Dr. Hamid Shahandeh Research Soil Scientist, Soil and Crop Sciences Department, Texas A & M University

Prof. Mansour Ghorbanpour, Faculty of Agriculture, University of Arak

Prof. Alireza Koocheki, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Mohammad Galavi, Faculty of Agriculture, Zabol University

Prof. Mehdi Nassiri Mahallati, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Publisher: Ferdowsi University of Mashhad Press
Address: Journal of Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad,
P.O. Box: 91775-1163, Mashhad, Iran
Tel: +98-51– 38804654
Fax: +98–51–38787430
Email: agroecology@um.ac.ir
Web site: http://agry.um.ac.ir

Ferdowsi University of Mashhad

Vol. 15 No. 2

Summer 2023

Journal of Agroecology (Quarterly)

ISSN: 2008-7713

Contents

Analysis of phenology and net ecological production of Hyssopus officinalis using AEZ model under subtropical conditions of Southern Kerman 209
Nazila Abousaeidi-Delatabad, Mehrangiz Jowkar, Ahmad Aeen, Javad Taei-Semiromi, Zeinab Roozpeikar

The effect of type and amount of natural zeolite on yield and yield components of millet (*Panicum miliaceumm L.*) 223
Zahra Rezaei, Mohammad Ali Behdani, Abbas Khashei Siuki and Alireza Samadzadeh

Investigation of Aboveground Interspecific Interaction in the Intercropping Culture of Soybean (*Glycine max* (L) Merrill) and Niger (*Guizotia abyssinica* Cass) 239
Meisam Namdari, Rahmat Abbasi, Hematollah Pirdashti and Faeze Zaefarian

The Effect of Planting Method and Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) Residue Compost on Yield and Yield Components of Corn (*Zea mays* L.) and some Properties of Soil 263
Mohamad Tahmasebi, Mohamad Hossain Gharineh, Ali Moshatati and Aydin Khodaei-Joghan

Evaluation and Quantification of Ecosystem Services in Wheat (*Triticum aestivum.* L) Agroecosystem 277
Mostafa Koozehgar Kaleji, Hossein Kazemi, Behnam Kamkar[1], Hamid Amirnejad and Mohsen Hosseinalizadeh

Estimation of the Yield of Some Rainfed Crops in the Present Irrigated Lands of Iran 301
Safora Jafar Nodeh, Afshin Soltani, Ramtin Joolaei, Shahzad Mirkarimi and Ebrahim Zeinali

Evaluating the Sustainability Indices for Rapeseed (*Brassica napus* L.) Production Systems Using Emergy Analysis (Case Study: Kalaleh County, Golestan province) 319
Samaneh Lotfi, Hossein Kazemi, Behnam Kamkar and Hamid Reza Shahhoseini

Effect of Competition on Morphological, Physiological and Productivity Characteristics in Soybean (*Glycine max* (L) Merrill) and Millet (*Panicum miliaceam* L.) Intercropping 337
Meisam Namdari, Rahmat Abbasi, Hemmatolaah Pirdashti and Faezeh Zaefarian

Evaluation the of the Effect of Application of Superabsorbent and Mycorrhiza Inoculation on Nutrient Uptake, Water Use Efficiency and Yield of Potato (*Solanum tuberosum*) Plant in Deficit Irrigation Conditions 359
Khosro Parvizi, Alireza Yazdanpanah and Behrouz Moradi-Ashour

Assessing the Environmental Parameters of the Rice (*Oryza sativa* L.) in the Second Cropping and Ratoon Systems using Life Cycle Assessment (LCA) 381
Hematollah Pirdashti, Zahra Saber, Faezeh Mohammadi Kashka, Yaser Rahmati and Ali Motevali

Evaluation of Competitive Indices and Grain Yield of Triticale (× *Triticosecale* Wittmack) – Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Intercropping as Affected by Bio-Organic Fertilizer and Water Stress 403
Iida Rashidipour, Vahid Barati and Ehsan Bijanzadeh