نشریه علمی
بوم شناسی کشاورزی (فصلنامه)

جلد ۱۳ شماره ۴
زمستان ۱۴۰۰

(شماره پیاپی ۵۰)

شاپا: ۲۰۰۸-۷۷۱۳

عنوان مقالات

تأثیر روش‌های مدیریتی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در بوم‌نظام‌های کشاورزی استان اصفهان ۵۸۱
مجید کریمیان کلیشادرخی، علیرضا کوچکی و مهدی نصیری محلاتی

ارزیابی خدمات و پیلان کربن خاک در اکوسیستم‌های مختلف کشاورزی در استان خراسان ۵۹۳
علیرضا کوچکی و سرور خرم دل

اثر شدت عملیات خاک‌ورزی و سطوح نیتروژن بر روی برخی از ویژگی‌های خاک در تناوب زراعی ذرت-کلزا-ذرت..... ۶۱۹
سیدشهاب‌الدین معین‌الدینی، علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی و اعظم برزوئی

بررسی مزیت نسبی کشت مخلوط افزایشی کدوی تخم کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) تحت تأثیر تنش خشکی..... ۶۳۱
محسن معصومی، روح‌اله مرادی، نسیبه پورقاسمیان و مهدی نقی‌زاده

بررسی روابط بین نژادهای بومی گندم نان از خاستگاه‌های جغرافیایی سراسر ایران تحت شرایط آبیاری تکمیلی و دیم..... ۶۵۳
حسین حاتم‌زاده، صابر گلکاری، ایرج برتومی، رضا محمدی و سوک وایندو سینگ

تعیین شاخص‌های ارزیابی ظرفیت توسعه گردشگری کشاورزی ایران ۶۶۹
مجتبی زارع، عبدالمجید مهدوی دامغانی، حسین محمودی، فاطمه آقامیر و فائزه امدیان اردکانی

تأثیر تاریخ کاشت بر ویژگی‌های کمّی و کیفی یونجه حلزونی (*Medicago scutellata* L.) تحت تأثیر عمق کشت و میزان بذر مصرفی..... ۶۸۹
سعید شرفی و محمود رمرودی

ارزیابی صفات ریخت‌شناسی، عملکرد و اسانس ریحان (*Ocimum basilicum* L.) تحت تأثیر کاربرد کودهای آلی ۷۰۵
یوسف نصیری

بررسی کاربرد گوگرد و کودهای زیستی بر شاخص‌های رشدی، روند جذب و کارآیی مصرف نور نخود (*Cicer arietinum* L.)..... ۷۲۳
جعفر نباتی، احمد نظامی، افسانه یوسفی، احسان اسکوئیان و آرمین اسکوئیان

اثر نوع شخم، سطوح کود اوره و کاربرد قارچ مایکوریزا بر خصوصیات فیزیکی خاک و عملکرد و اجزای عملکرد ماش (*Vigna radiata* L.)..... ۷۳۹
بابک لطفی، عباس ملکی، محمد میرزایی حیدری، محمود رستمی‌نیا و فرزاد بابایی

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.

جلد۱۳ شماره ٤ زمستان ۱٤۰۰

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

اعضای هیئت تحریریه (به‌ترتیب حروف الفبا)

دکتر گودرز احمدوند، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان
دکتر محمد پسرکلی، استاد پژوهشی، دانشکده علوم گیاهی، دانشگاه آریزونا
دکتر سرور خرم دل، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر عادل دباغ محمدی نسب، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
دکتر مهدی راستگو، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر پرویز رضوانی مقدم، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر احمد زارع فیض آبادی، استاد مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان رضوی
دکتر سعید زهتاب سلماسی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
دکتر حمید شاهنده، پژوهشگر علوم خاک، گروه علوم خاک و گیاهان زراعی، دانشگاه تگزاس A & M
دکتر رضا قربانی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر علیرضا کوچکی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر محمد گلوی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
دکتر مهدی نصیری محلاتی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

نشانی: مشهد، میدان آزادی، پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، دبیرخانه نشریات علمی، دفتر نشریه بوم شناسی کشاورزی، صندوق پستی: ۱۱۶۳-۹۱۷۷۵
تلفن: ۰۵۱-۳۸۸۰۴۶۵۴ **نمابر:** ۰۵۱-۳۸۷۸۷۴۳۰
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

تأثیر روش‌های مدیریتی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در بوم‌نظام‌های کشاورزی استان اصفهان ۵۸۱

مجید کریمیان کلیشادرخی، علیرضا کوچکی و مهدی نصیری محلاتی

ارزیابی خدمات و بیلان کربن خاک در اکوسیستم‌های مختلف کشاورزی در استان خراسان ۵۹۳

علیرضا کوچکی و سرور خرم دل

اثر شدت عملیات خاک‌ورزی و سطوح نیتروژن بر روی برخی از ویژگی‌های خاک در تناوب زراعی ذرت-کلزا-ذرت ۶۱۹

سیدشهاب‌الدین معین‌الدینی، علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی و اعظم برزوئی

بررسی مزیت نسبی کشت مخلوط افزایشی کدوی تخم کاغذی (Cucurbita pepo L.) و آفتابگردان (Helianthus annuus L.) تحت تأثیر تنش خشکی ۶۳۱

محسن معصومی، روح‌اله مرادی، نسیبه پورقاسمیان و مهدی نقی‌زاده

بررسی روابط بین نژادهای بومی گندم نان از خاستگاه‌های جغرافیایی سراسر ایران تحت شرایط آبیاری تکمیلی و دیم ۶۵۳

حسین حاتم‌زاده، صابر گلکاری، ایرج برنوسی ، رضا محمدی و سوک وایندر سینگ

تعیین شاخص‌های ارزیابی ظرفیت توسعه گردشگری کشاورزی ایران ۶۶۹

مجتبی زارع، عبدالمجید مهدوی دامغانی، حسین محمودی، فاطمه آقامیر و فائزه اسدیان اردکانی

تأثیر تاریخ کاشت بر ویژگی‌های کمّی و کیفی یونجه حلزونی (*Medicago scutellata* L.) تحت تأثیر عمق کشت و میزان بذر مصرفی ۶۸۹

سعید شرفی و محمود رمرودی

ارزیابی صفات ریخت‌شناسی، عملکرد و اسانس ریحان (*Ocimum basilicum* L.) تحت تأثیر کاربرد کودهای آلی ۷۰۵

یوسف نصیری

بررسی کاربرد گوگرد و کودهای زیستی بر شاخص‌های رشدی، روند جذب و کارآیی مصرف نور نخود (*Cicer arietinum* L.) ۷۲۳

جعفر نباتی، احمد نظامی، افسانه یوسفی، احسان اسکوئیان و آرمین اسکوئیان

اثر نوع شخم، سطوح کود اوره و کاربرد قارچ مایکوریزا بر خصوصیات فیزیکی خاک و عملکرد و اجزای عملکرد ماش (*Vigna radiata* L.) ۷۳۹

بابک لطفی، عباس ملکی، محمد میرزایی حیدری، محمود رستمی‌نیا و فرزاد بابایی

اسامی ارزیابان جلد ۱۳ شماره ٤ (زمستان۱٤۰۰) نشریه بوم شناسی کشاورزی (به ترتیب الفبا)

دکتر نسیم ایزدی	دانشگاه بوعلی سینا همدان
مهندس حسن پرسا	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر حمیدرضا توکلی کاخکی	مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
دکتر مژگان ثابت تیموری	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر سرور خرم دل	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر سارا سنجانی	موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر
دکتر سیدمحمد سیدی	دانشگاه تربت حیدریه
دکتر الهام عزیزی	دانشگاه پیام نور سبزوار
دکتر حمیدرضا فلاحی	دانشگاه بیرجند
دکتر غلامعلی گزانچیان	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مشهد (طرق)
دکتر روح اله مرادی	دانشگاه کرمان
دکتر مهدی نصیری محلاتی	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر سمیه همایون	دانش آموخته دکتری- دانشگاه فردوسی مشهد

Introduction to the Persian Journal of Agroecology

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

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

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

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

This journal offers a forum for the re-building of a sustainable agriculture for the region. Using the ecological concepts and principles, local agroecologists can 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 تداوم 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.
- **صفحه آخر** شامل عنوان مقاله، چکیده انکلیسی و کلمات کلیدی همگی به زبان انگلیسی بوده و از ذکر اسامی و آدرس نویسندگان در این صفحه خودداری شود. چکیده انگلیسی برگردان کامل چکیده فارسی باشد.

فهرست منابع:

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

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

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

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

مثال‌هایی از نحوه نوشتن فهرست منابع در ذیل آمده است:

۱- مجلات:

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

۲- کتاب تالیف شده:

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

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

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

۴- مقاله در نشریه برخط (On-line):

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

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

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

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

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

۷- رساله‌های تحصیلی:

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

۸- کنفرانس‌ها ی علمی:

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

۹- گزارش‌های علمی:

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

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

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

۱۰- نرم افزار های کامپیوتری:

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

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

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

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

صندوق پستی: ۱۱۶۳-۹۱۷۷۵

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

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

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

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 581-592

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۵۹۲-۵۸۱

مقاله پژوهشی

تأثیر روش‌های مدیریتی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در بوم‌نظام‌های کشاورزی استان اصفهان

مجید کریمیان کلیشادرخی[۱]، علیرضا کوچکی[۲*] و مهدی نصیری محلاتی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۵/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۲۳

کریمیان کلیشادرخی، م.، کوچکی، ع و نصیری محلاتی، م.، ۱۴۰۰. تأثیر روش‌های مدیریتی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در بوم‌نظام‌های کشاورزی استان اصفهان. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۴): ۵۹۲-۵۸۱.

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر روش‌های مدیریتی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در بوم‌نظام‌های کشاورزی تحقیقی در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در سطح مزارع شهرستان‌های استان اصفهان انجام گرفت. ابتدا در هر یک از ۲۳ شهرستان استان اصفهان، شش مزرعه انتخاب و به‌منظور گروه‌بندی مزارع موردمطالعه، پرسش‌نامه‌ای تنظیم و از طریق مراجعه به زارعین تکمیل گردید. سپس براساس اطلاعات پرسش‌نامه‌ها، مزارع به سه گروه (مزارع کم نهاده، متوسط نهاده و پرنهاده) طبقه‌بندی شدند. در هر شهرستان دو مزرعه از هر گروه نهاده انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. عملیات نمونه‌برداری خاک مزارع به‌ازای هر هکتار، ازچهار نقطه مزرعه به‌صورت تصادفی انجام و خاک تا عمق ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری گردید. سپس با اختلاط نمونه‌های هر مزرعه، یک نمونه مرکب از هر مزرعه تهیه و با هدف تعیین خصوصیات فیزیکی وشیمیایی به آزمایشگاه منتقل گردید. نتایج نشان داد که پایداری خاک‌دانه‌ها، هدایت الکتریکی محلول خاک و میزان ماده آلی در بین سه نظام کشت (کم نهاده، متوسط نهاده و پرنهاده) مقادیر متفاوتی داشت و این تفاوت از لحاظ آماری معنی‌دار ($p<0.01$) بود. پایداری خاک‌دانه‌ها در نظام‌های زراعی کم نهاده دارای بیشترین مقدار (۰/۷۲) و در نظام‌های زراعی پرنهاده دارای کمترین مقدار (۰/۴۲) بود. خاک نظام‌های کم نهاده و پرنهاده به‌ترتیب دارای بیشترین وکمترین درصد ماده آلی (۲/۰۵٪ و ۱٪) بود. pH نمونه‌ها در بین سه نظام زراعی تفاوت آماری معنی‌داری نشان نداد.

واژه‌های کلیدی: پایداری خاک‌دانه، ماده آلی، نهاده، هدایت الکتریکی

مقدمه

به موازات رشد جمعیت انسان درکره زمین، نیاز به غذا افزایش یافته و به‌منظور تأمین غذای مورد نیاز جمعیت رو به رشد بشری، استفاده از روش‌های نوین کشاورزی و بهبود حاصلخیزی خاک ضروری به نظر می‌رسد. امروزه حفظ و بهبود حاصلخیزی خاک در بوم‌نظام‌های کشاورزی، تا حد زیادی وابسته به استفاده ازکودها و نهاده‌های شیمیایی می‌باشد. کاربرد این نهاده‌ها و روش‌های کشاورزی فشرده برای سلامت انسان، کیفیت محیط زیست و تنوع زیستی زیان‌آور می‌باشد (Faber et al., 2006; Azizi, 2009). بوم‌نظام‌های کشاورزی نوعی نظام‌های اکولوژیکی محسوب می‌شوند که‌کارکرد آن‌ها در جهت تولیدات کشاورزی سازمان‌دهی شده و خصوصیات تولید آن‌ها براساس مصرف نهاده‌های خارجی تعیین می‌گردد (Koocheki et al., 2005).

نتیجه ساده‌سازی و کاهش تنوع در این بوم‌نظام‌ها، ایجاد سیستم‌های مصنوعی است که به مداخلات بشری نیاز دارد؛ در حالی

۱-دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۲- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: akooch@um.ac.ir)
Doi: 10.22067/jag.v1i1.38375

که در بوم‌نظام‌های طبیعی، وجود تنوع گیاهی باعث تنظیم داخلی سیستم می‌گردد (Wardle, 2006; Fraz et al., 2009). نظام-های کشاورزی فشرده تا حد زیادی وابسته به واریته‌های پرمحصول، آبیاری و نهاده‌های شیمیایی بوده و برخی از این نهاده‌ها و روش‌های کشاورزی فشرده سلامتی انسان، کیفیت محیط زیست و تنوع زیستی را تهدید می‌کند. حفظ تنوع زیستی موجود در چشم‌اندازهای کشاورزی و روش‌هایی که براساس سازگاری با تنوع زیستی باشد، به‌عنوان راهکاری جهت توسعه پایدار تولیدات کشاورزی می‌باشد که اثرات مخرب بر محیط زیست و تنوع زیستی را کاهش می‌دهد (Faber et al., 2006; Gabriel et al., 2006).

خاک جزء اساسی سیستم‌های کشاورزی محسوب می‌شود و کلید حاصلخیزی خاک‌ها، حفظ تنوع زیستی بوم‌نظام خاک می‌باشد. اعمال روش‌های مختلف مدیریتی در مزارع، خواص فیزیکی و شیمیایی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد(Karimi, 2008). اغلب روش‌های کشاورزی فشرده اثرات مخربی بر منابع آب و خاک و موجودات زنده بوم‌نظام‌های کشاورزی داشته و این تأثیرات منفی، در نهایت تولیدات گیاهی را نیز تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. در دهه‌های اخیر فشار انسان بر منابع آب و خاک با هدف افزایش تولیدات گیاهی، این منابع ارزشمند را تا حد زیادی تخریب و یا آلوده نموده است. بنابراین، استفاده از روش‌های صحیح مدیریتی در مزارع برای تداوم بهره‌برداری از منابع آب و خاک امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد (Swift et al., 2004; Gibson et al., 2007).

اندازه و ثبات خاک‌دانه‌ها نشان‌دهنده توازن بین عوامل تشکیل‌دهنده و عوامل مخرب خاک‌دانه‌ها می‌باشد (Fraz et al., 2009). روش‌های مختلف خاک‌ورزی و تهیه بستر، تأثیر زیادی بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک دارد (Lupwayi et al., 2005). ماده آلی بخشی ازخاک است که توسط موجودات زنده خاک تولید شده و در برگیرنده بقایای گیاهی وجانوری در مراحل مختلف تجزیه و نیز سلول‌های میکروبی و موادی است که به‌وسیله جانداران خاک به‌وجود می‌آید. ماده آلی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تأثیر گذاشته و در بوم‌نظام‌های کشاورزی مناطق خشک به‌عنوان یک عامل محدودکننده رشد و نمو گیاهان مطرح بوده و بنابراین، عملکرد گیاهان زراعی را در این بوم‌نظام‌ها کنترل می‌نماید. استفاده از روش‌های مدیریتی مبتنی بر نهاده‌های درون مزرعه‌ای موجب کاهش مصرف نهاده‌های خارجی، کاهش اثرات مخرب بر محیط زیست و کاهش هزینه‌های زارعین می‌شود (Gibson et al., 2007; Li et al., 2007). هدف از انجام این تحقیق، بررسی تأثیر روش‌های مختلف مدیریتی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع در سطح شهرستان‌های استان اصفهان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر روش‌های مختلف مدیریتی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع استان اصفهان، تحقیقی درسال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ صورت پذیرفت. در این تحقیق مزارع براساس نوع و میزان نهاده‌ها و شدت عملیات زراعی در سه گروه کم نهاده، متوسط نهاده و پرنهاده قرار گرفتند. به‌منظور گروه‌بندی مزارع مورد مطالعه در شهرستان‌های استان اصفهان، پرسش‌نامه‌ای تنظیم و پس از مراجعه به مزارع، از طریق پرسش از زارعین تکمیل گردید. در این پرسش‌نامه تناوب زراعی، میزان و نوع کودها و سموم مصرفی، روش و منبع آبیاری، ادوات مورد استفاده برای تهیه زمین و تعداد دفعات خاک‌ورزی مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱). براساس اطلاعات جمع‌آوری شده از پرسش‌نامه‌ها، مزارع به سه گروه (مزارع کم نهاده، متوسط نهاده و پر نهاده) طبقه‌بندی شد. در این تحقیق در تمام ۲۳ شهرستان استان، مزارعی انتخاب و پس از گروه‌بندی مزارع در گروه‌های سه‌گانه مذکور، مورد مطالعه قرار گرفتند. در هر شهرستان دو مزرعه از هر نظام زراعی انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. مساحت مزارع مورد بررسی بین یک الی ده هکتار انتخاب و به‌ازای هر هکتار، یک نمونه خاک تهیه گردید. عملیات نمونه‌برداری خاک از چهار نقطه مزرعه انجام و خاک از سطح زمین تا عمق ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری گردید. سپس با اختلاط نمونه‌های هر مزرعه، یک نمونه مرکب تهیه و با هدف تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل گردید (Sattar, 2012). نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری در ظروف پلاستیکی در بسته و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. بافت خاک با روش هیدرومتری و هدایت الکتریکی و pH در عصاره اشباع اندازه‌گیری و تعیین گردید. تشخیص کلاس بافت خاک بر اساس مثلث بافت خاک وزارت کشاورزی آمریکا[1] صورت گرفت.

1- UASD

جدول ۱- پرسش‌نامه زارعین به‌منظور طبقه‌بندی مزارع بر اساس نوع و میزان نهاده‌های مصرفی
Table 1- Questionnaires in order to classification fields on base of kind and rate of inputs

نظام زراعی Agroecosystem	کم نهاده Low input	متوسط نهاده Medium input	پر نهاده High input
روش خاکورزی Tillage method	بدون شخم No tillage	شخم حداقل Minimum tillage	شخم رایج Conventional tillage
دفعات خاکورزی در سال Number of tillage	1	2	>2
کود نیتروژن N fertilizer (kg.ha^{-1})	0-100	100-200	>200
کود فسفر P fertilizer (kg.ha^{-1})	0-100	100-200	>200
کود پتاسیم K fertilizer (kg.ha^{-1})	0-100	100-200	>200
گیاهان پوششی Cover cropping	استفاده در هر تناوب Use in any rotation	استفاده در برخی تناوب ها Use in some rotation	عدم استفاده در تناوب No use in rotation
مدیریت بقایا Residual management	اختلاط باخاک Mixing with soil	چرا Grazing	سوزاندن Burning
روش آبیاری Irrigation method	تحت فشار Pressure	فارو Furrow	غرقابی Flood
کود آلی Organic fertilizer	استفاده زیاد High application	استفاده متوسط Medium application	استفاده کم Low application
آیش Fallow	آیش بلند مدت Long fallow	آیش کوتاه مدت Short fallow	بدون آیش No use fallow
تناوب زراعی Crop rotation	بیشتر از دو محصول در سال More than Two crop per year	دو محصول در سال Two crop per year	عدم رعایت تناوب No use rotation
سموم علف‌کش Herbicides (L.ha^{-1})	0-1	1-3	>3
سموم قارچ‌کش Fungicides ((L.ha^{-1})	0-1	1-3	>3
سموم حشره کش Pesticides ((L.ha^{-1})	0-1	1-3	>3

برای تعیین پایداری خاک‌دانه‌ها، نمونه‌های خاک را به‌روش الک تر[1] مورد ارزیابی قرارداده و پایداری خاک‌دانه‌ها تعیین گردید. ابتدا هر نمونه روی یک ردیف الک (به‌ترتیب اندازه از بالابه پائین ۰/۲۵، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌متر) قرارگرفته و برای جلوگیری از تخریب ناگهانی خاک‌دانه‌ها تحت تأثیر محبوس شدن هوا، نمونه‌ها ابتدا با آب‌فشان مرطوب شدند. الک‌ها به‌مدت پنج دقیقه توسط یک موتور در آب بالا و پائین رفته و سپس خاک‌دانه‌های باقی‌مانده روی هر سرند در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند.

پایداری خاک‌دانه‌ها با تعیین میانگین وزنی قطر (MWD)[2] ارزیابی گردید. میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید (Sattar, 2012).

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} x_i \cdot w_i$$

معادله (۱)

که در این معادله، Xi: میانگین قطر خاک‌دانه‌هایی که روی هر الک باقی می‌ماند، Wi: نسبت وزن خاک‌دانه‌ها در هر الک به وزن کل خاک و n: تعداد الک‌ها می‌باشد. هر چه مقدار عددی MWD بیشتر باشد، بیانگر پایداری بیشتر خاک‌دانه‌ها می‌باشد.

2- Wet sieving

3- Medium weight diameter

برای اندازه‌گیری درصد ماده آلی خاک، از روش اکسیداسیون تر استفاده شد. در این روش موادآلی خاک با بی کرومات پتاسیم در مجاورت اسید سولفوریک اکسیده شده و باقی‌مانده بی کرومات پتاسیم با افزودن فروسولفات آمونیوم از طریق خنثی‌سازی ارتوفنا نترولین اندازه‌گیری و مقدار ماده آلی خاک محاسبه گردید (Bo-jie et al., 2003; Shahab, 2011). نتایج حاصل از این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD)در سطوح احتمال ۹۹ و ۹۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

پایداری خاک‌دانه

نتایج این تحقیق نشان داد که پایداری خاک‌دانه‌ها در بین سه نظام (کم نهاده، متوسط نهاده و پرنهاده) از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری ($p<0.01$) داشت. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در مزارعی که به‌صورت کم نهاده مدیریت شده‌اند، خاک‌دانه‌ها دارای بیشترین پایداری بوده و با افزایش مصرف نهاده‌ها و افزایش فشردگی سیستم در مزارع متوسط نهاده و پرنهاده، از پایداری خاک‌دانه‌ها کاسته شده است (جدول ۲). چنین به نظر می‌رسدکه رعایت تناوب زراعی، کاربرد کودهای آلی و کاهش مصرف کودهای شیمیایی، رعایت آیش و خاک‌ورزی کمتر خاک دلایل ثبات بالاتر خاک‌دانه‌ها در نظام‌های زراعی کم نهاده باشد. علاوه‌براین، تردد کمتر و یا عدم تردد ماشین‌آلات کشاورزی در سطح خاک در فصل آیش منجر به کاهش فشردگی ذرات خاک شده و میزان بیشتر مواد آلی در خاک موجب تشکیل خاک‌دانه‌های قوی‌تر شده و در نتیجه، خاک‌دانه‌ها از ثبات بالاتری برخوردار شده‌اند. از طرف دیگر،در مزارعی که بقایای گیاهی در سطح خاک حفظ و یا با خاک مخلوط شده‌اند، خاک‌دانه‌ها از ثبات بالاتری برخوردارند. نتایج این تحقیق نشان داد خاک مزارعی که در آن‌ها از روش‌های شخم کاهشی و یا بدون شخم استفاده شده و در نتیجه، بقایای گیاهی در سطح خاک حفظ شده‌اند و نیزدرمزارعی که تناوب زراعی در آن‌ها رعایت شده، خاک‌دانه‌ها از ثبات بالاتری برخوردار بوده و در نتیجه، پایداری بیشتری دارند.

بنابر گزارش برخی از محققین، گروه‌های مختلف گیاهان شامل گراس‌ها، بقولات و گیاهان علفی، از لحاظ کارکردی و تأثیر بر خاک‌دانه‌ها و ثبات آن‌ها کارکرد متفاوتی دارند. این محققین همچنین بیان داشتند که یک رابطه قوی بین مقدار گلومالین و گلیکوپروتئین، با ثبات خاک‌دانه‌ها در خاک‌های مختلف وجود دارد (Li et al., 2007; Shahab, 2011; Sattar, 2012). بنابراین، به نظر می‌رسد که روش‌های مختلف مدیریت مزارع، کاربرد نهاده‌های مختلف و نیز سیستم‌های تک کشتی و چندکشتی در مزارع مورد مطالعه، خصوصیات فیزیکی خاک از جمله پایداری خاک‌دانه‌ها را تحت تأثیر قرار داده باشد. نتایج تحقیقات برخی از محققین نشان داده که در بوم‌نظام‌های کشاورزی که به‌صورت تک کشتی مدیریت می‌شوند، پایداری ساختمان خاک کمتر بوده و خاک‌دانه‌ها از قوام کمتری برخوردار می‌باشد. این محققین بیان کرده‌اند که رعایت تناوب زراعی و استفاده ازاصلاح‌کننده‌های خاک (کود حیوانی و کود سبز) نقش مهمی در بهبود پایداری خاک‌دانه دارد (Gibson et al., 2008; Gamfelde et al., 2008). نتایج تحقیقات مشابهی بیانگر این است که شخم کاهشی (با نگهداری بقایای گیاهی در سطح خاک) موجب ایجاد محیط نسبتاً با ثبات و بهبود تنوع زیستی جوامع تجزیه‌کننده و بازگشت تدریجی‌تر عناصر غذایی به خاک می‌گردد و در چنین خاک‌هایی معمولاً خاک‌دانه‌های بهتری تشکیل می‌شود (Lupwayi et al., 2005).

ماده آلی خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار روش‌های مدیریت مزرعه بر مقدار ماده آلی خاک بود ($p<0.01$). نتایج این تحقیق نشان داد که میزان ماده آلی خاک در نظام‌های زراعی کم نهاده که شدت عملیات خاک‌ورزی و مقدار مصرف نهاده‌های برون مزرعه‌ای کمتر و میزان استفاده از عملیات کشاورزی پایدار بیشتر بود، در سطح بالاتری قرار داشت (جدول ۳). با افزایش کاربرد نهاده‌ها در مزارع، مقدار ماده آلی خاک، روند کاهشی نشان داد. به‌طوری‌که خاک در نظام‌های کم نهاده، دارای بیشترین درصد ماده آلی و در سیستم‌های پر نهاده دارای کمترین درصد ماده آلی بود. استفاده از کودهای سبز و گیاهان پوششی، کاربرد روش‌های شخم حداقل و کم خاک‌ورزی، کاهش مصرف و یا جایگزینی کودهای شیمیایی با منابع آلی، رعایت تناوب زراعی، استفاده از گیاهان زراعی خانواده بقولات در تناوب زراعی و اعمال آیش در سطح مزارع، از جمله عواملی هستند که موجب بهبود مقدار ماده آلی در خاک مزارعی شده که به‌صورت کم نهاده مدیریت شده‌اند.

جدول ۲- پایداری خاک‌دانه در مزارع استان اصفهان تحت تأثیر شدت عملیات زراعی، میزان و نوع نهاده‌های مصرفی

Table 2- The soil aggregate stability in fields of Esfahan affected by cultivation intensity, kind and rate of inputs

شهرستان County	کم نهاده Low input	متوسط نهاده Medium input	پر نهاده High input
آران Aran	0.51	0.64	0.72
برخوار Borkhar	0.45	0.50	0.59
کاشان Kashan	0.48	0.52	0.63
فلاورجان Falavarjan	0.51	0.58	0.69
لنجان Lenjan	0.53	0.60	0.68
شهرضا Shahreza	0.48	0.52	0.63
سمیرم Semirum	0.55	0.59	0.69
چادگان Chadegan	0.56	0.61	0.72
اصفهان Esfahan	0.46	0.54	0.64
نطنز Natanz	0.40	0.52	0.61
نائین Naein	0.41	0.53	0.60
فریدونشهر Ferydounshahr	0.52	0.64	0.68
مبارکه Mobarakeh	0.55	0.63	0.69
تیران Tiran	0.62	0.65	0.70
اردستان Ardestan	0.42	0.49	0.58
شاهین شهر Shahinshahr	0.48	0.56	0.62
خور Khour	0.42	0.49	0.59
گلپایگان Golpayegan	0.57	0.65	0.68
دهاقان Dehaghan	0.55	0.64	0.69
خمینی شهر Khomeinishahr	0.55	0.62	0.72
خوانسار Khansar	0.56	0.60	0.67
فریدن Fereydan	0.51	0.60	0.69
نجف آباد Najafabad	0.57	0.61	0.68
LSD (5%)	0.09	0.09	0.09

LSD: Least significant difference (حداقل تفاوت معنی دار)

نتایج تحقیقات مشابهی نشان داده که عملیات شخم در خاک باعث کاهش کربن و نیتروژن آلی در خاک شده و هر چه تعداد و شدت خاک‌ورزی بیشتر باشد، میزان ماده آلی خاک کمتر خواهد شد و به همین دلیل محتوای کربن آلی مراتع معمولاً بیشتر از خاک مزارع می‌باشد (Bo-Jie et al., 2003; Li et al., 2007). نتایج تحقیقات مشابهی نیز نشان داده که کاربرد روش‌های شخم حداقل درمزارع، رعایت تناوب زراعی و نیز استفاده ازکودهای سبز و گیاهان پوششی موجب افزایش مقدار ماده آلی خاک می‌شود (Zarrin Kafsh 2002; Bo-Ji et al., 2003). از سوی دیگر، استفاده از شخم رایج، کودهای شیمیایی و مواد شیمیایی علف‌کش، آفت‌کش و قارچ‌کش، کشت فشرده و عدم رعایت آیش و تناوب زراعی (به‌ویژه تک کشتی) از جمله فاکتورهای تأثیرگذار بر کاهش مواد آلی در خاک مزارعی است که به‌صورت پرنهاده مدیریت شده‌اند. نتایج برخی تحقیقات نشان داده که تمام روش‌های مدیریتی که منجر به حفظ پوشش گیاهی و برگرداندن مواد آلی به خاک شوند، نظیر استفاده هم‌زمان از منابع آلی و غیرآلی عناصر غذایی، استفاده از گیاهان پوششی خانواده بقولات و کود سبز در تناوب‌های زراعی، آیش‌گذاری و روش‌های جنگل زراعی، استفاده از روش‌های شخم حفاظتی به‌جای شخم رایج، برگرداندن بقایا و فضولات دامی از طریق کمپوست و یا بدون کمپوست کردن می‌تواند مقدار ماده آلی در خاک مزارع را افزایش دهد. کاربرد این عوامل مدیریتی در مزارع، در نهایت، منجر به برقراری روابط سودمند بین موجودات زنده و گیاهان شده و حاصلخیزی خاک و در نتیجه، تولیدات گیاهان زراعی را بهبود خواهد بخشید. نتایج تحقیقات سایر محققین نیز نشان داده که در سیستم‌های دارای شخم حفاظتی نسبت به سیستم‌های شخم رایج، مقدار ماده آلی خاک افزایش می‌یابد. این محققین بیان داشتند که عملیات شخم موجب بهبود تهویه و افزایش میزان اکسیژن در هوای خاک شده و مواد آلی موجود در خاک را در معرض فعالیت میکروبی قرار می‌دهد. بنابراین در اکثر خاک‌هایی که شخم رایج انجام می‌شود، تلفات ماده آلی خاک افزایش یافته و در نتیجه، ذخیره مواد آلی خاک کاهش می‌یابد (Li et al., 2007; Fraz et al., 2009).

شاخص واکنش (pH) محلول خاک

روند تغییرات شاخص واکنش محلول خاک در مزارع مورد مطالعه نشان داد که این ویژگی شیمیایی خاک تحت تأثیر نظام کشت (کم-نهاده، متوسطنهاده و پرنهاده) دستخوش تغییراتی شده؛ امّا این تغییرات ازلحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۴). در حقیقت نوع و میزان نهاده‌های مصرفی در مزرعه به‌طور معنی‌داری این ویژگی خاک را تغییر نداد. در مزارعی که از نهاده‌های شیمیایی (به‌ویژه کودهای شیمیایی) استفاده شده، ازطریق حضور عناصر سازنده کودها در محلول خاک، شاخص واکنش محلول خاک نیز دستخوش تغییر شده است و این تأثیر به میزان و نوع کودهای مورد استفاده بستگی دارد. درحالی‌که درآن دسته از مزارعی که کودهای آلی جایگزین کودهای شیمیایی شده است، شاخص واکنش محلول خاک کمتر دستخوش تغییر شده و یا این تغییر در کوتاه‌مدت بارز نبوده است. نتایج تحقیقات مشابهی نشان داده که بافت خاک و میزان و نوع کودهای شیمیایی و آلی می‌تواند نوساناتی را در اسیدیته خاک مزارع ایجاد نماید. البته این محققین بیان داشتند همان طوری که برخی عوامل باعث افزایش شاخص واکنش محلول خاک می‌شوند؛ سایر عوامل مدیریتی نیز ممکن است تأثیر معکوس داشته و مقدار شاخص واکنش محلول خاک را کاهش دهند (Akbari et al., 2012; Bo-ji et al., 2003).

هدایت الکتریکی محلول خاک

نتایج این تحقیق نشان داد که هدایت الکتریکی محلول خاک در بین سه نظام کشت (کم نهاده، متوسط نهاده و پرنهاده) مقادیر متفاوتی داشت (جدول ۵) و این تفاوت از لحاظ آماری معنی‌دار (Pp0.01) بود. اگر چه در بین مزارع مورد بررسی تغییرات هدایت الکتریکی محلول خاک روند بسیار منظمی نداشت ولی، به‌طور کلی مقادیر این صفت با افزایش مقادیر نهاده‌ها، روند افزایشی نشان داد. به‌طوری‌که در مزارعی که سیستم مدیریتی پرنهاده اعمال شده، مقادیر هدایت الکتریکی محلول خاک دارای بالاترین مقدار بود. چنین به نظرمی‌رسد که در مزارع پرنهاده که مقادیر زیادی نهاده‌های شیمیایی، به‌ویژه کودهای شیمیایی گوناگون استفاده شده، هدایت الکتریکی محلول خاک را تحت تأثیر قرار داده و باعث افزایش این صفت در مقایسه با مزارع کم نهاده و متوسط نهاده شده است. نتایج تحقیقات مشابهی نیز نشان داده که با افزایش سطح کاربرد کودهای شیمیایی، برمقدار هدایت الکتریکی محلول خاک افزوده شده است.

جدول ۳- میزان (درصد) ماده آلی خاک مزارع استان اصفهان تحت تأثیر شدت عملیات زراعی و نوع و میزان نهاده‌های مصرفی

Table 3- Soil organic matter percent in fields of Esfahan affected by cultivation intensity, kind and rate of inputs

شهرستان County	کم نهاده Low input	متوسط نهاده Medium input	پر نهاده High input
آران Aran	1.3	1.75	1,9
برخوار Borkhar	1.20	1.45	1.60
کاشان Kashan	1.05	1.25	1.40
فلاورجان Falavarjan	1.35	1.70	1.80
لنجان Lenjan	1.40	1.70	1.80
شهرضا Shahreza	1.25	1.55	1.70
سمیرم Semirum	1.40	1.80	2.00
چادگان Chadegan	1.45	1.70	1.90
اصفهان Esfahan	1.20	1.60	1.70
نطنز Natanz	1.15	1.50	1.60
نائین Naein	1.10	1.40	1.55
فریدونشهر Ferydounshahr	1.30	1.65	1.80
مبارکه Mobarakeh	1.20	1.55	1.70
تیران Tiran	1.40	1.70	1.90
اردستان Ardestan	1.20	1.25	1.40
شاهین شهر Shahinshahr	1.15	1.40	1.55
خور Khour	1.10	1.40	1.50
گلپایگان Golpayegan	1.40	1.70	1.90
دهاقان Dehaghan	1.55	1.90	2.05
خمینی شهر Khomeinishahr	1.25	1.50	1.70
خوانسار Khansar	1.50	1.85	2.10
فریدن Fereydan	1.50	1.70	1.80
نجف آباد Najafabad	1.,25	1.55	1.65
LSD (5%)	0.23	0.23	0.23

LSD: Least significant difference (حداقل تفاوت معنی دار)

جدول ٤- مقادیر شاخص واکنش (pH) محلول خاک مزارع استان اصفهان در نظام‌های زراعی مختلف

Table 4- The soil pH value in fields of Esfahan in various agroecosystems

شهرستان County	کم نهاده Low input	متوسط نهاده Medium input	پر نهاده High input
آران Aran	7.30	7.50	7.90
برخوار Borkhar	7.70	7.80	8.15
کاشان Kashan	7.60	7.80	8.10
فلاورجان Falavarjan	7.50	7.70	7.90
لنجان Lenjan	7.40	7.60	7.80
شهرضا Shahreza	7.50	7.70	8.10
سمیرم Semirum	7.60	7.70	7.90
چادگان Chadegan	7.30	7.50	7.50
اصفهان Esfahan	7.60	7.80	7.90
نطنز Natanz	7.70	7.80	8.00
نائین Naein	8.00	8.10	8.30
فریدونشهر Ferydounshahr	7.50	7.60	7.90
مبارکه Mobarakeh	7.60	7.60	7.80
تیران Tiran	7.40	7.60	7.80
اردستان Ardestan	7.90	8.00	8.30
شاهین شهر Shahinshahr	7.70	7.80	8.20
خور Khour	8.00	8.20	8.50
گلپایگان Golpayegan	7.40	7.60	7.80
دهاقان Dehaghan	7.80	7.40	7.30
خمینی شهر Khomeinishahr	8.00	7.80	7.60
خوانسار Khansar	7.90	7.80	7.70
فریدن Fereydan	7.80	7.70	7.50
نجف آباد Najafabad	8.20	7.90	7.60
LSD (5%)	**0.285**	**0.285**	**0.285**

LSD: Least significant difference **(حداقل تفاوت معنی دار)**

جدول ۵- مقادیر هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) محلول خاک مزارع استان اصفهان در نظام‌های زراعی مختلف

Table 5- The soil EC value ($dS.m^{-1}$) in fields of Esfahan in various agroecosystems

شهرستان County	کم نهاده Low input	متوسط نهاده Medium input	پر نهاده High input
آران Aran	1.90	2.15	2.85
برخوار Borkhar	2.25	2.45	2.95
کاشان Kashan	1.85	2.10	2.85
فلاورجان Falavarjan	2.25	2.55	2.75
لنجان Lenjan	2.20	2.45	2.85
شهرضا Shahreza	2.35	2.60	2.95
سمیرم Semirum	1.80	1.95	2.60
چادگان Chadegan	1.75	2.05	2.65
اصفهان Esfahan	2.15	2.50	2.80
نطنز Natanz	2.00	2.30	2.90
نائین Naein	2.15	2.40	2.80
فریدونشهر Ferydounshahr	1.85	2.05	2.55
مبارکه Mobarakeh	1.70	1.95	2.90
تیران Tiran	1.80	2.10	2.70
اردستان Ardestan	2.25	2.45	2.95
شاهین شهر Shahinshahr	2.20	2.65	2.90
خور Khour	2.30	2.85	2.90
گلپایگان Golpayegan	1.85	2.45	2.80
دهاقان Dehaghan	1.80	2.25	2.70
خمینی شهر Khomeinishahr	1.95	2.20	2.65
خوانسار Khansar	1.70	1.90	2.40
فریدن Fereydan	1.70	1.80	2.25
نجف آباد Najafabad	1.95	2.30	2.75
LSD (5%)	0.55	0.55	0.55

LSD: Least significant difference (حداقل تفاوت معنی دار)

این محققین همچنین بیان کرده‌اند که میـزان تغییـرات هـدایت الکتریکی محلول خاک به عوامل متعددی از قبیل نوع کودها و میزان مصرف آن‌ها، روش آبیاری و نوع خاک بستگی دارد (Sattar, 2012; Lupwayi 2005).

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق بیـانگر ایـن اسـت کـه اسـتفاده از روش‌هـای مدیریتی کم نهاده و متوسط نهاده که متکـی بـه نهـاده‌هـای درون مزرعه‌ای باشد، منجر به بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع شده و بنابراین، می‌توان وابستگی تولید گیاهان زراعی به نهاده‌هـای برون مزرعه‌ای را تا حـد زیـادی کـاهش داد. کـاهش وابسـتگی بـه نهاده‌های برون مزرعه‌ای علاوه‌بر پایداری تولید بوم‌نظام‌های زراعی، کاهش هزینه‌ها و در نتیجه، ارتقاء درآمـد و سـطح زنـدگی زارعـین، می‌تواند در حفاظت از خاک و محیط زیست نیزمؤثر واقع شود.

References

Azizi, G., 2009. Evaluation of nutrient resource and crop diversity interaction on agrobiodiversity in different mixed cropping systems, Ph.D. Dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

Bo-jie, F.U., Shi-Liang, L.I.U., YI-he, C., Li-ding, M.A., K.A and Guo-hua, L., 2003. Comparing the soil quality changes of different land uses determined by two quantitative methods. Journal of Environmental Science 15: 167-172.

Fraz, A.J., Langdale, G.W., and Schomberg, H.H., 2009. Soil carbon, nitrogen, and aggregation in response to type and frequency of tillage. Soil Science Society of America Journal 63: 349-355.

Gabriel, D., Roschewits, I., Tscharntke, T., and Thies, C., 2006. Beta diversity at different spatial scales: Plant communities in organic and conventional agriculture. Applied Ecology 16: 2011-2021.

Gamfelde, L., HHillebrand, H., and Jonsson, P.R., 2008. Multiple functions increase the importance of biodiversity for overall ecosystem functioning. Ecology 89: 1223-1231.

Gibson, R.H., Pearce, S., Morris, R.J., Symondson, W.O.C., and Memmott, J., 2007. Plant diversity and land use under organic and conventional agriculture: A whole-farm approach. Journal of Applied Ecology 44: 792-803.

Karimi, H., 2008. Investigation effect of organic matter on aggregate stability in region of Fars, M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Industrial University of Esfahan, Iran. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., and Ghorbani, R., 2005. Traditional agriculture in Iran and development challenges for organic agriculture. International Journal of Biology Science and Management 11: 1-7.

Li, X.G., Wang, Z.F., Ma, Q.F., and Li, F.M., 2007. Crop cultivation and intensive grazing effect organic C pools and aggregate stability in arid grassland. Soil and Tillage Research 95: 172-181.

Lupwayi, N.Z., Clayton, G.W., Odonovanl, J.T., Harker, K.N., Turkington, T.K., and Soon, Y.K., 2005. Nitrogen release during decomposition of crop residue under conventional and zero tillage. Canadian Journal Science, 86: 11-19.

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Mazaheri, D., 2005. Agrobiodiversity in Iran. Desret 10(1): 32-50.

Sattar, D., 2012. The effect of management practices on soil properties, M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Industrial University of Esfahan, Iran. (In Persian with English Summary)

Shahab, H., 2011. Evaluation of soil physical index in Mashhad, M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

Swift, M.J., Izac, A.M.N., and Noordwijk, M., 2004. Biodiversity and ecosystem services in agriculture landscapes are we asking the right questions? Agric Ecosyst. Environ. 104: 113-134.

Wardle, D.A., 2006. Communities and Ecosystems: Linking the Aboveground and Belowground Components. Princeton University Press, Oxford.pp:382.

Zarrin Kafsh, M., 2002. Soil Fertility and Product, Tehran University press, pp: 217. (In Persian).

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 581-592

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۵۹۲-۵۸۱

The Effects of Management Practices on Soil Physical and Chemical Properties of Esfahan Agroecosystems

M. Karimian Kelishadrokhi[1], A. Koocheki[2*] and M. Nassiri Mahallati[2]

Submitted: 16-08-2014
Accepted: 13-01-2015

Karimian Kelishadrokhi, M., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M., 2022. The effects of management practices on soil physical and chemical properties of Esfahan agroecosystems. Journal of Agroecology 13(4): 581-592.

Introduction

In parallel with the population growth, increasing food production using modern agricultural methods seems necessary. Application of chemical inputs and biodiversity reduction in agroecosystems lead to artificial ecosystems, requiring human intervention. Soil is an essential part of agroecosystems and the key to soil fertility is preserving the ecological biodiversity of the system. The use of management methods based on field hydrone inputs reduces the consumption of thorny inputs and reduces environmental degradation. The size and stability of the aggregates indicate the balance between the constituent and destructive factors of the aggregates. Different tillage methods are based on the soil physical and chemical properties. The purpose of this study was to investigate the effect of management methods on the physical and chemical properties of farm soil of the cities in Isfahan province.

Materials and Methods

We investigated the effect of management practices on physical and chemical properties in field soils in Esfahan province during 2011-2012. First, 6 fields are selected in each of 23 counties, and evaluation was conducted using questionnaires filled by farmers. Accordingly, the fields were classified in three groups (low input, medium input and high input). Two fields of each group input were selected and evaluated. Four points (30 centimeters of depth) at each hectare of field were randomly sampled. By mixing, one complete sample was obtained and carried to laboratory for further analyses. Soil texture was determined by hydrometric method, and electrical conductivity and pH were determined in saturated extract. Wet oxidation method was used to measure soil organic matter. To determine the stability of aggregates, soil samples were evaluated by wet sieving method.

Results and Discussion

Results indicated that soil texture, aggregate stability, electrical conductivity and rate of organic matter in three management practices (low input, medium input and high input) were significantly different ($p < 0.01$). The aggregate stability in low input fields had the highest value (0.72) and in high input fields had the lowest value (0.42).The soils in low and high input fields include maximum and minimum organic matter (2.05% and 1%), respectively. The field management methods had a significant effect on the amount of organic matter. The pH of soil samples did not show a significant difference. The electrical conductivity of the soil solution was different between three planting systems analyzed. In high input fields, the electrical conductivity values of the soil solution had the highest values. It seems that excessive consumption of chemical inputs in high input fields increased the electrical conductivity of soil solution. Other researchers have reported that the soil solution electrical conductivity depends on several factors such as the fertilizer type and their consumption, irrigation method and soil type.

Conclusion

Reduced chemical fertilizers consumption and less entry of machinery increase the stability of aggregates in low input fields. The reduced or non-tillage methods in fields that preserve more crop residues on the soil surface increase the aggregates' consistency and thus improve their stability. Application of conventional plowing, chemical inputs, and no crop rotation reduce soil organic matter content.

1- Ph.D. Student of Crop Ecology, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
2- Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
(* Corresponding author: akooch@um.ac.ir)
Doi: 10.22067/jag.v1i1.38375

Acknowledgment

I would like to express my sincere gratitude to the professors, staff, and students of the Faculty of Agriculture of Ferdowsi University of Mashhad who helped me in carrying out this research.

Keywords: Aggregate stability, Electrical conductivity, Input, Organic matter.

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 593-617

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۶۱۷-۵۹۳

مقاله پژوهشی

ارزیابی خدمات و بیلان کربن خاک در اکوسیستم‌های مختلف کشاورزی در استان خراسان

علیرضا کوچکی[1*] و سرور خرم دل[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲۳

کوچکی، ع.، و خرم دل، س.، ۱۴۰۰. ارزیابی خدمات و بیلان کربن خاک در اکوسیستم‌های مختلف کشاورزی در استان خراسان. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۴): ۶۱۷-۵۹۳.

چکیده

به‌منظور ارزیابی خدمات و کارکردهای خاک تحت تأثیر مدیریت‌های مختلف پرنهاده و کم‌نهاده در استان خراسان، نمونه‌برداری از ۱۰ مکان تحت مدیریت‌های مختلف زراعی و باغی در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار نمونه به‌عنوان تکرار از هر نوع مدیریت در بهار سال ۱۳۹۳ انجام شد. نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر خاک در مزارع کم‌نهاده شامل مزارع چندساله زعفران و باغات میوه و مزارع پرنهاده یک‌ساله کشاورزان شامل گندم و ذرت و مزارع ساله آزمایشی (مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد) برداشت و خصوصیات مختلف فیزیکی (شامل وزن مخصوص ظاهری)، شیمیایی (شامل محتوی کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس، پتاسیم قابل دسترس، شاخص واکنش و هدایت الکتریکی) و بیولوژیکی (میزان کربن زیست‌توده میکروبی، فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز و دهیدروژناز) اندازه‌گیری شد. سطح زیر کشت و میزان مصرف نهاده‌های شیمیایی شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، علف‌کش، حشره‌کش و قارچ‌کش محصولات زراعی شامل گندم، گوجه‌فرنگی، یونجه، ذرت، سیب‌زمینی، چغندرقند و کلزا طی سال ۱۳۹۳ تعیین شد. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل دی‌اکسید کربن (CO_2)، اکسید نیتروژن (N_2O) و متان (CH_4) با استفاده از ضرایب انتشار و سپس پتانسیل گرمایش جهانی تعیین گردید. نتایج نشان داد که اثر نوع مدیریت اکوسیستم بر کلیه خصوصیات مورد مطالعه خاک به‌جز شاخص واکنش معنی‌دار ($p\leq ۰/۰۱$) بود. به‌کارگیری مدیریت پرنهاده و رایج در مزارع آزمایشی و یک‌ساله کشاورزان باعث کاهش محتوی کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس، پتاسیم قابل دسترس، هدایت الکتریکی، کربن زیست‌توده میکروبی، فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز و دهیدروژناز و ترسیب کربن خاک در مقایسه با مزارع چندساله زعفران شد، در حالی‌که وزن مخصوص ظاهری افزایش یافت. بیشترین و کمترین کربن آلی خاک به‌ترتیب برای باغ‌های چندساله و مزارع رایج یک‌ساله آزمایشی با ۰/۱۰۴ و ۰/۰۳۶ درصد حاصل شد. بیشترین و کمترین کربن ترسیب شده خاک به‌ترتیب برای باغ‌های چندساله و مزارع رایج یک‌ساله آزمایشی با ۳۵۵/۳۱ و ۱۸۲/۴۸ کیلوگرم کربن در هکتار مشاهده شد. اجرای عملیات مدیریتی در مزارع چندساله، مزارع یک‌ساله ذرت و مزارع یک‌ساله گندم به‌ترتیب موجب کاهش ۱۲، ۳۵ و ۴۱ درصدی کربن ترسیب شده خاک در مقایسه با باغ‌های چندساله شد. بیشترین پتانسیل گرمایش جهانی برای سیب‌زمینی با ۳/۶۹ تن معادل CO_2 به‌ازای هر هکتار محاسبه شد که نسبت به گندم، چغندرقند، گوجه‌فرنگی و ذرت به‌ترتیب ۵۳، ۳۷، ۱۶ و ۱۲ درصد بالاتر بود. کمترین پتانسیل گرمایش جهانی برای کلزا با ۱/۳۵ تن معادل CO_2 به‌ازای هر هکتار به‌دست آمد. بدین‌ترتیب، کاهش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش مصرف انواع نهاده‌های آلی را می‌توان به‌عنوان راهکاری اکولوژیک در مدیریت پایدار اکوسیستم‌های زراعی مدنظر قرار داد که از طریق کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و به تبع آن تخفیف تغییر اقلیم را به دنبال دارد.

واژه‌های کلیدی: انتشار گاز گلخانه‌ای، کود شیمیایی، مدیریت پرنهاده، مزرعه چندساله، نهاده آلی

مقدمه

خاک دامنه وسیعی از خدمات و کارکردها را فراهم می‌کند و از

۱- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۲- دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

(* Corresponding author: akooch@um.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v1i1.46433

این طریق، مزایای زیادی را بـه همـراه دارد (Daily et al., 1997). اجرای عملیات مناسب مدیریتی قادر خواهد بود تا اثـرات مثبتـی بـر تشکیل، چرخه عناصر غذایی و تولید اولیه خاک به همراه داشته باشد. نتایج برخی مطالعات (Bengtsson et al., 2005; Pimentel et al., 2005; Fliessbach et al., 2007) مؤید همبستگی مثبت و معنی‌دار مدیریت‌های اکولوژیک خاک با شاخص‌های کلیدی کیفیت آن مـی-باشد. افزایش محتوی ماده آلی خاک از طریق برخی کارکردهای مهم در اکوسیستم‌های کشاورزی شامل بهبـود چـرخش بیوژئوشـیمیایی، بازگشت عناصر غذایی، ثبات و تشکیل دانـه‌بنـدی خـاک، تصـفیه و پاک‌سازی آب و بهبود ظرفیت نگهداری آن، تنظیم pH خاک، کاهش فرسایش و در نهایت، تقویت رشد گیـاه، موجـب بهبـود خصوصـیات کیفـی آن مـی‌شـود (Mäder et al., 2002; Weil & Magdoff, 2004). درینکـواتر و همکـاران (Drinkwater et al., 1995) تأییـد نمودند که pH، محتوی کربن آلی و نیتروژن و پتانسیل معدنی شدن نیتروژن در مزارع گوجه‌فرنگی تحت مدیریت ارگانیک و کم‌نهاده بـه مراتب بالاتر از مزارع رایج بود. نتایج برخی دیگر از مطالعات (Mäder et al., 2002; Edmeades, 2003; Verbruggen et al., 2010) نیز نشان داده است که خصوصیات فیزیکی، شـیمیایی و بیولـوژیکی خاک به‌ویژه سرعت نفوذ آب، ثبات و دانه‌بندی خاک‌دانه‌ها، محتـوی عناصر غذایی کم‌مصرف و هم‌زیستی میکوریزایی در مدیریت ارگانیک بالاتر از مدیریت رایج می‌باشد (Kremen & Miles, 2012). سیالابا و مـولر-لینـدلاف (Scialabba & Müller-Lindenlauf, 2010) اظهار نمودند که اکوسیستم‌های کـم‌نهـاده از طریـق افـزایش تنـوع زیستی و بهبود حاصلخیزی خاک انعطاف‌پذیری زیادی برای مقابله با پدیده‌های زیست‌محیطی چون تغییر اقلیم دارند.

از آنجا که خاک به‌عنوان منبع تأمین‌کننده عناصـر غـذایی و آب مورد نیاز گیاهان بوده و مخزنی برای آلاینده‌ها محسوب می‌شود، لذا تغییر در کیفیت آن می‌تواند تخریب محـیط زیسـت را موجـب شـود (Bhardwaj et al., 2011). بخش زیادی از این خـدمات بـه‌وسـیله فعالیت دامنه وسیعی از ریزجانداران خاکزی ایجاد می‌گردد (Lavelle et al., 2006). نتایج مطالعه رگانولد و همکاران (Reganold et al., 2010) مؤید این مطلب است که خاک دارای ماده آلی بیشتر و تنـوع میکروبی بالاتر، چرخش کامل‌تری را دارا می‌باشد.

برخی محققان بر این باورند که برای حفظ کارکردهـا و خـدمات بوم‌نظام لازم است ابتدا از طریق مدیریت خاک، این نوع کارکردها را بهبـود بخشـید (Jackson et al., 2009; Hajjar et al., 2008; Hooper et al., 2005). تغییر در کاربری اراضی به‌طـور معنـی‌داری کارکردها و خدمات خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Kreuter et al., 2001). در همین راستا، لاول و همکـاران (Lavelle et al., 2006) نتیجه گرفتند که مدیریت صحیح خاک، بهبود کارکرد اکوسیستمی را موجب می‌گردد. در سیستم بدون خـاک‌ورزی، کـاهش بـر هـم زدن خاک و تجمع بقایای گیاهی در مقایسه با خاک‌ورزی رایج، با تأثیر بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، کارکردهای آن را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار می‌دهد (Six et al., 2000). بهادار و همکاران (Bahadar et al., 2007) دریافتند که خاک‌ورزی مؤثرترین فعالیت مدیریتی است که خصوصیات فیزیکـی و شـیمیایی خـاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

حذف کارکردهای خاک از طریق افزایش مصرف کودها و سـموم شیمیایی هزینه‌های تولید را بالا می‌برد (Kremen & Miles, 2012) که این امر علاوه‌بـر تخریـب خـاک، پرغـذایی آب‌هـای سـطحی و زیرزمینی، تلفات تنوع زیستی، افزایش انتشـار گازهـای گلخانـه‌ای و کاهش کیفیت محصولات تولید شده را نیز به دنبال دارد (Tilman et al., 2002; Diaz et al., 2008; Hayes et al., 2010; Gomiero et al., 2011). تخریب اکوسیستم اغلـب منجـر بـه کـاهش شـدید دسترسی به منابع خاک می‌گردد (Imeson, 2011). دلیل این امر بـر طبق گزارش لال (Lal, 2007) عمدتاً مربـوط بـه کـاهش محتـوی کربن آلی خاک می‌باشد. برادی و ویل (Brady & Weil, 2002) نیز بر این باورند که کربن آلی به‌شدت کارکردهای خاک را تحـت تـأثیر قرار می‌دهد. از طرف دیگـر، راهکارهـای مـدیریتی مـؤثر بـر بهبـود محتوی کربن آلی، نقش مؤثری را در ارتقای کارکردهای اکوسیستمی ایفـا مـی‌کنـد (Lal, 2010). برخـی دیگـر از محققـان (Tengo & Belfrage, 2004; Lin, 2011) اظهار داشـته‌انـد کـه بـا توجـه بـه کارکردهای خاک، می‌توان انعطاف‌پذیری سیستم‌هـا را در مقابلـه بـا تنش‌ها و تخریب‌هایی نظیر خشکی و حمله آفات و بیماری‌ها بهبـود بخشید.

مصرف کودها و سموم شیمیایی، سوخت‌های فسیلی، کاربرد کود دامی ها و سوزاندن بقایای آلی از جمله مهم‌ترین منابع انتشـار انـواع گازهای گلخانه‌ای در بخش کشاورزی محسوب می‌شود. غلظت انواع اکسیدهای نیتروژنه طی دو قرن گذشته به‌دلیل افزایش فعالیت‌هـای بشر تا ۱۳ درصد افزایش یافته اسـت (EPA, 1998). رونـد افـزایش

مصرف کودهای نیتروژن در کشور طی سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۰ شمسی در حدود ۳۲۵ درصد بوده است (MAJ, 2012). میزان انتشار جهانی N_2O و NO تحت تاثیر فعالیت‌های مختلف کشاورزی به‌ترتیب ۴/۸-۱/۷ و ۱/۶ تِرا گرم در سال گزارش شده است (Yao et al., 2009). اگرچه میزان انتشار اکسید نیتروس کمتر از سایر گازهای گلخانه‌ای است، امّا سهم هر واحد N_2O در پتانسیل گرمایش جهانی به مراتب بیشتر از گازهای دیگر می‌باشد، به‌طوری‌که سهم هر واحد از گازهای CO_2، CH_4 و N_2O به‌ترتیب برابر با ۱، ۲۱ و ۳۱۰ برآورد گردیده است (Rodhe, 1990). بدین ترتیب، ارزیابی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از اکوسیستم‌های زراعی می‌تواند نقش بسزایی در افزایش کارایی مصرف نهاده‌ها و به‌کارگیری کشاورزی زیستی و بوم-سازگار داشته باشد.

بنابراین، با توجه به اینکه امروزه در کشاورزی رایج، عملکرد به عنوان مهمترین خدمات گروه تامین‌کننده تنها معیار ارزیابی است و خاک به‌عنوان اساس حیات، می‌تواند دارای کارکردهای متعددی در گروه خدمات حمایتی باشد، ارزیابی و تعیین چنین شاخص‌هایی در خاک‌های تحت مدیریت‌های مختلف می‌تواند ارزش واقعی این جزء حیات را روشن سازد. بدین ترتیب، این مطالعه با هدف مقایسه خدمات اکوسیستم‌های مختلف مدیریتی در استان خراسان و برآورد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی در تعدادی از محصولات مهم انجام شد.

مواد و روش‌ها

الف) ارزیابی خدمات و کارکردهای خاک

به‌منظور ارزیابی خدمات و کارکردهای خاک تحت تأثیر مدیریت-های مختلف پرنهاده و کم‌نهاده در استان خراسان، نمونه‌برداری از ۱۰ محل تحت مدیریت‌های مختلف زراعی و باغی در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار نمونه به‌عنوان تکرار از هر نوع مدیریت در بهار سال ۱۳۹۳ انجام شد. نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر خاک در مزارع کم‌نهاده شامل مزارع چندساله زعفران و باغات میوه و مزارع پرنهاده یک‌ساله کشاورزان شامل گندم و ذرت و مزارع یک‌ساله آزمایشی (مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد) برداشت و خصوصیات مختلف فیزیکی (شامل وزن مخصوص ظاهری)، شیمیایی (شامل محتوی کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل دسترس، پتاسیم قابل دسترس، pH و هدایت الکتریکی) و بیولوژیکی (میزان کربن زیست‌توده میکروبی، فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز و دهیدروژناز) اندازه‌گیری شد.

جهت تعیین محتوی کربن آلی خاک از روش اکسایش با دی کرومات استفاده شد (Walkley & Black, 1934). تعیین میزان نیتروژن با استفاده از روش کجلدال انجام شد (Bremner, 1970). وزن مخصوص ظاهری خاک با استفاده از روش کلوخه و پارافین تعیین شد (Black, 1965). تعیین بافت خاک به‌روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986)، تعیین pH در گل اشباع و تعیین هدایت الکتریکی خاک در عصاره گل اشباع با استفاده از روش ارائه شده توسط مک‌لین (Mc Lean, 1982) و زیست‌توده میکروبی با استفاده از روش تدخین- انکوباسیون (Jenkinson & Powlson, 1976) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آلکالین فسفاتاز بر مبنای میلی‌گرم نیتروفنول در گرم خاک در ساعت بر اساس روش سوواناونگ و همکاران (Souvannavong et al., 1997) انجام شد. فعالیت آنزیم دهیدروژناز مطابق با روش گارسیا و همکاران (García et al., 1997) تعیین گردید.

میزان کربن ترسیب شده در خاک با استفاده از معادله ارائه شده توسط ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2013) محاسبه شد (معادله ۱).

$$SCS= p_b \times T \times SOC \times 10000 \quad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله، SCS: کربن ترسیب شده در خاک (کیلوگرم در هکتار)، p_b: جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، T: عمق نمونه‌برداری خاک (متر) و SOC: کربن آلی خاک (گرم بر کیلوگرم) می‌باشد.

تجزیه واریانس داده‌ها با نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. نمودارها توسط نرم‌افزار Excel ترسیم شدند.

ب) برآورد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی

جهت برآورد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی، اطلاعات مربوط به سطح زیر کشت تعدادی از محصولات مهم زراعی شامل گندم، گوجه‌فرنگی، یونجه، ذرت، سیب‌زمینی، چغندرقند و کلزا طی سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ به‌صورت مراجعه حضوری به اداره جهاد کشاورزی استان و همچنین با استفاده از

اطلاعات سایت وزارت جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی استخراج شد (Jihad Keshavarzi Khorasan Razavi, 2013). میزان مصرف نهاده‌های شیمیایی شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، علف‌کش، حشره‌کش و قارچ‌کش به‌صورت تکمیل ۵۰ پرسشنامه به‌ازای هر گیاه و مصاحبه حضوری از کشاورزان جمع‌آوری شد.

میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای دی اکسید کربن (CO_2)، اکسید نیتروژن (N_2O) و متان (CH_4) با استفاده از ضرایب انتشار محاسبه شد (جدول ۱).

جدول ۱- ضرایب انتشار گازهای گلخانه‌ای برای هر کیلوگرم نهاده‌های شیمیایی مورد استفاده در اکوسیستم‌های زراعی

Table 1- GHGs emission coefficient per kg application of chemical inputs in agroecosystems

نهاده Input (kg)	دی‌اکسید کربن CO_2 (kg)	اکسید نیتروژن N_2O (g)	متان CH_4 (g)	منبع Reference
نیتروژن N	1.3	1.25	3.70	IPCC, 2006; Snyder et al., 2009
فسفر P	0.2	1.25	1.80	IPCC, 2006; Snyder et al., 2009
پتاسیم K	0.15	1.25	1.00	IPCC, 2006; Snyder et al., 2009
علف‌کش Herbicide	6.30	–	–	Lal, 2004
حشره‌کش Insecticide	5.1	–	–	Lal, 2004
قارچ‌کش Fungicide	3.9	–	–	Lal, 2004

به‌منظور محاسبه‌پتانسیل گرمایش جهانی، میزان انتشار دی اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن برای هر محصول به‌طور جداگانه با استفاده از ضرایب ارائه شده در جدول ۱ تعیین شد (Thelen et al., 2010; Robertson et al., 2000). از آنجا که اثر هر یک از گازهای دی اکسید کربن، متان و اکسید نیتروژن بر پتانسیل گرمایش زمین متفاوت می‌باشد (IPCC, 2007)، لذا واحد این شاخص به‌صورت معادل دی اکسید کربن محاسبه گردید (معادله ۲).

معادله (۲)

$$GWP = CO_2\ flux+(N_2O\ flux\times310)+(CH_4\ flux\times21)$$

در این معادله، GWP: پتانسیل گرمایش جهانی (کیلوگرم معادل دی اکسیدکربن در هکتار)، CO_2 fluxCO_2 flux: انتشار دی اکسید کربن حاصل از مصرف نهاده‌های شیمیایی، N_2O fluxN_2O flux: انتشار اکسید نیتروژن حاصل از مصرف نهاده‌های شیمیایی و CH_4 fluxCH_4 flux: انتشار متان حاصل از مصرف نهاده‌های شیمیایی می‌باشد.

نتایج و بحث

الف) ارزیابی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و خدمات و کارکردهای خاک

نتایج آنالیز واریانس و مقایسه میانگین اثر نوع مدیریت رایج و کم‌نهاده بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک به‌ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

اثر نوع مدیریت خاک بر محتوی کربن آلی: محتوی کربن آلی خاک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع مدیریت اکوسیستم قرار گرفت ($p\leq0/01$) (جدول ۲). بیشترین و کمترین محتوی کربن آلی خاک به‌ترتیب برای باغ‌های چندساله و مزارع رایج یک‌ساله آزمایشی با ۰/۱۰۴ و ۰/۰۳۶ درصد حاصل شد. به‌کارگیری مدیریت‌های مختلف در مزارع چندساله و مزارع فشرده یک‌ساله ذرت و گندم موجب کاهش میزان کربن آلی خاک به‌ترتیب برابر با ۲۴، ۵۷ و ۵۹ درصد در مقایسه با محتوی کربن آلی در باغ‌های چندساله شد (شکل ۱).

جدول ۲– تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نوع مدیریت بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک

Table 2– Analysis of variance (mean of squares) for the effect of management types on physical, chemical and biological criteria of soil

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	کربن آلی Organic carbon	نیتروژن کل Total N	فسفر قابل دسترس Available P	پتاسیم قابل دسترس Available K	وزن مخصوص ظاهری Pb	هدایت الکتریکی EC	شاخص واکنش pH	فعالیت آنزیم دهیدورژناز Dehydrogenase enzyme activity	فعالیت آنزیم فسفاتاز Phosphatase enzyme activity	کربن زیست‌توده میکروبی Microbial biomass carbon	ترسیب کربن Carbon sequestration
نوع مدیریت Management type	4	0.003**	0.0001**	1721.733**	315640.108**	0.279**	2.031**	0.008ns	20753.225**	47108.305**	57174.247**	21230.345**
خطا Error	15	0.0001	0.00001	16.586	73.48	0.003	0.016	0.016	14.150	29.011	17.684	885.563
کل Total	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ضریب تغییرات CV (%)		11.74	16.52	10.02	2.19	3.72	10.04	2.05	1.62	4.49	1.97	11.49

ns و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

Ns and **: are non significant and significant at 1% probability level, respectively.

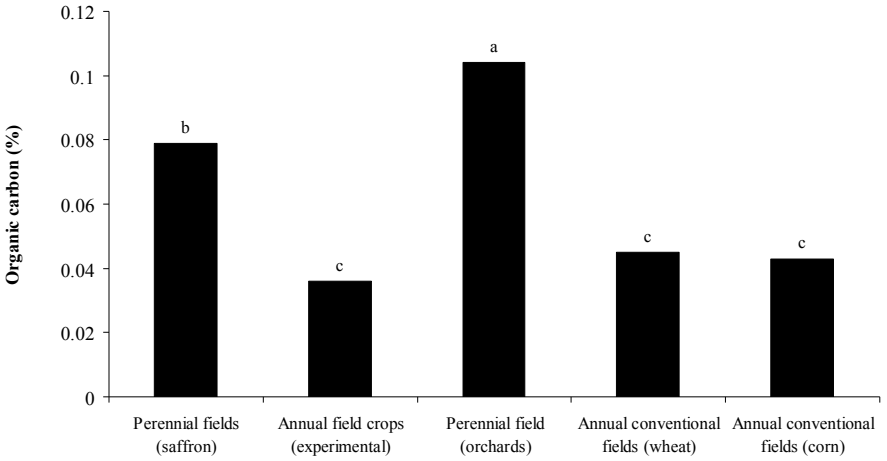
جدول ۳– مقایسه میانگین اثر نوع مدیریت بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک

Table 3– Mean comparisons for the effect of management types on physical, chemical and biological criteria of soil

نوع مدیریت Management type	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل دسترس Available P (ppm)	پتاسیم قابل دسترس Available K (ppm)	وزن مخصوص ظاهری Bulk density ($g.cm^{-3}$)	هدایت الکتریکی Electrical conductivity ($dS.m^{-1}$)	کربن زیست‌توده میکروبی Microbial biomass carbon (mg C $kg.soil^{-1}$)
مزارع چندساله زعفران Perennial fields (saffron)	0.024^{b}*	66.984^{a}	643.601^{b}	1.33^{b}	2.23^{a}	324.13^{b}
مزارع یک‌ساله (آزمایشی) Annual field crops (experimental)	0.013^{c}	34.122^{c}	220.267^{c}	1.72^{a}	0.74^{c}	90.26^{e}
باغ‌های چندساله Perennial fields (orchards)	0.032^{a}	57.823^{b}	749.101^{a}	1.14^{c}	1.80^{b}	353.265^{a}
مزارع یک‌ساله کشاورزان: Annual conventional fields (famers' fields): الف) ذرت a) Corn	0.016^{c}	24.179^{d}	188.305^{d}	1.73^{a}	0.74^{c}	180.47^{c}
ب) گندم b) Wheat	0.012^{c}	20.177^{d}	159.982^{e}	1.64^{a}	0.75^{c}	117.99d

* میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر ستون بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

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



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر مدیریت‌های مختلف اکوسیستم بر محتوی کربن آلی خاک

Fig. 1- Mean comparison for the effect of different management systems on soil organic carbon content

میانگین‌های دارای حروف متفاوت بر اساس آزمون چندامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with the same letter(s) have not significantly different based on Duncan's multiple range test at 5% probability level.

به‌کارگیری خاک‌ورزی رایج با تجزیه سریع‌تر بقایای گیاهی تحت تأثیر زیر و رو کردن خاک در مزارع تحت مدیریت رایج کشاورزان و زمین‌های آزمایشی باعث پوسیدگی و تجزیه سریع‌تر مواد آلی شده که این امر در نتیجه کاهش بیشتر کربن آلی را در مقایسه با مزارع زعفران و باغات چندساله دارای مدیریت‌های بدون خاکورزی و خاک‌ورزی کاهش یافته به دنبال داشته است. علاوه‌براین، مصرف بیشتر کودهای آلی به‌جای نهاده‌های شیمیایی در اکوسیستم‌های کم-نهاده و چندساله نیز باعث افزایش محتوی کربن آلی خاک شده است. نتایج برخی بررسی‌ها نشان داده است که اکوسیستم‌های زراعی به‌دلیل تجزیه سریع‌تر ترکیبات آلی ناشی از اجرای خاک‌ورزی فشرده، در مقایسه با اکوسیستم‌های کم‌نهاده دارای محتوی کربن آلی به مراتب پایین‌تری هستند (Bowman et al.,1999; Lal, 2002; Lal, 2004). نتایج مطالعه زان و همکاران (Zan et al., 2001) نشان داد که محتوی کربن آلی خاک در شرایط کاشت گونه‌های چندساله نسبت به اکوسیستم‌های زراعی فشرده به مراتب بالاتر بود. آن‌ها دلیل این امر را به خاک‌ورزی کاهش یافته و مصرف بیشتر نهاده‌های آلی نسبت دادند. رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2015) میانگین محتوی کربن آلی خاک مزارع زعفران را ۰/۰۸۶ درصد گزارش نمودند. در حالی‌که میزان کربن آلی در شرایط اجرای مدیریت فشرده خاک‌ورزی به مراتب پایین‌تر بود (Rashidi & Keshavarzpour, 2008; Rashidi et al., 2008; Rashidi & Keshavarzpour, 2008). کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014) محتوی کربن آلی خاک زیستگاه‌های طبیعی و مرتع را به‌ترتیب ۳۶۴ و ۲۰۵ درصد بالاتر از اراضی زراعی گزارش نمودند. این محققان خاطر نشان ساختند اگرچه وجود خاک سالم برای کشاورزی ضروری است، ولی کشاورزی صنعتی و فشرده بر مبنای مصرف نهاده‌های شیمیایی، اعمال خاک‌ورزی‌های فشرده، چرای بیش از حد دام و تک‌کشتی محصولات مختلف باعث کاهش محتوی کربن آلی و بروز فرسایش شده است.

چن و همکاران (Chen et al., 2009) گزارش کردند که به‌کارگیری خاک‌ورزی حفاظتی، میزان کربن آلی خاک را ۷/۳ درصد نسبت به خاک‌ورزی رایج افزایش داد. ادواردز و همکاران (Edwards et al., 1992) بیان داشتند که با اعمال مدیریت درازمدت و پایدار خاک بر پایه کاهش استفاده از کودهای معدنی و عملیات خاک‌ورزی کاهش یافته، می‌توان محتوی کربن آلی را بهبود بخشید. علاوه‌براین، مصرف نهاده‌های آلی در اکوسیستم‌های چندساله موجب بهبود محتوی کربن آلی خاک در مقایسه با اکوسیستم‌های فشرده و رایج شد. در همین راستا، کوندو و همکاران (Kundu et al., 2007) نیز گزارش کردند که افزوده شدن کود دامی در مقایسه با حاصلخیزکننده‌های شیمیایی بهبود کربن آلی خاک را به دنبال داشت. کلاپ و همکاران (Clapp

et al., 2000) نیز با بررسی محتوی کربن آلی خاک تحت تأثیر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و مصرف نهاده‌های خارجی گزارش نمودند که عدم خاک‌ورزی (به‌عنوان مهم‌ترین عامل مدیریتی مؤثر بر محتوی کربن) و برگرداندن بقایای گیاهی بهترین تأثیر را بر بهبود محتوی کربن آلی خاک داشتند. به‌طور کلی، با توجه به بالاتر بودن محتوی کربن آلی خاک در اکوسیستم‌های چندساله و کم‌نهاده که باعث بهبود ظرفیت نگهداری آب (Bushby & Marshall, 1977) و به تبع آن حفظ جمعیت ریزجانداران خاکزی در مقابل بروز تنش‌های غیرزیستی نظیر خشکی می‌شود، به نظر می‌رسد که از این طریق نیز این اکوسیستم‌های مدیریتی دارای جوامع میکروبی و فعالیت میکروبی بالاتری در مقایسه با اکوسیستم‌های رایج و یک‌ساله می‌باشند.

اثر نوع مدیریت خاک بر محتوی نیتروژن کل: نوع مدیریت اکوسیستم به‌طور معنی‌داری محتوی نیتروژن کل خاک را تحت تأثیر قرار داد ($p\leq۰/۰۱$) (جدول ۲). بالاترین محتوی نیتروژن خاک برای باغ‌های چندساله با ۰/۰۳۲ درصد به‌دست آمد و کمترین میزان به مزارع رایج یک‌ساله گندم با ۰/۰۱۲ درصد اختصاص داشت. اجرای عملیات زراعی در مزارع چندساله زعفران، فشرده آزمایشی و رایج ذرت کاهش به‌ترتیب برابر با ۲۵، ۵۰ و ۵۹ درصدی محتوی نیتروژن خاک را در مقایسه با باغ‌های چندساله به دنبال داشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد که افزایش مصرف نهاده‌های آلی در اکوسیستم-های باغی و چندساله زعفران از طریق آزادسازی تدریجی عناصر غذایی باعث و کاهش تلفات عناصر باعث بهبود نیتروژن کل در مقایسه با اکوسیستم‌های پرنهاده و رایج کشاورزان شده است. رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2015) میانگین نیتروژن کل مزارع زعفران را ۰/۰۱۷ درصد اعلام نمودند. نتایج مطالعه چن و همکاران (Chen et al., 2009) موید افزایش ۷/۹ درصدی نیتروژن خاک در شرایط به‌کارگیری خاک‌ورزی حفاظتی در مزارع کم‌نهاده در مقایسه با خاک‌ورزی رایج بود. نتایج مطالعه درینکواتر و همکاران (Drinkwater et al., 1995) نشان داد که میزان نیتروژن و پتانسیل معدنی شدن آن در مزارع کم‌نهاده به مراتب بالاتر از مزارع رایج بود. بدین ترتیب، با توجه به اینکه بخش زیادی از نیتروژن شیمیایی اضافه شده به خاک (با فرم غالب نیترات) آب‌شویی می‌شود (Addiscott, 2005)، بهتر است برای افزایش کارایی مصرف کودهای نیتروژن‌دار، کاهش هزینه‌های تولید و تخفیف آلودگی‌های زیست‌محیطی در اکوسیستم‌های زراعی از انواع کودهای آلی استفاده شود. در همین راستا، تعدادی از محققان (Follett et al., 1995; Campbell et al., 1996; Lal et al., 1997; Campbell et al., 2000) نیز بر مزایای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی ناشی از مصرف انواع کودهای آلی در خاک تأکید کرده‌اند.

اثر نوع مدیریت خاک بر محتوی فسفر و پتاسیم قابل دسترس: اثر نوع مدیریت اکوسیستم بر محتوی فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک معنی‌دار بود ($p\leq۰/۰۱$) (جدول ۲). بالاترین محتوی فسفر قابل دسترس خاک در مزارع چندساله (۶۶/۹۸ میلی گرم بر کیلوگرم) به‌دست آمد و کمترین میزان به مزارع رایج یک‌ساله گندم (۲۰/۱۸ میلی گرم بر کیلوگرم) اختصاص داشت. اعمال مدیریت در باغات چندساله، مزارع رایج آزمایشی و مزارع رایج یک‌ساله ذرت موجب کاهش به‌ترتیب ۱۴، ۴۹ و ۶۴ درصدی محتوی فسفر خاک در مقایسه با مزارع چندساله گردید (جدول ۳). بیشترین و کمترین میزان پتاسیم قابل دسترس خاک برای باغ‌های چندساله و مزارع رایج یک‌ساله گندم به‌ترتیب با ۷۴۹/۱۰ و ۱۵۹/۹۸ میلی گرم بر کیلوگرم مشاهده شد. به‌کارگیری مدیریت در مزارع چندساله زعفران، رایج آزمایشی و رایج یک‌ساله ذرت کاهش به‌ترتیب ۱۴، ۷۱ و ۷۵ درصدی محتوی پتاسیم قابل دسترس خاک را در مقایسه با باغ‌های چندساله به دنبال داشت (جدول ۲). زیر و رو کردن فشرده با تثبیت فسفر و پتاسیم (به‌ویژه فسفر) در خاک، کاهش مقدار آن‌ها را در اکوسیستم‌های رایج در مقایسه با باغ‌ها و مزارع چندساله زعفران به دنبال داشته است. رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2015) میانگین فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک مزارع زعفران را به‌ترتیب ۳۱/۱۴ و ۳۴۰/۴۸ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش نمودند. آن‌ها دلیل این امر را به مصرف نهاده‌های آلی به‌ویژه کود دامی نسبت دادند. بررسی‌ها (Khajeh Pour, 2004) نشان داده است که در طولانی‌مدت، خاک‌ورزی رایج سبب کاهش محتوی فسفر و پتاسیم خاک شده و با زیر و رو کردن مداوم خاک و تسریع در اکسیداسیون ماده آلی، می‌تواند به‌دلیل افزایش نیاز به عناصر غذایی، علاوه‌بر افزایش هزینه‌های تولید، آلودگی‌های زیست محیطی را نیز افزایش دهد. باید توجه داشت که شرایط آب و هوایی به‌ویژه دما و عوامل محیطی نظیر میزان رطوبت خاک نیز می‌تواند پویایی و سرعت بازچرخش و تجزیه ماده آلی را تحت تأثیر قرار دهد. با این‌وجود، نتایج برخی مطالعات (Birch, 1985) نشان داده است که تجزیه آهسته، تدریجی و البته مداوم هوموس می‌تواند در فراهمی

نیتروژن مورد نیاز گیاهان در درازمدت مؤثر باشد. علاوه‌براین، با توجه به این مطلب که محتوی ذخیره رطوبتی خاک در شرایط بهره‌گیری از خاک‌ورزی کاهش یافته و حفاظتی به مراتب بالاتر از خاک‌ورزی رایج می‌باشد (Alvarez & Steinbach, 2009) و با در نظر گرفتن این مطلب که بخش زیادی از مناطق کشور دارای شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک هستند که آب عامل محدودکننده‌ای در این شرایط محسوب می‌شود، لذا می‌توان با بهره‌گیری از این خاک‌ورزی علاوه‌بر بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، موجب افزایش ذخیره و محتوی رطوبتی خاک، ثبات تولید نیز در بوم‌نظام‌های کشاورزی گردید.

اثر نوع مدیریت خاک بر وزن مخصوص ظاهری: نوع مدیریت اکوسیستم وزن مخصوص ظاهری خاک را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد ($p\leq۰/۰۱$) (جدول ۲). بالاترین وزن مخصوص ظاهری خاک به مزارع رایج یک‌ساله ذرت با ۱/۷۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب اختصاص داشت و کمترین میزان برای باغ‌های چندساله با ۱/۱۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب به‌دست آمد. اجرای مدیریت در مزارع چندساله زعفران، رایج یک‌ساله گندم و رایج آزمایشی موجب افزایش به‌ترتیب ۱۷، ۴۴ و ۵۱ درصدی وزن مخصوص ظاهری در مقایسه با باغ‌های چندساله گردید (جدول ۳). بررسی‌ها نشان داده است که مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی باعث تغییر تعداد، شکل، پیوستگی و توزیع اندازه شبکه منافذ خاک می‌شوند که نفوذپذیری آب، محتوی ذخیره رطوبتی و همچنین هوادهی خاک را کنترل می‌کنند (Kahlon et al., 2013). بنابراین، از آنجا که رابطه وزن مخصوص ظاهری خاک با حجم خلل و فرج معکوس است (Mohammadi et al., 2009)، مشخص است که اجرای خاک‌ورزی فشرده‌تر با زیر و رو کردن و بر هم زدن خاک و مصرف نهاده‌های آلی کمتر در اکوسیستم‌های فشرده و رایج موجب ایجاد تخلخل و بهبود وزن مخصوص ظاهری خاک در مقایسه با خاک‌ورزی‌های کم‌نهاده و چندساله شده است. به‌کارگیری خاک‌ورزی فشرده به‌دلیل افزایش تراکم ناشی از تردد ماشین‌آلات می‌تواند علاوه‌بر تخریب خاک‌دانه‌ها، موجب ایجاد لایه سخت در درازمدت در لایه‌های زیرین خاک شود که این امر نیاز به ماشین‌آلات را برای بر هم زدن لایه‌های عمقی خاک به‌منظور برگرداندن عناصر غذایی به لایه‌های سطحی و همچنین افزایش تخلخل خاک افزایش می‌دهد. گزارشات مختلف نشان داده است که جرم مخصوص ظاهری خاک در مزارع چندساله و باغ‌های مبتنی بر خاک‌ورزی حداقل و کاهش یافته در مقایسه با خاک‌ورزی رایج اکوسیستم‌های یک‌ساله به مراتب کمتر می‌باشد (Kahlon et al., 2013; Shirani et al., 2002; Shaver et al., 2002). لال (LAl, 1976) گزارش کرد که جرم مخصوص ظاهری پایین‌تر در خاک‌های بدون خاک‌ورزی عمدتاً مربوط به فعالیت‌های بیولوژیکی بالاتر است. هالورسونت و همکاران (Halvorson et al., 1999) گزارش کردند که مصرف کود دامی علاوه‌بر کاهش جرم مخصوص ظاهری، موجب هوادهی بهتر و بهبود ویژگی‌های ساختاری خاک می‌شود.

اثر نوع مدیریت خاک بر هدایت الکتریکی: اثر نوع مدیریت اکوسیستم بر هدایت الکتریکی خاک معنی‌دار بود ($p\leq۰/۰۱$) (جدول ۲). بیشترین هدایت الکتریکی برای مزارع چندساله زعفران (۲/۲۳ دسی‌زیمنس بر متر) به‌دست آمد و کمترین میزان برای مزارع رایج آزمایشی و فشرده یک‌ساله ذرت (۰/۷۴ دسی‌زیمنس بر متر) مشاهده شد. اعمال مدیریت در باغ‌های چندساله و مزارع رایج یک‌ساله گندم به‌ترتیب موجب کاهش ۱۹ و ۶۶ درصد میزان هدایت الکتریکی خاک در مقایسه با مزارع چندساله گردید (جدول ۳). به نظر می‌رسد که عامل اصلی تغییرات هدایت الکتریکی در اکوسیستم‌های فشرده مربوط به مدیریت پرنهاده به‌ویژه مصرف کودهای شیمیایی می‌باشد. در همین راستا، افزایش جزئی pH و کاهش هدایت الکتریکی خاک در اکوسیستم‌های چندساله دارای خاک‌ورزی حفاظتی و بدون خاکورزی نیز توسط مرابت (Mrabet, 2001) به تأیید رسیده است که این امر افزایش فراهمی عناصر غذایی و در نتیجه، بهبود دسترسی به آن‌ها را برای گیاهان به دنبال دارد. رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2015) میانگین هدایت الکتریکی و pH خاک مزارع زعفران را به‌ترتیب ۱/۵۳ دسی‌زیمنس بر متر و ۷/۵۵ بیان نمودند.

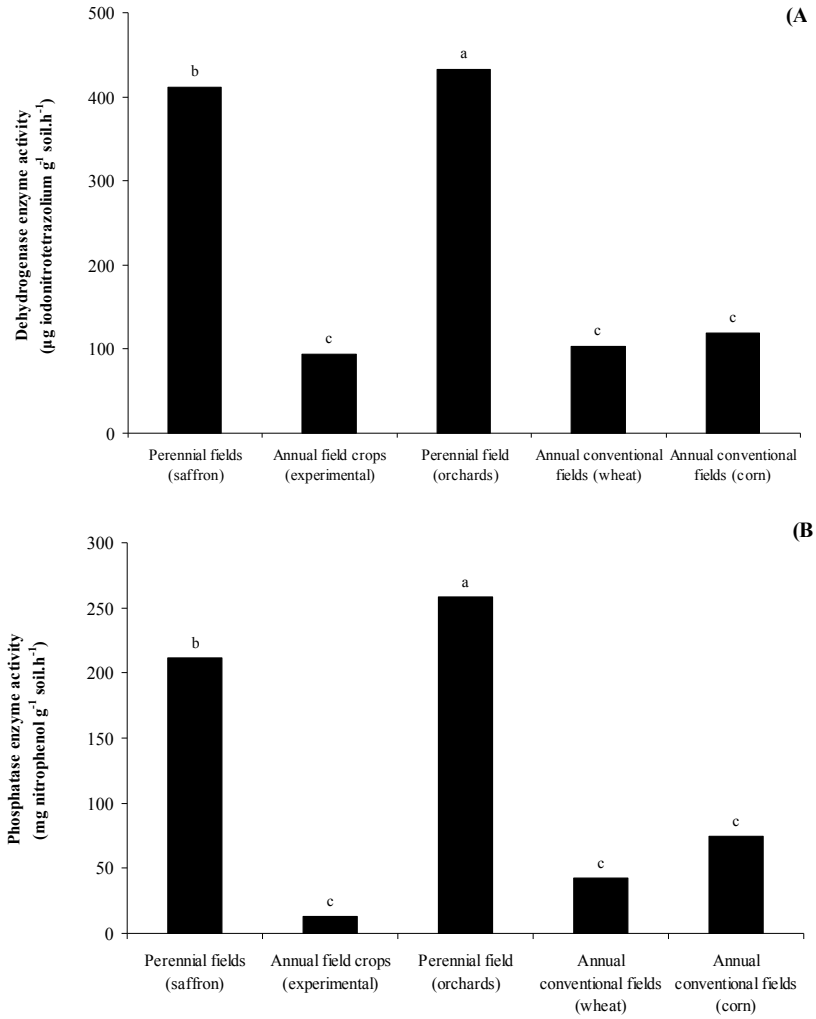
اثر نوع مدیریت خاک بر کربن زیست توده میکروبی: اثر نوع مدیریت اکوسیستم بر کربن زیست‌توده میکروبی خاک معنی‌دار بود ($p\leq۰/۰۱$) (جدول ۲). بیشترین میزان کربن زیست‌توده میکروبی خاک برای باغ‌های چندساله (۳۵۳/۳۱ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم خاک) به‌دست آمد و کمترین میزان به مزارع یک‌ساله آزمایشی (۹۰/۲۶ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم خاک) اختصاص داشت. به‌کارگیری مدیریت چندساله در مزارع زعفران، مزارع رایج یک‌ساله ذرت و گندم به‌ترتیب موجب کاهش ۸، ۴۹ و ۶۷ درصدی کربن

زیست‌توده میکروبی خاک در مقایسه با باغ‌های چندساله شد (جدول ۳). بالا بودن شدت خاک‌ورزی و کاهش مصرف نهاده‌های آلی در سیستم‌های رایج در مقایسه با مزارع چندساله و باغ‌های کم‌نهاده، کاهش کربن زیست توده میکروبی خاک را به دنبال داشته است. یکی از شاخص‌های بیولوژیکی خاک میزان زیست‌توده میکروبی بوده که افزون بر کیفیت ماده آلی نشان‌دهنده فراوانی و توانایی دسترسی ریزموجودات خاکزی به ماده اولیه می‌باشد (Moscateli et al., 2007). هر چه محتوی کربن آلی خاک بالاتر باشد، این شاخص نیز افزایش می‌یابد (Moscateli et al., 2007)، زیست‌توده میکروبی خاک که ۵-۱٪ از کل کربن آلی خاک را تشکیل می‌دهد می‌تواند به‌عنوان شاخصی از وضعیت کیفیت خاک در نظر گرفته شود (Liu et al., 2010). ویتر و کانال (Witter & Kanal, 1998) از جمله عوامل مؤثر بر این شاخص زیستی را اقلیم، تناوب زراعی به‌ویژه با گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن، خاک‌ورزی، pH، بافت و کمیت و کیفیت ماده آلی اضافه شده به خاک معرفی نمودند. از این‌رو، افزایش فعالیت‌های میکروبی خاک می‌تواند نقش مهمی را در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ایفا کند (Marschner et al., 2003). بنابراین، به نظر می‌رسد که خصوصیات خاک به‌ویژه از نظر محتوی کربن آلی و مقادیر عناصر غذایی، از طریق تحریک فعالیت جوامع میکروبی، میزان زیست‌توده میکروبی را تحت تأثیر قرار داده است. زارع و همکاران (Zarea et al., 2008) ترشحات کربن از ریشه گیاه به خاک را تحت تأثیر بالا بودن محتوی ماده آلی، عامل اصلی افزایش زیست‌توده میکروبی معرفی نمودند. آندرسون (Anderson, 2003) اظهار داشت که افزایش زیست‌توده میکروبی خاک نشان می‌دهد که کربن در خاک بر اثر افزودن ماده آلی و کاهش خاک‌ورزی صرف رشد جوامع میکروبی خاک شده است. نمازی و همکاران (Namazi et al., 2012) اظهار داشتند چنانچه نیتروژن (به‌ویژه به فرم نیترات) به‌عنوان عنصر غذایی ضروری در خاک وجود داشته باشد، زیست‌توده میکروبی جوامع خاکزی افزایش می‌یابد. دیگر بررسی‌ها نیز مؤید آن مطلب است که مصرف ماده آلی نیاز ریزموجودات خاکزی را به نیتروژن و حتی فسفر برای ساخت اجزای سلولی افزایش می‌دهد (Mahmood et al., 1997; Graham et al., 2002). نتایج برخی مطالعات (Gu et al., 2009; Liu et al., 2010; Marschner et al., 2003; Hao et al., 2008) بررسی‌ها نشان داده است که جمعیت میکروبی خاک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار کود دامی در مقایسه با کود شیمیایی افزایش یافت.

همچنین به نظر می‌رسد که افزوده شدن کود شیمیایی نیتروژن‌دار و استفاده از عملیات خاک‌ورزی فشرده در اکوسیستم‌های پرنهاده و یک‌ساله در مقایسه با سیستم‌های چندساله و کم‌نهاده به‌دلیل تغییر نسبت کربن به نیتروژن و کاهش محتوی ماده آلی خاک (Bremer et al., 1998; Egli, 1991)، باعث کاهش میزان فعالیت آن‌ها شده و در نتیجه، کربن زیست توده میکروبی را کاهش داده است. علاوه‌براین، با افزایش محتوی نیترات احتمالاً افزایش معدنی شدن نیتروژن رخ داده که در نتیجه، باعث کاهش جمعیّت میکروبی خاک شده است (Tisdale & Nelson, 1993). هی و همکاران (He et al., 1997) گزارش نمودند که کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژن نظیر سولفات آمونیوم موجب کاهش زیست‌توده میکروبی خاک گردید. هاتچینز و همکاران (Hutchins et al., 1991) نیز بر اثر بازدارندگی کودهای شیمیایی نیتراته بر جلوگیری از فعالیت ریزموجودات خاکزی و توان ترسیب کربن تأکید نمودند. رز و همکاران (Ros et al., 2003) اظهار داشتند که زیست‌توده میکروبی خاک غنی شده با کمپوست به‌طور معنی‌داری بالاتر از شاهد بود. آن‌ها دلیل این امر را به تحریک فعالیت‌های میکروبیولوژیکی خاک و افزایش تعداد ریزجانداران و فعالیت میکروبی خاک نسبت دادند. بدین ترتیب، با توجه به این موضوع که فعالیت‌های میکروبی از نظر چرخه عناصر غذایی در خاک‌ها، تأثیر بر سایر خصوصیات خاک و انتقال مواد و انرژی در بین اجزای مختلف اکوسیستم‌ها ضروری می‌باشند (Namazi et al., 2012) و در نظر گرفتن این مطلب که زیست‌توده میکروبی شاخص مناسبی جهت بررسی اثر مدیریت اکوسیستم‌ها بر سلامت خاک می‌باشد (Balota et al., 2003)، توصیه می‌شود از راهکارهای مختلف مدیریتی نظیر جایگزینی مصرف نهاده‌های آلی با کودهای شیمیایی به‌ویژه نیتروژن و خاک‌ورزی‌های کاهش یافته جهت بهبود زیست‌توده میکروبی خاک بهره‌گیری گردد. نتایج مطالعات هریسون (Harrison, 1987) نیز نشان داد که فراهمی عناصر غذایی فسفر و نیتروژن از شکل آلی به معدنی، جذب آن‌ها را برای گیاهان و ریزجانداران فراهم می‌نماید و علاوه‌بر افزایش دسترسی عناصر غذایی در خاک، تشدید فعالیت‌های جوامع خاکزی را نیز موجب می‌گردد.

اثر نوع مدیریت خاک بر فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز و فسفاتاز: میزان فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز و فسفاتاز خاک

به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع مدیریت اکوسیستم قرار گرفت ($p\leq۰/۰۱$) (جدول ۲). بالاترین و پایین‌ترین میزان فعالیت آنزیم دهیدروژناز به‌ترتیب برای باغ‌های چندساله و مزارع رایج یک‌ساله به‌ترتیب با ۴۲۳/۴۷ و ۹۳/۹۴ کیلوگرم یدونیترو تترازولیوم در گرم خاک در ساعت حاصل شد. اجرای مدیریت در مزارع چندساله، مزارع رایج یک‌ساله گندم، مزارع رایج یک‌ساله ذرت و مزارع رایج یک‌ساله کاهش به‌ترتیب ۵، ۷۲، ۷۶ و ۷۸ درصدی فعالیت آنزیم دهیدروژناز را در مقایسه با باغ‌های چندساله موجب گردید (شکل ۲- الف). بیشترین فعالیت آنزیم فسفاتاز برای باغ‌های چندساله با ۲۵۸/۴۸ میلی‌گرم نیتروفنول در گرم خاک در ساعت حاصل گردید و کمترین میزان به مزارع رایج یک‌ساله با ۱۲/۸۰ میلی‌گرم نیتروفنول در گرم خاک در ساعت اختصاص داشت. به‌کارگیری عملیات مدیریتی در مزارع چندساله، مزارع رایج یک‌ساله گندم و مزارع رایج یک‌ساله ذرت کاهش به‌ترتیب ۱۸، ۷۱ و ۸۴ درصدی فعالیت آنزیم فسفاتاز را در مقایسه با باغ‌های چندساله به دنبال داشت (شکل ۲- ب).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر مدیریت‌های مختلف اکوسیستم بر فعالیت آنزیم‌های (الف) دهیدروژناز و (ب) فسفاتاز خاک

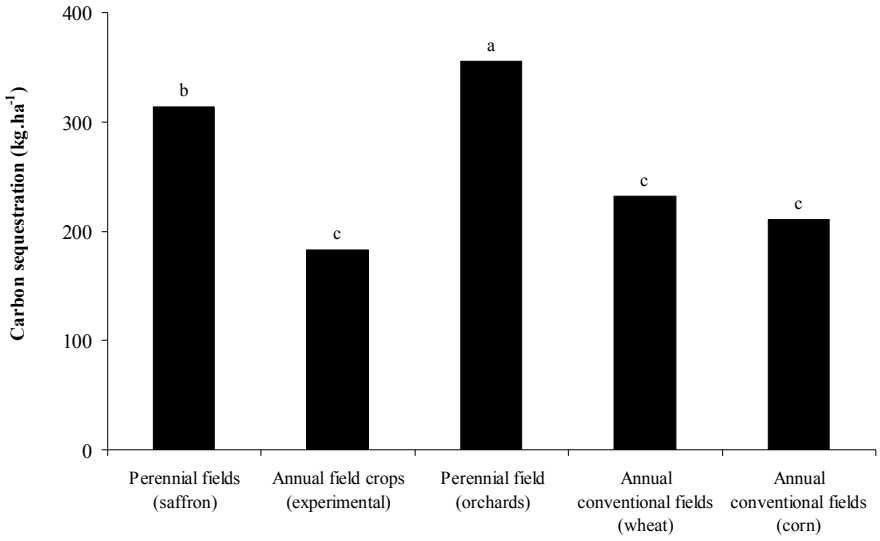
Fig. 2- Mean comparison for the effect of different management systems on (A) dehydrogenase and (B) phosphatase enzyme activities of soil

میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر شکل، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with the same letter(s) in each figure have not significantly different based on Duncan's multiple range test at 5% probability level.

میزان بالاتر فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز و دهیدروژناز در باغ‌ها و مزارع زعفران چندساله نسبت به اکوسیستم‌های زراعی یک‌ساله مربوط به برهم زدن، دستکاری و به تبع آن تخریب کمتر خاک تحت تأثیر خاک‌ورزی کاهش یافته و کاربرد ماده‌آلی بالاتر می‌باشد (Rashidi et al., 2011). رشیدی و همکاران (Rashidi et al., 2011) فعالیت آنزیم دهیدروژناز در شرایط اجرای خاک‌ورزی کاهش یافته با گاوآهن پنجه‌غازی (به‌ترتیب ۴۱۶/۲ بر اساس میکروگرم یدو نیترو تترازولیوم در گرم خاک در ساعت و ۲۷۳ میلی‌گرم نیتروفنول در گرم خاک در ساعت) و خاک‌ورزی متداول با گاوآهن برگردان‌دار (به‌ترتیب ۳۱۴/۷ بر اساس میکروگرم یدو نیترو تترازولیوم در گرم خاک در ساعت و ۲۴۶/۵ میلی‌گرم نیتروفنول در گرم خاک در ساعت) گزارش نمودند. تغییرات نسبتاً یکسان این دو آنزیم در واکنش به نوع مدیریت خاک در اکوسیستم‌های کشاورزی، نشان‌دهنده مشابه بودن عوامل کنترل‌کننده آن‌ها می‌باشد. بدین ترتیب، از آنجا که این آنزیم-ها مسئول انجام فرآیندهای هیدرولیز بخشی از ترکیبات آلی مورد نیاز رشد گیاهان هستند، افزایش هر یک از آن‌ها حاکی از آن است که جمعیت میکروبی خاک با دریافت کود آلی از سطح فعالیت بالاتری برخوردار شده که امکان سنتز مقادیر بیشتر آنزیم‌های فوق را فراهم نموده است (Hojati et al., 2006). حضور ترکیبات آلی بیشتر در خاک از طریق افزایش ترکیبات استری فسفات منجر به القای تولید آنزیم فسفاتاز می‌شود (Tabatabai, 2003). احمدپور و همکاران (Ahmadpoor et al., 2011) گزارش نمودند که بین فعالیت آنزیمی و محتوی ماده آلی خاک ارتباط خطی و مثبت وجود دارد؛ به‌طوری‌که با افزایش مقدار ماده آلی، جمعیت میکروبی خاک و سنتز آنزیم‌ها افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، بررسی‌ها نشان داده است که افزودن کودهای شیمیایی به‌ویژه فسفر، فعالیت آنزیم فسفاتاز را کاهش می-دهد (Raiesi & Ghollarata, 2006). نتایج مطالعه ساها و همکاران (Saha et al., 2008) روی اثر سه نوع کود آلی دامی، کمپوست و ورمی‌کمپوست بر فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی نشان داد که بیشترین فعالیت، مربوط به ورمی‌کمپوست بود. لیانگ و همکاران (Liang et al., 2003) افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز را در شرایط افزودن کاه برنج، فضولات خوک، کاه برنج + فضولات خوک به‌ترتیب برابر با ۲۱۹، ۲۸۱ و ۲۴۹ درصد گزارش نمودند. لیانگ و همکاران (Liang et al., 2003) نیز تأکید کردند که کاربرد نهاده‌های آلی همچون ورمی‌کمپوست موجب تشدید فعالیت آنزیم فسفاتاز گردید. نتایج مطالعه نوربخش و همکاران (Noorbakhsh et al., 2001) نشان داد که اضافه کردن کربن آلی خاک از طریق پودر یونجه موجب افزایش فعالیت آنزیم اوره‌آز گردید. از طرف دیگر، میزان فعالیت این آنزیم در خاک‌های شنی و عاری از مواد آلی بسیار پایین بود. فرقانی (Forgani, 2003) نشان داد که فعالیت آنزیم اوره‌آز و فسفاتاز به‌دلیل وجود منابع کربن قابل تجزیه و محتوی فسفر و نیتروژن قابل دسترس تحت تأثیر مصرف کود آلی افزایش یافت. رشیدی و همکاران (Rashidi et al., 2011) نتیجه گرفتند که فعالیت آنزیم دهیدروژناز در شرایط مصرف کود شیمیایی در مقایسه با کودهای آلی کاهش یافت.

اثر نوع مدیریت خاک بر ترسیب کربن: مدیریت اکوسیستم، کربن ترسیب شده خاک را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد ($p\leq ۰/۰۱$) (جدول ۲). افزایش مصرف کودهای آلی همراه با اعمال خاک‌ورزی‌های کاهش یافته در اکوسیستم‌های چندساله زراعی و باغی از طریق افزایش محتوی کربن آلی (شکل ۱)، ترسیب کربن خاک را افزایش داد. به‌طوری‌که بیشترین و کمترین میزان کربن ترسیب شده خاک به‌ترتیب برای باغ‌های چندساله و مزارع رایج یک‌ساله به‌ترتیب با ۳۵۵/۳۱ و ۱۸۲/۴۸ کیلوگرم کربن در هکتار شد. بنابراین، با توجه به اینکه بالاترین محتوی کربن آلی (شکل ۱) مربوط به باغ‌های چندساله بود، لذا بیشترین کربن ترسیب شده نیز به این اکوسیستم اختصاص داشت. اجرای عملیات مدیریتی در مزارع چندساله، مزارع یک‌ساله ذرت و مزارع یک‌ساله گندم به‌ترتیب موجب کاهش ۱۲، ۳۵ و ۴۱ درصدی کربن ترسیب شده خاک در مقایسه با میزان این صفت در باغ‌های چندساله شد (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر مدیریت‌های مختلف اکوسیستم بر ترسیب کربن خاک

Fig. 3- Mean comparison for the effect of different management systems on carbon sequestration in soil

میانگین‌های دارای حروف متفاوت در هر شکل، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with the same letter(s) in each figure have not significantly different based on Duncan's multiple range test at 5% probability level.

ترسیب کربن توسط گیاهان ساده‌ترین و اقتصادی‌ترین راهکار جهت تخفیف غلظت دی‌اکسید کربن محسوب می‌شود (Forouzeh et al., 2008). بررسی‌ها نشان داده است که رابطه مستقیمی بین کربن ترسیب شده و مدیریت اکوسیستم‌های زراعی وجود دارد (Post & Kwon, 2000). از آنجا که خاک‌دانه‌های درشت (>۰/۲۵ میلی-متر) از نظر محتوی کربن غنی‌تر از خاک‌دانه‌های میکرو (<۰/۲۵ میلی‌متر) هستند (Six et al., 2000)، لذا سیستم بدون خاک‌ورزی، از طریق افزایش خاک‌دانه‌های ماکرو غنی از کربن و کاهش خاک‌دانه-های میکرو موجب بهبود ترسیب کربن می‌شود (Six et al., 2000). خرم دل و همکاران (Khorramdel et al., 2013) گزارش نمودند که میزان کربن ترسیب شده در خاک به طور معنی‌داری تحت تاثیر نوع مدیریت نظام زراعی قرار گرفت؛ به طوری‌که افزایش مصرف کودهای آلی همراه با عدم خاکورزی در نظام‌های کم‌نهاده از طریق افزایش کربن آلی، ماده آلی، کربن پایدار و بهبود نسبت کربن پایدار به ناپایدار، افزایش کربن ترسیب شده را موجب گردید. دورودنیکو و همکاران (Dorodnikov et al., 2009) به اهمیت خاک‌دانه‌های درشت در ترسیب کربن تأکید کردند. آسموس (Asmus, 2009) سیستم بدون خاک‌ورزی را راهکاری اقتصادی و پایدار در جهت بهبود پتانسیل ترسیب کربن معرفی نمود. ترسیب کربن به خصوصیات رشد گونه‌های گیاهی و شیوه‌های مدیریت، روش احیاء و شرایط محیطی، تغییر کاربری اراضی، شرایط فیزیکی و بیولوژیکی خاک و ذخیره کربن خاک بستگی دارد (Derner & Schuman, 2007; Post & Kwon, 2000). تحقیقات مؤید آن مطلب است که کاشت گونه‌های چندساله در راستای به‌کارگیری سیستم بدون خاکورزی یکی از راهکارهای مهم مدیریتی جهت افزایش توان بالقوه ترسیب کربن خاک می‌باشد (Zan et al., 2001; Su, 2007; Bremer, 2009). نتایج مطالعات سو (Su, 2007) مؤید بهبود معنی‌دار محتوی کربن ترسیب شده و نیتروژن کل اکوسیستم‌های چندساله در مقایسه با مزارع یک‌ساله بود. آلبرتی و همکاران (Alberti et al., 2010) نیز خاطر نشان ساختند که تبدیل مزارع یک‌ساله ذرت به اکوسیستم‌های چندساله از طریق جلوگیری از تلفات کربن، موجب بهبود توان بالقوه ترسیب کربن گردید. این محققان همچنین تأکید کردند که توان بالقوه ترسیب کربن در اکوسیستم‌های زراعی علاوه‌بر آب و هوا وابسته به نوع خاک، نوع گیاه و عملیات مدیریتی به‌ویژه شدت

عملیات خاک‌ورزی می‌باشد.

همچنین با توجه به این موضوع که فشرده شدن خاک در اثر تردد ماشین‌آلات علاوه‌بر کاهش خصوصیات کیفی خاک (Lal, 1993; Khan et al., 1993; Khurshid et al., 2006) موجب بروز اثرات نامطلوب بر رشد گیاهان زراعی می‌گردد (Miransari & Smith, 2009) و از آنجا که بکارگیری خاک‌ورزی کاهش یافته به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند علاوه‌بر حفظ ذخیره رطوبتی (Van Wie et al., 2013; Alvarez & Steinbach, 2009; Jin et al., 2007) و بهبود خصوصیات خاک (Follett et al., 2005; Lal et al., 1997; Drinkwater et al., 1995; Alvarez & Steinbach, 2009)، افزایش عملکرد (Ozpinar & Baytekin, 2006; De Vita et al., 2007) و بهبود پتانسیل ترسیب کربن (Asmus, 2009; Alberti et al., 2010; Zan et al., 2001; Su, 2007; Bremer, 2009) را به دنبال داشته باشد، به‌کارگیری این رهیافت به‌عنوان راهکاری پایدار در مناطق مختلف کشور توصیه می‌شود.

ب) برآورد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی

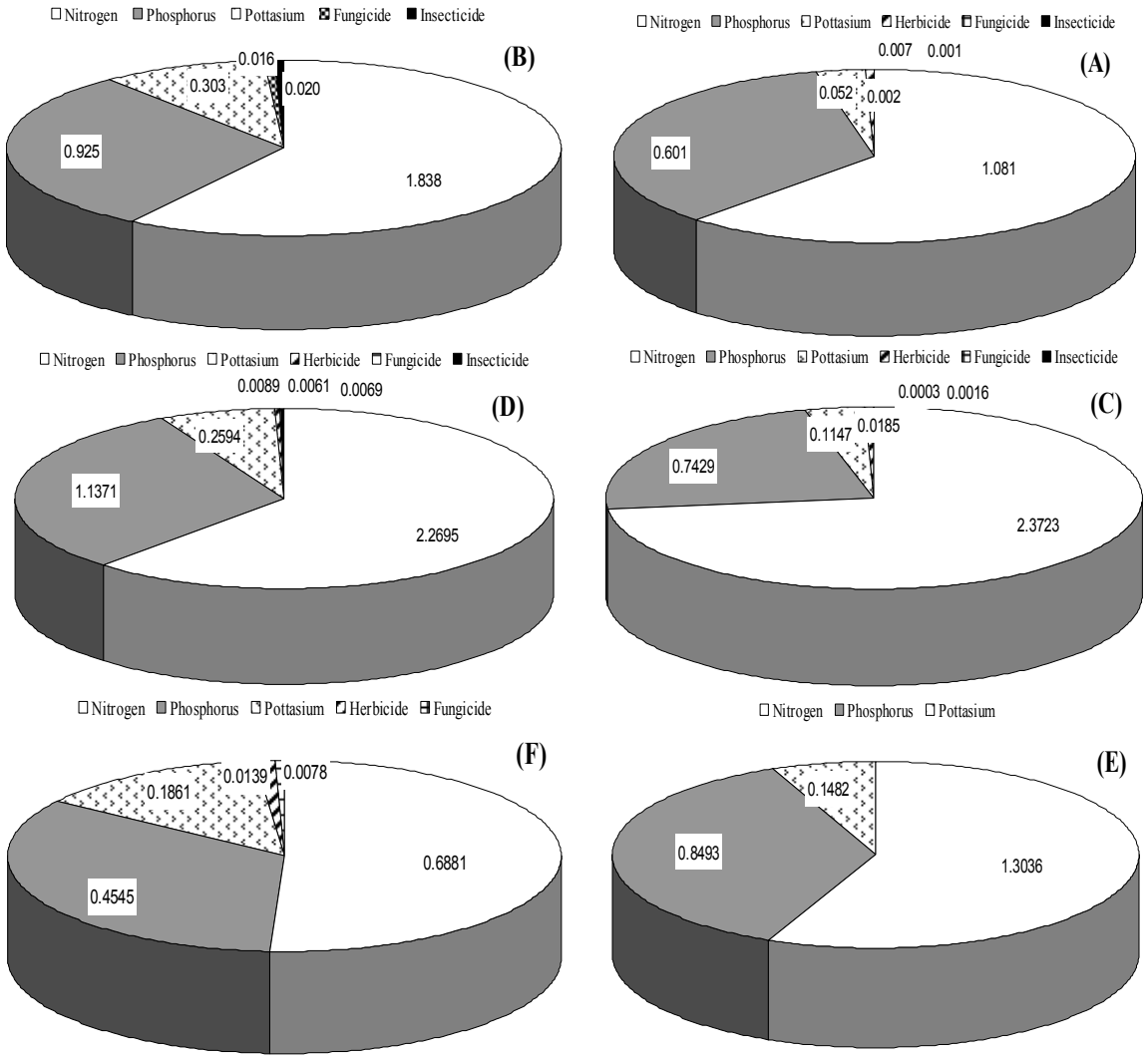
بررسی مجموع انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای شامل CO_2، N_2O و CH_4 مشخص نمود که بیشترین مجموع انتشار این گازها در تولید گندم، گوجه‌فرنگی، ذرت، سیب‌زمینی، چغندرقند و کلزا برای مصرف کودهای نیتروژن به‌ترتیب با ۱/۰۸، ۱/۸۴، ۲/۳۷، ۲/۲۷، ۱/۳۰ و ۰/۶۹ تن به‌ازای هکتار محاسبه گردید. کمترین مجموع انتشار این گازها در تولید این محصولات در مقایسه بین کودهای پرمصرف برای پتاسیم به‌ترتیب برابر با ۰/۰۵، ۰/۳۰، ۰/۱۱، ۰/۲۶، ۰/۱۵ و ۰/۱۹ تن به‌ازای هکتار به‌دست آمد. در بین انواع سموم شیمیایی مورد استفاده در تولید محصولات مختلف، بالاترین مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای برای گندم، ذرت، سیب‌زمینی و کلزا مربوط به علف‌کش (به‌ترتیب با ۰/۰۰۷، ۰/۱۸۵، ۰/۰۰۸۹ و ۰/۰۱۳۹ تن به‌ازای هکتار) بود و برای گوجه‌فرنگی و چغندرقند به حشره‌کش (به‌ترتیب با ۰/۰۲۰۴ و ۰/۰۰۸۴ تن به‌ازای هکتار) اختصاص داشت (شکل ۴).

بیشترین پتانسیل گرمایش جهانی برای سیب‌زمینی با ۳/۶۹ تن معادل CO_2 به‌ازای هر هکتار محاسبه شد که نسبت به گندم، چغندرقند، گوجه‌فرنگی و ذرت به‌ترتیب ۵۳، ۳۷، ۱۶ و ۱۲ درصد بالاتر بود. کمترین پتانسیل گرمایش جهانی برای کلزا با ۱/۳۵ تن معادل CO_2 به‌ازای هر هکتار به‌دست آمد (شکل ۵). از آنجا که بالاترین مصرف کود نیتروژن در بین گیاهان مورد مطالعه برای سیب‌زمینی محاسبه شد (شکل ۴)، لذا در نهایت، بالاترین پتانسیل گرمایش جهانی نیز برای این این گیاه به‌دست آمد.

با مقایسه میزان انتشار کلیه گازهای گلخانه‌ای تحت مدیریت زراعی مشخص گردید که میزان انتشار این گاز در شرایط استفاده از کود نیتروژن بالاتر از دیگر نهاده‌های شیمیایی بود که این امر مربوط به ضریب انتشار بالاتر نیتروژن (۱/۳ کیلوگرم CO_2 به‌ازای مصرف هر کیلوگرم کود نیتروژن) نسبت به کودهای فسفره و پتاسیم و آفت‌کش‌ها می‌باشد. همچنین برای تولید این نهاده شیمیایی مستقیماً از سوخت‌های فسیلی به‌عنوان منبع انرژی استفاده می‌شود. مصرف کود اوره برای تامین عنصر اصلی مورد نیاز از طریق تحریک رشد گیاه موجب تنفس بیشتر ریشه و ریزموجودات خاکزی شده که از این طریق نیز افزایش انتشار گاز دی اکسید کربن را باعث می‌گردد (Guillou et al., 20011). علاوه‌براین، تأثیر نیتروژن در تولید N_2O نیز ثابت شده است (Dalal et al., 2003). اشنایدر و همکاران (Snyder et al., 2009) اظهار داشتند که تولید کود اوره در کارخانه یکی از اصلی‌ترین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌وسیله این نهاده شیمیایی می‌باشد. رجبی و همکاران (Rajabi et al., 2012) اظهار داشتند که کود شیمیایی نیتروژن یکی از مهم‌ترین نهاده‌های دخیل در انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی می‌باشد. نتایج اشنایدر و همکاران (Snyder et al., 2009) روی انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از مدیریت منابع کودی مختلف در اکوسیستم‌های تولید گیاهان زراعی نشان داد که کاربرد کود شیمیایی نیتروژن منبع اصلی تولید گازهای گلخانه‌ای به‌خصوص دی اکسید کربن و اکسید نیتروژن می‌باشد؛ به‌طوری‌که در بین منابع شیمیایی نیتروژن، کود اوره بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را باعث گردید. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014) میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل CO_2، CH_4 و N_2O ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی را به‌ترتیب ۶۳۲۰۶۰۵۲، ۴۰۰۵ و ۴۱۹ کیلوگرم به‌ازای یک لیتر گازوئیل گزارش نمودند. کارل و همکاران (Kahrl et al., 2010) نیز با بررسی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف کود نیتروژن در چین گزارش نمودند که با افزایش مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای افزایش یافت. یوسفی و همکاران (Yousefi

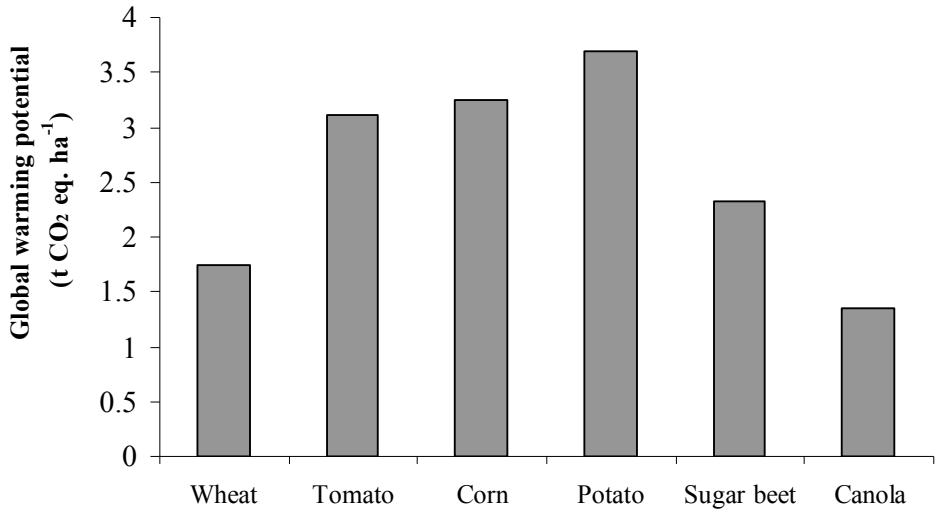
et al., 2014 a) با بررسی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید چغندرقند گزارش نمودند که نقش کودهای نیتروژن در انتشار گازهای گلخانه‌ای سه برابر بیشتر از فسفر بود.

همان‌طور که از نتایج این مطالعه نیز برمی‌آید، مصرف نیتروژن نقش مهمی در افزایش پتانسیل گرمایش جهانی دارد؛ به‌طوری‌که افزایش مصرف این عنصر موجب تشدید پتانسیل گرمایش جهانی گردید. ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2014) بیان نمودند که کشت و کار غلات به‌دلیل استفاده زیاد از سوخت‌های فسیلی و نهاده‌های شیمیایی یکی از مهم‌ترین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل تشدید گرمایش جهانی محسوب می‌شود.



شکل ٤- مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای (تن CO_2 به‌ازای هکتار) برای محصولات مختلف زراعی: (الف) گندم، (ب) گوجه‌فرنگی، (ج) ذرت، (د) سیب‌زمینی، (ه) چغندرقند و (و) کلزا

Fig. 4- Total emission of greenhouse gases (t CO_2 per ha) for different crops: (a) wheat, (b) tomato, (c) corn, (d) potato, (e) sugar beet and (f) canola



شکل ۵- پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از مصرف نهاده‌های شیمیایی برای محصولات مختلف زراعی
Fig. 5- Global warming potential caused by chemical inputs for different crops

داتا و همکاران (Datta et al., 2013) نیز با بررسی تأثیر کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر انتشار گاز گلخانه‌ای متان در هند، اظهار داشتند که با افزایش این نهاده‌ها میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. خوش‌نویسان و همکاران (Khoshnevisan et al., 2013) نیز تأیید نمودند که در زراعت گندم، نقش کودهای شیمیایی نیتروژن در پتانسیل گرمایش جهانی بسیار بیشتر از فسفر و پتاسیم بوده و استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی سهم ناچیزی را شامل می‌شوند. یوسفی و همکاران (Yousefiet al., 2014 a) میزان پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از مصرف نیتروژن و فسفر در تولید چغندرقند به‌ترتیب ۱۴۴۶ و ۴۵۶ کیلوگرم در هکتار گزارش نمودند. کوچکی و نصیری محلاتی (Koocheki & Nassiri Mahallati, 2015) با ارزیابی چرخه حیات در اکوسیستم‌های تولید گندم ایران گزارش نمودند که با افزایش مصرف نهاده‌ها پتانسیل گرمایش جهانی در واحد سطح به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و در اکوسیستم‌های پرنهاده تولید گندم به kg ۲۹۱۱ CO_2eq/ha رسید، در حالی‌که در اکوسیستم‌های کم‌نهاده در حدود ۱۶۰۰ kg CO_2eq/ha یعنی ۴۵ درصد کمتر از اکوسیستم پر نهاده بود. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2014) پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از مصرف کود شیمیایی نیتروژن را برای گندم، جو و ذرت به‌ترتیب حدود ۷۵، ۶۹ و ۱۱۵ کیلوگرم در هکتار برآورد کردند. در رابطه با مصرف فسفر و پتاسیم، پتانسیل گرمایش جهانی در ذرت بیشتر از گندم بود و جو کمترین میزان را به خود اختصاص داد. آن‌ها روند پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی را برای گندم، جو و ذرت متناسب با میزان کودهای شیمیایی گزارش نمودند. یوسفی و همکاران (Yousefi et al., 2014 b) با ارزیابی انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی برای تولید ذرت در استان کرمانشاه بیان نمودند که میزان انتشار برای گازهای گلخانه‌ای در مصرف کود نیتروژن بیشتر از فسفر و آن هم بیشتر از پتاسیم بود. همچنین، در هر سه نهاده مصرفی، CO_2 بیشترین و N_2O کمترین میزان انتشار را دارا بودند. از طرفی، ایشان گزارش نمودند که پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از مصرف کود نیتروژن حدود سه برابر فسفر بود. پتاسیم نیز کمترین میزان پتانسیل گرمایش جهانی را شامل شد.

علاوه‌بر افزایش هزینه‌های تولید تحت تأثیر مصرف زیاد نهاده‌های شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژن، بررسی‌ها نشان داده است که بیش از ۵۰ درصد نیتروژن مورد استفاده از طریق آب‌شویی و تصعید از دسترس گیاه خارج می‌شود (Verge et al., 2007)، دنیتریفیکاسیون نیز منبع اصلی انتشار N_2O از خاک می‌باشد (Dalal et al., 2003). ترشح مواد گیاهی از ریشه و تراوه‌های ریشه‌ای به‌عنوان منبع اصلی کربن برای ریزموجودات دخیل در دنیتریفیکاسیون محسوب شده که افزایش این مواد از طریق تشدید فعالیت این ریزموجودات باعث تشدید غلظت گاز دی اکسید کربن به اتمسفر می‌شود (Maraseni &

Cockfield, 2011). بدین‌ترتیب، کاهش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش مصرف انواع نهاده‌های آلی را می‌توان به‌عنوان راهکاری اکولوژیک در مدیریت پایدار اکوسیستم‌های زراعی مدنظر قرار داد که از طریق کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تخفیف[1] تغییر اقلیم را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد.

نتیجه‌گیری

خاک به عنوان پایه و اساس تولید در بوم‌نظام‌های کشاورزی، نقش مهمی در خدمات و کارکردها نظیر چرخه عناصر غذایی، تشکیل دانه‌بندی خاک، تنظیم شاخص واکنش، فرسایش، پاکسازی آب و غیره ایفا می‌نماید و از طرفی، تغییین‌کننده پتانسیل ترسیب کربن به عنوان یکی از خدمات مهم می‌باشد. از طرفی، این کارکردها و خدمات وابسته به نوع مدیریت اکوسیستم می‌باشد. نتایج این مطالعه روی مقایسه مدیریت سیستم‌های مختلف پرنهاده (یکساله) و کم‌نهاده (چندساله) بر خدمات و کارکردهای خاک در استان خراسان نشان داد که نوع مدیریت به طور معنی‌داری خصوصیات خاک و سطح خدمات را تحت تاثیر قرار داد، به طوری‌که مدیریت پرنهاده از طریق کاهش میزان کربن آلی، افت سایر خدمات و به ویژه کربن ترسیب شده را به دنبال داشت. افت خدمات و کارکردهای خاک در مزارع رایج و یکساله تحت تاثیر افزایش مصرف کودها و سموم شیمیایی و اجرای خاکورزی‌های فشرده می‌باشد که این امر علاوه بر تخریب خاک، تلفات تنوع زیستی، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تشدید تغییر اقلیم را به دنبال دارد.

مقایسه میزان انتشار گازهای مختلف گلخانه‌ای در تولید محصولات مهم زراعی نشان داد که بالاترین پتانسیل گرمایش جهانی به دلیل مصرف بالای کودهای شیمیایی مربوط به سیب‌زمینی بود.

بدین ترتیب، باتوجه به اهمیت خاک و حفظ و ارتقاء سطح خدمات و کارکردهای آن در بوم‌نظام‌های کشاورزی، پیشنهاد می‌شود مصرف نهاده‌های آلی و خاکورزی‌های کاهش یافته به عنوان راهکارهایی اکولوژیک و بوم‌سازگار در مدیریت پایدار اکوسیستم‌های کشاورزی مدنظر قرار گیرد که این امر از طریق بهبود خدمات و کارکردهای خاک نظیر محتوی کربن آلی و کربن ترسیب شده می‌تواند نقش موثری در تخفیف انتشار گازهای گلخانه‌اتی و تغییر اقلیم ایفا نماید.

سپاسگزاری

اعتبار این پژوهش از محل پژوهه طرح شماره ۲/۲۹۳۴۷ مصوب ۱۳۹۲/۱۱/۲۱ معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

References

Addiscott, T., 2005. Nitrate, Agriculture and the Environment. CABI, Science 279 pp.

Ahmadpoor, S.R., Bahmanyar, M.A., Gilani, S.S., and Forghani, A., 2011. Evaluation of the activities of urease and phosphatase enzymes and changes in some chemical characteristics of soil amended with compost and vermicompost under corn cultivation. Iranian Journal of Soil Research 25(2): 113-123. (In Persian with English Summary)

Alberti, G., Vedove, G.D., Zuliani, M., Peressotti, A., Castaldi, S., and Zerbi, G., 2010. Changes in CO_2 emissions after crop conversion from continuous maize to an Agriculture alfalfa. Agriculture, Ecosystems and Environment 136(1-2): 139-147.

Alvarez, R., and Steinbach, H.S., 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. Soil and Tillage Research 104: 1–15.

Anderson, T.H., 2003. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. Agriculture, Ecosystems and Environments 98: 285-293.

Asmus, C.D., 2009. Soil aggregation and carbon sequestration. Fallowing a single tillage event in no-till soils in a semi-arid environment. A MSc. Thesis of Agronomy College of Agriculture, Kansas State University. 173 pp.

Bahadar, K.M., Arif, M., and Khan, M.A., 2007. Effect of tillage and Zinc application methods on weeds and yield of maize. Pakistan Journal of Botany 39: 1583-1591.

Balota, E.L., Colozzi-Filho, A., Andrade, D.S., and Dick, R.P., 2003. Microbial biomass in soils under different tillage

1- Mitigation

and crop rotation systems. Biology and Fertility of Soils 38: 15-20.

Bengtsson, J., Ahnström, J., and Weibull, A.C., 2005. The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: A meta-analysis. Journal of Applied Ecology 42(2): 261-269.

Bhardwaj, A.K., Jasrotia, P., Hamilton, S.K., and Robertson, G.P., 2011. Ecological management of intensively cropped agro-ecosystems improves soil quality with sustained productivity. Agriculture, Ecosystems and Environment 140: 419–429.

Black, C.A., 1965. Methods of Soil Analysis. (V. I). American Society of Agronomy 1572 pp.

Bowman, R.A., Vigil, M.F., Nielsen, D.C., and Anderson, R.L., 1999. Soil organic matter changes in intensively cropped dryland systems. Soil Science Society of America Journal 63: 186–191.

Brady, N.C., and Weil, R.R., 2002. The Nature and Properties of Soils, 13th ed. Prentice Hall. 960 pages.

Bremer, D.J., Ham, J.M., Owensby, C.E., and Knapp, A.K., 1998. Responses of soil respiration to clippling and grazing in a tallgrass prairie. Journal of Environmental Quality 27: 1539-1548.

Bremer, E., 2009. Potential for Reductions in Greenhouse Gas Emissions from Native Rangelands in Alberta (Technical Scoping Document). pp. 24.

Bremner, J.M., 1970. Nitrogen total, regular Kjeldahl method, In: Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. 2nd Ed. Agronomy 9(1). A. S. A. Inc., S. S. S. A. Inc., Madison Publisher, Wisconsin, USA, pp. 610-616.

Bushby, H.V.A., and Marshall, K.C., 1977. Some factors affecting the survival of root-nodule bacteria on desiccaticcation. Soil Biology and Biochemistry 9: 143-147.

Campbell, C.A., McConkey, B.G., Zentner, R.P., Selles, F., and Curtin, D., 1996. Long-term effects of tillage and crop rotations on soil organic C and total N in a clay soil in southwestern Saskatchewan. Canadian Journal of Soil Science 76: 395-401.

Campbell, C.A., Zentner, R.P., Liang, B.C., Roloff, G., Gregorich, E.G., and Blomert, B., 2000. Organic C accumulation in soil over 30 years in semiarid south-western Saskatchewan-effect of crop rotation and fertilizers. Canadian Journal of Soil Science 80: 179-192.

Chen, H.Q., Marhan, S., Billen, N., and Stahr, K., 2009. Soil organic carbon and total nitrogen stocks as affected by different land uses in Baden-Wurttemberg, southwest Germany. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 172: 32–42.

Clapp, C.E., Allmarasa, R.R., Layeseb, M.F., Lindena, D.R., and Dowdya, R.H., 2000. Soil organic carbon and ^{13}C abundance as related to tillage, crop residue, and nitrogen fertilization under continuous corn management in Minnesota. Soil and Tillage Research 5: 127-142.

Daily, G.C., Alexander, S., and Ehrlich, P.R., 1997. Ecosystem services: benefits supplied to human societies by natural ecosystems, Issues in Ecology A publication of the Ecological Society of America, Washington, DC. 2: 18–24.

Dalal, R.C., Wang, W., Robertson, P., and Parton, W.J., 2003. Nitrous oxide emission from Australian agriculture lands and mitigation options: A review. Australian Journal of Soil Research 41: 165–195.

Datta, A., Santra, S.C., and Adhya, T.K., 2013. Effect of inorganic fertilizers (N, P, K) on methane emission from tropical rice field of India. Atmospheric Environment 66: 123-130.

De Vita, P., Di Paolo, E., Fecondo, G., Di Fonzo, N., and Pisante, M., 2007. Notillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. Soil and Tillage Research 92: 69–78.

Derner, J.D., and Schuman, G.E., 2007. Carbon sequestration and rangelands: A synthesis of land management and precipitation effects. Journal of Soil and Water Conservation 62(2): 77-85.

Diaz, R.J., and Rosenberg, R., 2008. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. Science 321(5891): 926-929.

Dorodnikov, M., Blagodatskaya, E., Blagodatsky, S., Marhan, S., Fangmeier, A., and Kuzyakov, Y., 2009. Stimulation of microbial extracellular enzyme activities by elevated CO_2 depends on aggregate size. Global Change Biology 15: 1603–1614.

Drinkwater, L.E., Letourneau, D.K., Workneh, F., Van Bruggen, A.H.C., and Shennan, C., 1995. Fundamental differences between conventional and organic tomato agroecosystems in California. Ecological Applications 5: 1098–1112.

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.

Edwards, J.H.,Wood, C.W., Thurlow, D.L., and Ruf, M.E., 1992. Tillage and crop rotation effects on fertility status of a hapludult soil. Soil Science Society of America Journal 56: 1577-1582.

Egli, T., 1991. On multiple-nutrient-limited growth of microorganisms, with special reference to dual limitation by carbon and nitrogen substrates. Antonie van Leeuwenhoek 60: 225-234.

Ellert, B.H., and Bettany, J.R., 1995. Calculation of organic matter and nutrients stored in soil under contrasting management regimes. Canadian Journal of Soil Science 75: 529-538.

Environmental Protection Agency (EPA). 1998. National Air Quality and Emission Trends Report, Report EPA 454/R-00-003, 2000.

Fliessbach, A., Oberholzer, H.R., Gunst, L., and Mäder, P., 2007. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. Agriculture, Ecosystems and Environment 118(1-4): 273-284.

Follett, R.F., Porter, L.K., and Halvorson, A.D., 1995. ^{15}N-labeled fertilizer dynamics in soil in a 4-year, no-till cropping sequence. In: Nuclear Techniques in Soil-Plant Studies for Sustainable Agriculture and Environmental Preservation. Proceedings of an International Symposium sponsored by the IAEA and FAO, Vienna, Austria, October 17–21, 1994, pp. 165-174.

Forgani, A., 2003. Study of biochemical changes and humic and fulvic acids for different treated soils with organic matters. The 8th Iranian Soil Science Congress, August 31- September 3. pp. 15. (In Persian with English Summary)

Forouzeh, M.R., Heshmati, G., Ghanbarian, G., and Mesbah, S.H., 2008. Effect of floodwater irrigation on carbon sequestration potential of *Helianthemum lippii* (L.) Pers., *Dendrostell eralessertii* van Tiegh. and *Artemisia sieberi* Besser. in the Gareh Bygone plain: A Case study. Journal of Environmental Studies 46: 65-72. (In Persian with English Summary)

García, C., Hernández, M.T., and Costa, F., 1997. Potential use of dehydrogenase activity as an index of microbial activity in degraded soils. Soil Science and Plant Nutrition 28: 123–134.

Gee, G.W., and Bauder, J.W., 1986. Particle size analysis, In: Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods. 2nd Ed. Agronomy 9(1). A.S.A., Inc., S.S.S. A. Inc., Madison Publisher, Wisconsin, USA.

Gomiero, T., Pimentel, D., and Paoletti, M.G., 2011. Is there a need for a more sustainable agriculture? Critical Reviews in Plant Sciences 30(1): 6-23.

Graham, M.H., Haynes, R.J., and Meyer, J.H., 2002. Soil organic matter content and quality: Effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. Soil Biology and Biochemistry 34: 93-102.

Gu, Y., Zhang, X., Tu, S., and Lindström, K., 2009. Soil microbial biomass, crop yields, and bacterial community structure as affected by long-term fertilizer treatments underwheat-rice cropping. European Journal of Soil Biology 45: 239–246.

Guillou, C.L., Angers, D.A., Leterme, P., and Menasseri-Aubry, S., 2011. Differential and successive effects of residue quality and soil mineral N on water-stable aggregation during crop residue decomposition. Soil Biology and Biochemistry 43: 1955-1960.

Hajjar, R., Jarvis, D.I., and Gemmill-Herren, B., 2008. The utility of crop genetic diversity in maintaining ecosystem services. Agriculture Ecosystems and Environment 123(4): 261-270.

Halvorson, A.D., Reule, C.A., and Follett, R.F., 1999. Nitrogen fertilization effects on soil carbon and nitrogen in a dryland cropping system. Soil Science Society of America Journal 63: 912–917.

Hao, X.H., Liu, S.L., Wu, J.S., Hu, R.G., Tong, C.L., and Su, Y.Y., 2008. Effect of long-term application of inorganic fertilizer and organic amendments on soil organic matter and microbial biomass in three subtropical paddy soils. Nutrient Cycling in Agroecosystems 81: 17–24.

Harrison, A.F., 1987. Soil Organic Phosphorus. C.A.B. International United Kingdom. 257 pp.

Hayes, T.B., Khoury, V., Narayan, A., Nazir, M., Park, A., Brown, T., Adame, L., Chan, E., Buchholz, D., and Stueve, T., 2010. Atrazine induces complete feminization and chemical castration in male African clawed frogs (*Xenopus laevis*). Proceedings of the National Academy of Sciences 107(10): 4612.

He, Z.L., Wu, J., ODonnell, A.G., and Syers, J.K., 1997. Seasonal responses in microbial biomass carbon, phosphorus and sulphur in soil sunder pasture. Biology and Fertility of Soils 24: 421-428.

Hojati, S., Nour Bakhsh, F., and Khavazi, K., 2006. Microbial biomass index, enzyme activities and corn yield in a soil

amended with sewage sludge. Iranian Journals of Soil and Waters Sciences 20(1): 84-93. (In Persian with English Summary)

Hooper, D.U., Chapin, F.S., Ewel, J.J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J.H., Lodge, D.M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A.J., Vandermeer, J., and Wardle, D.A. 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. Ecological Monographs 75(1): 3-35.

Hutchins, S.R., Sewell , G.W., Kovacs, D.A., and Smith, G.A., 1991. Biodegradation of aromatic hydrocarbons by aquifer micro-organisms under denitrifying conditions. Environmental Science and Technology 25: 68–76.

Imeson, A., 2011. Desertification, Land Degradation and Sustainability. Wiley-Blackwell, Oxford. 326 pages.

IPCC., 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental panel on climate change. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual, vol. 4.

IPCC., 2007. Summary for Policy Makers. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge.

Jackson, L., Rosenstock, T., Thomas, M., Wright, J.W., and Symstad, A., 2009. Managed ecosystems: biodiversity and ecosystem functions in landscapes modified by human use. pp. 178-194. In: Naeem, S., Bunker, D.E., Hector, A., Loreau, M., Perrings, C., (Eds.). Biodiversity, Ecosystem Functioning and Human Wellbeing. Oxford University Press Inc., New York, New York, USA. 384 pages.

Jenkinson, D.S., and Powlson, D.S., 1976. The effects of biocide treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. Soil Biology and Soil Biochemistry 8: 209-213.

Jihad Keshavarzi Khorasan Razavi. 2013. Statistical Yearbookof agriculture. Jihad Keshavarzi Khorasan Razavi. Mashhad, Iran. 219 pp. (In Persian)

Jin, H., Hongwen, L., Xiaoyan, W., Hugh, A., Wenying, L., Huanwen, G., and Kuhn, N., 2007. The adoption of annual subsoiling as conservation tillage in dryland maize and wheat cultivation in northern China. Soil and Tillage Research 94: 493-502.

Kahlon, M.S., Lal, R., and Ann-Varughese, M., 2013. Twenty-two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. Soil and Tillage Research 126: 151-158.

Kahrl, F., Li, Y., Su, Y., Tennigkeit, T., and Wilkes, A., 2010. Greenhouse gas emissions from nitrogen fertilizer use in China. Environmental Science and Policy 13: 688–694.

Khajeh Pour, M.R., 2004. Principles and Basics of Agronomy. Publication of Isfahan Jihad Daneshgahi of Isfahan University, Isfahan, Iran. (In Persian)

Khan, F.U.H., Tahir, A.R., and Yule, I.J., 2001. Intrinsic implication of different tillage practices on soil penetration resistance and crop growth. International Journal of Agriculture and Biology 3: 23-26.

Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Khorasani, R., and Ghorbani, R., 2013. Evaluation of carbon sequestration potential in corn fields with different management systems. Soil and Tillage Research 133: 25-31.

Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Yousefi, M., and Movahedi, M., 2013. Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. Energy 52: 333-338.

Khurshid, K., Iqbal, M., Arif, M.S., and Nawaz, A., 2006. Effect of tillage and mulch on soil physical properties and growth of maize. International Journal of Agriculture and Biology 8: 593-596.

Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M., 2015. Life cycle assessment (LCA) for wheat production systems of Iran: Comparison of inputs level. Journal of Agroecology in Press. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Khorramdel, S., and Jafari, L., 2014. Evaluation of environmental consequences for agroecosystems under conventional management in Khorasan province. Journal of Agroecology in Press (In Persian with English Summary)

Kremen, C., and Miles, A., 2012. Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: Benefits, externalities, and trade-offs. Ecology and Society 17(4): 40-64.

Kreuter, U.P., Harris, H.G., Matlock, M.D., and Lacey, R.E., 2001. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas. Ecological Economics 39: 333–346.

Kundu, S., Bhattacharyya, R., Prakash, V., Ghosh, B.N., and Gupta, H.S., 2007. Carbon sequestration and relationship between carbon addition and storage under rainfed soybean–wheat rotation in a sandy loam soil of the Indian Himalayas. Soil and Tillage Research 92: 87–95.

Lal, L., 2002. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. Environmental Pollution 116: 353–362.

Lal, R., 1976. No tillage effects on soil properties under different crops in Western Nigeria. Proceedings of Soil Science Society of America 40: 762–768.

Lal, R., 1993. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality and sustainability. Soil and Tillage Research 51: 61-70.

Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science 304: 1623–1627.

Lal, R., 2007. Anthropogenic influences on world soils and implications to global food security. In: Sparks, D.L. (Ed.), Advances in Agronomy 93: 69–93.

Lal, R., 2010. Enhancing eco-efficiency in agro-ecosystems through soil carbon sequestration. Crop Science 50: S120–S131.

Lal, R., Kimble, J.M., Follett, R.F., and Stewart, B.A., 1997. Soil Processes and Carbon Cycles. CRC Press, Boca Raton, F.L., Campbell, C.A., Mc Conkey, B.G., Zentner, R.P., Selles, F., and Curtin, D., 1996. Tillage and crop rotation effects on soil organic C and N in a coarse-textured Typic Haploboroll in Southwestern Saskatchewan. Soil and Tillage Research 37: 3–14.

Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P., and Rossi, J.P., 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. European Journal of Soil Biology 42: S3–S15.

Liang, Y., Yang, Y., Yang, C., Shen, Q., Zhou, J., and Yang, L., 2003. Soil enzymatic activity and growth rice and barley as influenced by organic manure in an anthropogenic soil. Geoderma 115: 149-160.

Lin, B.B., 2011. Resilience in agriculture through crop diversification: Adaptive management for environmental change. Bioscience 61(3): 183-193.

Liu, E., Yan, C., Mei, X., He, W., Bing, S.H., Ding, L., Liu, Q., Liu, S., and Fan, T., 2010. Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on soil chemical and biological properties in northwest China. Geoderma 158: 173-180.

Mäder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., and Niggli, U., 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. Science 296(5573): 1694.

Mahmood, T., Azam, F., Hussain, F., and Malik, K.A., 1997. Carbon availability and microbial biomass in soil under an irrigated wheat maize cropping systems receiving different fertilizer treatments. Biology and Fertility of Soils 25: 63-68.

MAJ (Ministry of Agriculture of the IR of Iran). 2012. Planning and Economics Department, Statistics Bank of Iranian Agriculture; http://www.maj.ir; 2012 (Accessed August 2014). (In Persian)

Maraseni, T.N., and Cockfield, G., 2011. Does the adoption of zero tillage reduce greenhouse gas emissions? An assessment for the grains industry in Australia. Agricultural Systems 104: 451–458.

Marschner, P., Kandeler, E., Marschner, B., and Patra, A.K., 2003. Structure and function of the soil microbial community in a long-term fertilizer experiment. Soil Biology and Biochemistry 35: 453–461.

Mc Lean, E.D., 1982. Soil pH and lime requirement, In: Methods of Soil Analysis, Part II: Chemical and Microbiological Properties. 2nd Ed. Agronomy 9(1). A. S. A. Inc., S. S. S. A. Inc., Madison Publisher, Wisconsin, USA. P.199-209.

Miransari, M., and Smith, D., 2009. Alleviating salt stress on soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) *Bradyrhizobium*japonicum symbiosis, using signal molecule genistein. European Journal of Soil Biology 45: 146–152.

Mohammadi, A., Rafiee, S., Jafari, A., Keyhani, A., Mousavi-Avval, S.H., and Nonhebel, S., 2014. Energy use efficiency and greenhouse gas emissions of farming systems in north Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews 30: 724–733.

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

Moscatelli, M.C., Di Tizio, A., Marinari, S., and Grego, S., 2007. Microbial indicators related to soil carbon in mediterranean land use systems. Soil and Tillage Research 97(1): 51–59.

Mrabet, R., 2001. Le Système de semis direct: Pour une agriculture Marocaine durable et respectueuse de l'environnement. In: Séminaire sur les aléas climatiques et politiques agricoles. Association Marocaine de l'Agro-Economie, Rabat, Maroc, 24–25 Mai 2001, p. 337–348.

Namazi, S., Raiesi, F., and Ghorbani, S., 2012. The interactive effects of crude oil and N forms on C mineralization and

microbial biomass of a clay soil. Journal of Environmental Studies 38(3): 1-16. (In Persian with English Summary)

Noorbakhsh, F., Hajrasuliha, S., and Emtiazy, G., 2001. Factors affecting, urease enzyme activity in some soils in Isfahan province. JWSS- Isfahan University of Technology 5(3): 95-106. (In Persian with English Summary)

Ozpinar, S., and Baytekin, H., 2006. Effects of tillage on biomass, roots, N accumulation of vetch (*Vicia sativa* L.) on a clay loam soil in semi-arid conditions. Field Crops Research 96: 235–242.

Pimentel, D., Hepperly, P., Hanson, J., Douds, D., and Seidel, R., 2005. Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. Bioscience 55(7): 573-582.

Post, W.M., and Kwon, K.C., 2000. Soil carbon sequestration and land-use change, processes and potential. Global Change Biology 6(3): 317-327.

Raiesi, F., and Ghollarata, M., 2006. Interactions between phosphorous availability and an AM fungus (*Glomus intraradices*) and their effects on soil microbial respiration, biomass and enzyme activities in a calcareous soil. Pedobiologia 50: 413-425.

Rajabi, M.H., Soltani, A., Zeinali, E., and Soltani, E., 2012. Evaluation of greenhouse gas emission and global warming potential in wheat production in Gorgan, Iran. Electronic Journal of Crop Production 5(3): 23-44.

Rashidi, M., and Keshavarzpour, F., 2007. Effect of different tillage methods on grain yield and yield components of maize (*Zea mays* L.). International Journal of Agriculture and Biology 9: 274-277.

Rashidi, M., and Keshavarzpour, F., 2008. Effect of different tillage methods on soil physical properties and crop yield of melon (*Cucumis melo*). American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 3: 31-36.

Rashidi, M., Keshavarzpour, F., and Gholami, M., 2008. Effect of different tillage methods on yield and yield components of forage corn. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 3: 347–351.

Rashidi, Z., Zare, M.J., Rejali, F., and Ashraf Mehrabi, A., 2011. Effect of soil tillage and integrated chemical fertilizer and biofertilizer on quantity and quality yield of bread wheat and soil biological activity under dry land farming. Iranian Journal of Crop Production 4(2): 189-206. (In Persian with English Summary)

Reganold, J.P., Andrews, P.K., Reeve, J.R., Carpenter-Boggs, L., Schadt, C.W., Alldredge, J.R., Ross, C.F., Davies, N.M., Zhou, J., and El-Shemy, A.H., 2010. Fruit and soil quality of organic and conventional strawberry agroecosystems. PLOS|ONE 5(9): e12346.

Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., and Mollafilabi, A., 2015. Evaluation of soil physical and chemical characteristics impacts on morphological criteria and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Saffron Research in Press. (In Persian with English Summary)

Rodhe, H., 1990. A comparison of the contribution of various gases to the greenhouse. Science 248: 1217–1219.

Ros, M., Hernandez, M.T., and Garcia, C., 2003. Soil microbial activity after restoration of a semiarid soil by organic amendments. Soil Biology and Biochemistry Journal 35: 463-469.

Saha, S., Mina, B.L., Gopinath, K.A., Kundu, S., and Gupta, H.S., 2008. Relative changes in phosphatase activities as influenced by source and application rate of organic composts in field crops. Bioresource Technology Journal 99: 1750-1757.

Schahczenski, J., and Hill, H., 2009. Agriculture, Climate Change and Carbon Sequestration. ATTRA Publications. pp. 16.

Scialabba, N., and Müller-Lindenlauf, M., 2010. Organic agriculture and climate change. Renewable Agriculture and Food Systems 25: 158–169.

Shaver, T.M., Peterson, G.A., Ahuja, L.R., Westfall, D.G., Sherrod, L.A., and Dunn, G., 2002. Surface soil physical properties after twelve years of dry land no-till management. Soil Science Society of America Journal 66: 1296–1303.

Shirani, H., Hajabbasi, M.A., Afyuni, M., and Hemmat, A., 2002. Effects of farmyard manure and tillage systems on soil physical properties and corn yield in central Iran. Soil and Tillage Research 68: 101–108.

Six, J., Elliott, E.T., and Paustian, K., 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: A mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. Soil Biology and Biochemistry 32: 2099-2103.

Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L., and Fixen, P.E., 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. Agriculture, Ecosystems and Environment 133: 247-266.

Souvannavong, V., Lemaire, C., De Nay, D., Brown, S., and Adam, A., 1995. Expression of alkaline phosphatase by a B-cell hybridoma and its modulation during cell growth and apoptosis. Immunology Letters 47: 163-170.

Su, Y.Z., 2007. Soil carbon and nitrogen sequestration following the conversion of cropland to alfalfa forage land in

northwest China. Soil and Tillage Research 92(1-2): 181-189.

Tabatabai, M.A., 2003. Enzymes: Past, present and future. Second international conference on enzyme in the environment: Activity, Ecology and Application. Prague, Czech Republic p. 14-17.

Tengo, M., and Belfrage, K., 2004. Local management practices for dealing with change and uncertainty: A cross-scale comparison of cases in Sweden and Tanzania. Ecology and Society 9(3): 4.

Thelen, K.D., Fronning, B.E., Kravchenko, A., Min, D.H., and Robertson, G.P., 2010. Integrating livestock manure with a corn–soybean bioenergy cropping system improves short-term carbon sequestration rates and net global warming potential. Biomass and Bioenergy 34: 960–966.

Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., and Polasky, S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. Nature 418(6898): 671-677.

Tisdale, S.L., and Nelson, W.L., 1993. Soil Fertility and Fertilizers. Technology and Engineering 634 pp.

Tzilivakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A., and Jaggard, K., 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. Agriculture systems 85: 101-119.

Van Wie, J.B., Adama, J.C., and Ullman, J.L., 2013. Conservation tillage in dryland agriculture impacts watershed hydrology. Journal of Hydrology 483: 26-38.

Verbruggen, E., Roling, W.F.M., Gamper, H., Kowalchuk, G.A., Verhoef, H.A., and Van Der Heijden, M.G.A., 2010. Positive effects of organic farming on below-ground mutualists: Large-scale comparison of mycorrhizal fungal communities in agricultural soils. New Phytologist 186(4): 968-979.

Verge, X.P.C., Kimpe, C.D., and Desjardins, R.L., 2007. Agricultural production, greenhouse gas emissions and mitigation potential. Agricultural and Forest Meteorology 142: 255–269.

Walkley, A., and Black, I., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science Society of American Journal 37: 29-38.

Weil, R.R., and Magdoff, F., 2004. Significance of soil organic matter to soil quality and health. pp. 1-42. In: F. Magdoff and R.R. Weil, editors. Soil organic matter in sustainable agriculture. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

Witter, E., and Kanal, A., 1998. Characteristics of the soil microbial biomass in soils from a long-term field experiment with different levels of C input. Applied Soil Ecology 10: 37-49.

Yao, Z., Zheng, X., Xie, B., Mei, B., Wang, R., Butterbach-Bahl, K., Zhu, J., and Yin, R., 2009. Tillage and crop residue management significantly affects N-trace gas emissions during the non-rice season of a subtropical rice-wheat rotation. Soil Biology and Biochemistry 41: 2131–2140.

Yousefi, M., Khoramivafa, M., and Mondani, F., 2014 a. Integrated evaluation of energy use, greenhouse gas emissions and global warming potential for sugar beet (*Beta vulgaris*) agroecosystems in Iran. Atmospheric Environment 92: 501-505.

Yousefi, M., Mahdavi Damghani, A.M., and Khoramivafa, M., 2014 b. Energy consumption, greenhouse gas emissions and assessment of sustainability index in corn agroecosystems of Iran. Science of the Total Environment 493: 330–335.

Zan, C.S., Fyles, J.W., Girouard, P., and Samson, R.A., 2001. Carbon sequestration in perennial bioenergy, annual corn and uncultivated systems in southern Quebec. Agriculture, Ecosystems, and Environment 89(2): 135-144.

Zarea, M.J., Ghalavand, A., Mohammadi Goltapeh, E., and Rejali, F., 2008. Influence of forage legumes mixed cropping on biomass yield, soil microbial biomass and nitrogenase activity. Green Farm Journal 1(6): 12–15

Zhang, M.Y., Wang, F.J., Chen, F., Malemela, M.P., Zhang, H.L., 2013. Comparison of three tillage systems in the wheat-maize system on carbon sequestration in the North China Plain. Journal of Cleaner Production 54: 101-107.

Zhang, Y., Li, Z., Feng, J., Zhang, X., Jiang, Y., Mingqian, J.C., Deng, A., and Zhang, W., 2014. Differences in CH_4 and N_2O emissions between rice nurseries in Chinese major rice cropping areas. Atmospheric Environment 96: 220-228.

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 593-617

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۶۱۷-۵۹۳

Evaluation of Soil Ecosystem Services and Carbon Balance for Different Agroecosystems in Khorasan

A. Koocheki[1*] and S. Khorramdel[2]
Submitted: 01-05-2015
Accepted: 13-01-2016

Koocheki, A., and Khorramdel, S., 2022. Evaluation of soil ecosystem services and carbon balance for different agroecosystems in Khorasan. Journal of Agroecology 13(4):593-617.

Introduction

Soil is the basic element for all ecosystem services which enhances different functions of ecosystems. It provides and regulates a large number of ecosystem services and functions, and plays an important role in human health. Results of some experiments indicate a positive correlation between ecologically-based soil management with qualitative soil indices. Increase in soil organic matter enhances 10 different functions in agricultural ecosystems including biogeochemical cycle, nutrient returns, formation, and stability of soil aggregate, water purification and holding capacity, pH regulation, decreasing of erosion and finally crop growth improvement. In agricultural ecosystems, crop yield is notably dependent on soil properties. It has been stated that maintaining function and services of ecosystems could only be achieved by proper soil management. As a consequence of land use, global warming, climate change and conventional management, soil ecosystem services are being drastically degraded, endangering food safety for coming generations. This decreases soil ecosystem services and functions regulation capacity and affects the sustainability of the communities. It has been observed that no-tillage system which results in less soil disturbance and more accumulated crop residue has physical, chemical, and biological properties.

Materials and Methods

In order to evaluate soil ecosystem services based on different low and high input management in Khorasan province, the samples were taken from 10 sites by completely randomized design with four replications in 2014. The soil samples were collected from the depth of 0-30 cm in low input fields of saffron and orchards, high input wheat and corn fields, and annual research field (Agricultural Research Station, Ferdowsi University of Mashhad). Physical and chemical soil properties such as bulk density, organic carbon, total nitrogen, available P and K, pH, electrical conductivity (EC), and also biological criteria including microbial biomass carbon, dehydrogenase, and phosphatase enzyme activity were measured. Inputs used including chemical fertilizer, herbicide, insecticide, fungicide and also the acreage for wheat, tomato, alfalfa, corn, potato, sugar beet and canola were determined during the growing season of 2013-2014. After calculating greenhouse gases emission including CO_2, N_2O and CH_4 based on emission indices, global warming potential was computed.

Results and Discussion

Results showed that type of ecosystem management affected all soil properties except the acidity ($p \leq 0.01$). Management of high input and annual field crops (experimental) and also farmers' fields caused reduction of organic carbon content, total nitrogen, available P, available K, EC, microbial biomass carbon, dehydrogenase and phosphatase enzyme activity and carbon sequestration in comparison with perennial field of saffron. However, bulk density was reduced. The highest and the lowest carbon contents were observed for orchard and annual experimental fields with 0.104 and 0.036 percent, respectively. The highest and the lowest sequestered carbon were observed for orchard and annual field crops (experimental) with 335.31 and 182.48 kg carbon per

1- Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
2- Associate Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
(* Corresponding author: akooch@um.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v1i1.46433

ha, respectively. Management of perennial fields (saffron), annual corn field and annual wheat field caused reduction of 12, 35 and 41 percent, respectively, in sequestered carbon compared with that for orchard fields. The highest global warming potential (GWP) was recorded for corn and potato with 3.69 ton CO_2 equivalent per ha which was 53, 37, 16 and 12 percent higher than those for wheat, sugar beet, tomato and corn, respectively. The lowest GWP was recorded for canola with 1.35 ton CO_2 equivalent per ha.

Conclusion

It can be concluded that reduction of chemical fertilizer and applying more organic inputs seem to be rational ecological approaches for sustainable management of the cropping ecosystem with a consequence of reduction in greenhouse gases and climate change mitigation. These sustainable practices are crucial to improve soil biodiversity. Using pesticides and herbicides has, however, a negative impact on biodiversity.

Acknowledgement

This research (29347.2) was funded by the vice chancellor for research of Ferdowsi University of Mashhad, which is hereby acknowledged.

Keywords: Emission of greenhouse gases, Chemical fertilizer, Intensive management, Perennial field, Organic input

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 619-630

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۶۳۰-۶۱۹

مقاله پژوهشی

اثر شدت عملیات خاک‌ورزی و سطوح نیتروژن بر روی برخی از ویژگی‌های خاک در تناوب زراعی ذرت-کلزا-ذرت

سید شهاب‌الدین معین‌الدینی[۱]، علیرضا کوچکی[۲*]، مهدی نصیری محلاتی[۲] و اعظم برزوئی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۱۶

معین‌الدینی، س ش.، کوچکی، ع.، و نصیری محلاتی، م.، ۱۴۰۰. اثر شدت عملیات خاک‌ورزی و سطوح نیتروژن بر روی برخی از ویژگی‌های خاک در تناوب زراعی ذرت-کلزا-ذرت. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۴): ۶۳۰-۶۱۹.

چکیده

این پژوهش به‌منظور ارزیابی تأثیر عملیات خاک‌ورزی و سطوح نیتروژن بر روی اسیدیته خاک، وزن مخصوص ظاهری، کربن‌آلی خاک، نیتروژن کل، پتاسیم قابل تبادل و فسفر قابل جذب در تناوب زراعی ذرت- کلزا-ذرت به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی بخش تحقیقات کشاورزی هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران در دو سال زراعی (۹۲-۱۳۹۱و ۹۳-۱۳۹۲) انجام پذیرفت. کرت‌های اصلی شامل شخم رایج (گاوآهن برگردان‌دار، گاوآهن روتاری و ماله) و شخم حداقل (دیسک) و کرت‌های فرعی شامل چهار سطح کود نیتروژن (صفر، ۵۰،۱۵۰ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) بود. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که عملیات خاک‌ورزی در کوتاه مدت (دو سال) تأثیر معنی‌داری بر روی افزایش و یا کاهش میزان کربن آلی خاک نداشت و همچنین اسیدیته خاک، وزن مخصوص ظاهری و میزان نیتروژن کل، پتاسیم قابل تبادل و فسفر قابل جذب در خاک نیز در این آزمایش تحت تأثیر عملیات خاک‌ورزی قرار نگرفتند. سطوح نیتروژن تأثیر معنی‌داری ($P\leq ۰/۰۵$) بر روی وزن مخصوص ظاهری، میزان نیتروژن کل، پتاسیم قابل تبادل و فسفر قابل جذب در خاک داشت. کمترین وزن مخصوص ظاهری برای تیمار ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌دست آمد. بیشترین میزان نیتروژن کل مربوط به سطوح نیتروژن ۲۵۰ و ۱۵۰کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب ۱۰۳۶ و ۹۶۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. افزایش سطوح نیتروژن باعث کاهش پتاسیم قابل تبادل و همچنین کاهش فسفر قابل جذب در خاک شد به‌طوری‌که کمترین میزان پتاسیم قابل تبادل برای سطوح نیتروژن ۲۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب ۱۲۷ و ۱۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و میزان فسفر قابل جذب برای این دو تیمار به‌ترتیب ۱۳/۴۳ و ۱۴/۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. افزایش سطوح نیتروژن به‌واسطه بهبود و افزایش رشد و نمو گیاهان زراعی، افزایش میزان جذب دو عنصر پتاسیم و فسفر به‌وسیله گیاه را به همراه دارد و متعاقباً میزان پتاسیم‌قابل تبادل و فسفر قابل جذب در خاک کاهش می‌یابد. افزایش رشد ریشه گیاهان زراعی نیز در نتیجه افزایش سطوح نیتروژن باعث کاهش وزن مخصوص ظاهری می‌شود. بر اساس نتایج به‌دست آمده به نظر می‌رسد برای مطالعه اثر عملیات خاک‌ورزی بر روی کربن‌آلی و وزن مخصوص ظاهری خاک به بازه زمانی بلندتری نیاز باشد.

واژه‌های کلیدی: خاک‌ورزی حداقل، کربن آلی خاک، نیتروژن خاک، وزن مخصوص ظاهری

مقدمه

تولید بهینه و پایدار محصولات زراعی نیازمند شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بهینه خاک است که تمامی این عوامل به نوعی از کارکردهای مواد آلی خاک به شمار می‌روند. میزان مواد آلی خاک،

۱- دانش آموخته دکتری بوم‌شناسی زراعی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۲- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۳- دانشیار، پژوهشکده کشاورزی هسته ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای.

(*- نویسنده مسئول: (Email: akooch@um.ac.ir
Doi:10.22067/jag.v1i1.45219

به‌ویژه کربن آلی خاک در سامانه‌های کشاورزی تحت تـأثیر عوامـل مختلفی از قبیل شدت خاک‌ورزی و میزان نیتروژن خاک تغییر می‌کند (Malhi et al., 2006).

عملیـات خـاک‌ورزی در کشـاورزی رایـج، از جملـه اسـتفاده از گاوآهن‌های برگردان‌دار و ادواتی از قبیل گاوآهن روتاری که هرساله توسط کشاورزان مورد استفاده قرار می‌گیـرد، اگرچـه در کوتـاه‌مـدت شرایط مناسبی را برای جذب عناصر غـذایی، رشـد سـریع و افـزایش عملکرد گیاهان زراعی فـراهم مـی‌سـازد، امّـا در بلندمـدت تخریـب لایه‌های سـطحی خـاک را بـه همـراه خواهـد داشـت (Six et al., 1999). به‌واسطه اجرای مداوم عملیات خاک‌ورزی رایج، در بلندمـدت ساختمان خاک‌های زراعی دچار از هم گسیختگی شـده، فشـردگی و تراکم آن‌ها بالا رفته و فرسایش خاک شدت پیدا می‌کنـد و در عـین حال، سرعت تجزیه و معدنی شدن مواد آلی خاک افزایش (Triplett & Dick, 2008) و متعاقباً میزان کربن آلی خاک تحـت تـأثیر قـرار می‌گیرد (Allmaras et al., 2004). نابودی ساختمان خاک و تجزیه مواد آلی و کربن آلی، در نهایت، خاک‌های زراعی را رو به اضمحلال برده و موجبات عـدم پایـداری را در سـامانه‌هـای کشـاورزی فـراهم می‌سازد (Frenandes et al., 2009). این در حالی است که کـاهش شدت عملیـات خـاک‌ورزی و جـایگزینی عملیـات خـاک‌ورزی رایـج به‌واسطه شخم حداقل و عملیات خاک‌ورزی بدون شخم، افزایش مواد آلی و کربن آلی خاک را به همراه خواهد داشت و بدین واسطه شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک در حـد بهینـه حفـظ مـی‌شـود (Clapp et al., 2000; Dick et al; 1998; West & Post, 2002).

افزایش میزان نیتروژن خاک به‌واسطه کودهـای شـیمیایی و یـا سایر منابع از دیگر عواملی است که از طریق تغییر در سرعت تجزیـه میکروبی، میزان مواد آلی خاک و به‌ویژه میزان کـربن آلـی خـاک را تحت تأثیر قرار مـی‌دهـد (Fang et al., 2014). نیتـروژن از جملـه مهم‌ترین عناصری است که فعالیت‌های میکروبی خاک را محـدود و متعاقباً حجم زیست‌توده میکروبی خاک را تغییر می‌دهد (Qualls & Haines, 1992). شواهد حاکی از آن است که افزایش تدریجی میزان نیتروژن خاک، سرعت واکنش‌هـای تجزیـه میکروبـی، جـذب سـایر عناصر غذایی، رشد گیاه و میـزان انتشـار CO_2 را افـزایش مـی‌دهـد (Knorr et al., 2005; Schlesinger, 2009; Fang et al., 2012). استفاده از کودهای نیتروژنه می‌تواند از طریق افـزایش رشـد گیاه و متعاقباً افزایش زیست‌تـوده گیـاهی کـه بـه خـاک برگردانـده می‌شود، باعث افزایش کربن آلـی خـاک شـود (Gregorich et al., 1996). مطالعات گسترده‌ای افزایش کربن‌آلی خاک را در کشت ذرت به‌واسطه افزایش سطوح کودهای نیتروژنه از ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تا ۲۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار گـزارش کردنـد (Varvel, 1994; Studdert & Echeverria, 2000; liebig et al., 2002; Jagadamma et al., 2008). با این وجـود، نتـایج متفـاوتی نیـز در ارتباط با تأثیر کودهای نیتروژنه بر کربن‌آلی خاک گزارش شده است. مولوانی و همکاران (Mulvaney et al., 2009) گزارش کردنـد کـه بالا بودن سطح نیتروژن خاک باعث افزایش فعالیت ریزجانداران خاک می‌شود که در نتیجه این امر، سرعت تجزیـه کـربن آلـی خـاک نیـز افزایش می‌یابد.

بلوین و همکاران (Blevins et al., 1977) خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک را در آزمایشی پنج ساله در تک‌کشتی ذرت در شرایط خاک‌ورزی رایج و بدون خاک‌ورزی و سطوح مختلـف نیتـرژن مـورد بررسی قرار دادند. این محققین گزارش کردند که کربن‌آلی خـاک در شـرایط بـدون خـاک‌ورزی افـزایش معنـی‌داری نسـبت بـه شـرایط خاک‌ورزی رایج داشت و با افزایش سطوح نیتروژن میزان کربن آلـی خاک نیز افزایش پیدا کرد. در عین حال، pH خاک در شـرایط بـدون خاک‌ورزی و همچنین با افزایش سطوح نیتروژن کـاهش معنـی‌داری داشت.

دیک (Dick, 1983) اثر سه تیمار بدون خاک‌ورزی، خـاک‌ورزی حداقل و خاک‌ورزی رایج را در کشت ذرت بر روی کربن‌آلـی خـاک، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد ارزیابی قـرار داد. در ایـن آزمایش عملیات آماده‌سازی زمین با استفاده از گاوآهـن برگـردان‌دار (عمق نفوذ ۲۰-۳۰ سانتی‌متر)، رتیواتـور، دیسـک و مالـه بـه‌عنـوان خاک‌ورزی رایج در نظر گرفته شد و برای خاک‌ورزی حداقل، گاوآهن برگردان‌دار (عمق نفوذ ۲۰-۳۰ سانتی‌متر) به‌تنهایی مورد استفاده قرار گرفت. این محقق گزارش کرد که در شرایط بدون خاک‌ورزی میزان کربن‌آلی خاک و همچنین نیتروژن کـل خـاک در عمـق ۱۵ تـا ۳۰ سانتی‌متری خاک، نسبت به دو خاک‌ورزی رایـج و حـداقل افـزایش معنی‌دار داشت. همچنین میزان فسفر قابل جذب در خاک در شـرایط بدون خاک‌ورزی بیشتر از خاک‌ورزی رایج و خاک‌ورزی حداقل بود.

مـالهی و همکـاران (Malhi et al., 2006) اثـر شـخم، بقایـا و سطوح مختلف نیتروژن را در تناوب جو، نخود، کلزا و گندم بـر روی

عملکرد گیاهان، میزان جذب عناصر غذایی و همچنین برخی از خصوصیات خاک مورد بررسی قرار دادند. این محققین گزارش کردند که کربن آلی خاک و نیتروژن کل خاک تحت تأثیر تیمار عملیات خاک‌ورزی و همچنین سطوح مختلف نیتروژن قرار نگرفت.

ویلامیل و همکاران (Villamil et al., 2015) تأثیر بقایا، عملیات خاک‌ورزی و سطوح مختلف نیترژون بر روی خصوصیات خاک در تک‌کشتی ذرت را مورد بررسی قرار دادند. این محققین گزارش کردند که در صورت برگرداندن بقایا به خاک، میزان کربن آلی خاک در شرایط بدون خاک‌ورزی ۱۳ درصد بیشتر از شرایط خاک‌ورزی است. امّا در صورت حذف بقایا از مزرعه، میزان کربن آلی خاک در شرایط بدون خاک‌ورزی نسبت به شرایط خاک‌ورزی کاهش معنی‌دار نشان داد. با این وجود، در مطالعه این محققین تغییرات معنی‌داری در کربن آلی خاک به‌واسطه سطوح مختلف نیتروژن مشاهده نشد. همین محققین افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک را در شرایط بدون خاک‌ورزی گزارش کردند.

به‌طور کلی، افزایش هوادهی خاک به‌واسطه عملیات خاک‌ورزی و افزایش میزان نیتروژن خاک به‌واسطه استفاده از کودهای شیمیایی و یا سایر منابع می‌تواند تأثیر به‌سزایی بر میزان اکسیداسیون میکروبی کربن آلی خاک داشته باشد (Baker et al., 2007).

هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر عملیات خاک‌ورزی رایج و شخم حداقل و همچنین سطوح نیتروژن بر روی میزان کربن آلی، نیتروژن، پتاسیم قابل تبادل و فسفر قابل جذب خاک و همچنین pH و وزن مخصوص ظاهری خاک در تناوب زراعی ذرت-کلزا-ذرت طی سه نیم‌فصل زراعی در منطقه هشتگرد از توابع استان البرز بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی بخش تحقیقات کشاورزی هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران واقع در استان البرز با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۸۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۷۳ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۱۹۵ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی ۳۷۳ میلی‌متر در دو سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ انجام پذیرفت. این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی شامل شخم رایج (گاوآهن برگردان‌دار با عمق نفوذ ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر، گاوآهن روتاری و ماله) و شخم حداقل (دیسک با عمق نفوذ ۵ تا ۷/۵ سانتی‌متر) و کرت‌های فرعی شامل چهار سطح نیتروژن خالص (صفر، ۵۰،۱۵۰ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) بود. حداکثر میزان کود مصرفی بر اساس مطالعات گذشته در این رابطه صورت پذیرفت (Varvel, 1994; Studdert & Echeverria, 2000; Liebig et al., 2002; Jagadamma et al., 2008) و به‌دلیل پائین بودن درصد نیتروژن خاک مزرعه آزمایشی، سطوح تعیین شده به‌طور کامل اعمال شدند. در کاشت کلزا تیمار کود نیتروژن استفاده نشد و تنها در دو کشت ذرت، نیتروژن به خاک اضافه شد. نیتروژن به‌واسطه کود اوره (حاوی ۴۶ درصد نیتروژن) به‌صورت سرک در سه زمان (هنگام کاشت، هشت برگی و تاسل‌دهی) ذرت به خاک اضافه شد. پیش از انجام آزمایش، از خاک مزرعه به‌طور مرکب از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک به‌وسیله اُگر با قطر سیلندر ۲/۴ سانتی‌متر نمونه‌برداری و پس از ترکیب برای انجام تجزیه فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج حاصل از آزمایش اولیه خاک در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه اولیه خاک محل آزمایش
Table 1- Primary soil analysis of experimental site

بافت Texture	جرم مخصوص ظاهری BD ($g.cm^{-3}$)	اسیدیته گل اشباع pH (Unitless)	هدایت الکتریکی عصاره اشباع EC ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی OC (%)	نیتروژن کل Total N (%)	پتاسیم قابل تبادل K ($m.kg^{-1}$)	فسفر قابل جذب P ($m.kg^{-1}$)
Clay loam رسی‌لومی	1.35	8.3	0.56	0.73	0.12	238	14.2

زمین محل آزمایش پیش از انجام آزمایش به‌مدت سه سال بدون کشت (آیش) باقی‌مانده بود و قبل از آن تحت کشت گوجه‌فرنگی قرار

داشت. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه اولیه خاک، پیش از انجام آزمایش میزان ۵۱/۷۵ و ۱۵ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب فسفر و پتاسیم در تمامی کرت‌ها پراکنده شد. کرت‌های آزمایش دارای اندازه ۱۲×۶ بودند و فاصله بین کرت‌ها دو متر در نظر گرفته شد.کرت‌های مربوط به تیمار شخم رایج (CT) در پائیز با گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شد و در بهار مجدداً با گاوآهن برگردان‌دار، روتاری و ماله، شخم و سپس آماده کشت شدند. در تیمار شخم حداقل (MT) زمین زراعی پیش از کاشت تنها به‌وسیله دیسک شخم و آماده کشت شد. عملیات کاشت ذرت (*Zea mays*) رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ در خرداد ماه سال ۹۱ به‌عنوان گیاه اول در تناوب، کلزای بهاره (*Brassica napus* L.) رقم Hyola 401 در اوایل اسفند ماه سال ۹۱ به‌عنوان گیاه دوم در تناوب و ذرت (همان رقم سال اول) در تیرماه سال ۹۲ به‌عنوان گیاه سوم در تناوب، اجرا شد. فاصله بین ردیف‌های کاشت ذرت ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها بر روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر تعیین شد. تراکم نهایی کلزا نیز ۹۵ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد (Kamkar et al., 2011). کاشت بذور به‌صورت دستی انجام گرفت و پس از استقرار گیاهچه در هنگام چهار تا پنج برگی عملیات تنک کردن برای دست‌یابی به تراکم مورد نظر صورت پذیرفت. مبارزه با علف‌های هرز نیز به‌صورت دستی در دو مرحله در طول فصل زراعی هم‌زمان با تنک کردن و همچنین قبل از مرحله هشت برگی انجام گرفت. آبیاری به‌صورت جوی و پشته در دور هشت روز تا رسیدگی کامل محصولات انجام پذیرفت.

نمونه‌برداری خاک پس از برداشت ذرت (گیاه سوم در تناوب) در آذر ماه سال ۹۲ انجام گرفت. برای نمونه‌برداری خاک از هر کرت هفت نمونه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک به‌وسیله اُگر با قطر سیلندر ۲/۴ سانتی‌متر استخراج و پس از ترکیب، یک نمونه واحد به وزن ۵۰۰ گرم تهیه و به آزمایشگاه برای انجام تجزیه فیزیکی و شیمیایی منتقل شد. نمونه‌ها پس از خارج کردن بقایای گیاهی در دمای اتاق، هوا خشک و سپس از غربال دو میلی‌متری عبور داده شدند. برای تعیین وزن مخصوص ظاهری از روش کولی استفاده شد (Culley, 1993). اسیدیته خاک در گِل اشباع اندازه‌گیری (MC Lean, 1982) و میزان نیتروژن خاک به‌روش هضم با اسید سولفوریک و با استفاده از روش کجلدال تعیین شد (Bremner, 1970). پتاسیم قابل تبادل خاک با استفاده از روش مرطوب و فلیم فتومتر تعیین گردید (De Sousa, 1961) و فسفر قابل استفاده خاک، نیز به‌روش مرطوب و با استفاده از اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Olsen et al 1961). برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حاصل از تحقیق، از نرم‌افزار SAS 9.1 و رویه GLM استفاده شد (SAS Institute Inc., 1993). به‌منظور تعیین حداقل اختلاف معنی‌داری و مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۰/۵ درصد استفاده شد. نمودارها به‌وسیله نرم‌افزار SigmaPlot 10.0 رسم شدند.

نتایج و بحث

اسیدیته خاک: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که عملیات خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری ($p\leq۰/۰۵$) بر روی اسیدیته خاک (pH) نداشت. امّا اسیدته خاک به‌طور معنی‌دار ($p\leq۰/۰۵$) تحت تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن قرار گرفت. اثر متقابل خاک‌ورزی×سطوح نیتروژن نیز بر روی اسیدیته خاک معنی‌دار نبود (جدول ۲). اضافه کردن کود نیتروژن به خاک باعث کاهش اسیدیته خاک شد. اسیدیته خاک در سه سطح ۵۰، ۱۵۰ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تفاوت معنی‌داری با تیمار بدون کود نیتروژن داشتند. با این وجود تفاوت معنی‌داری ($p\leq۰/۰۵$) بین این سه سطح مشاهده نشد (جدول ۲و ۳). ویلامیل و نافزیگر (Villamil & Nafziger, 2015) در بررسی اثر عملیات خاک‌ورزی، بقایا و سطوح مختلف نیتروژن در پنج سال تک‌کشتی ذرت گزارش کردند که عملیات خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری بر روی اسیدیته خاک نداشت، امّا کاهش اسیدیته خاک با افزایش کود نیتروژن معنی‌دار بود. بلوین و همکاران (Blevin et al., 1977) در بررسی اثر عملیات خاک‌ورزی و سطوح مختلف نیتروژن در پنج سال تک‌کشتی ذرت، کاهش معنی‌دار اسیدیته خاک را در عمق ۵-۰ سانتی‌متری در شرایط بدون خاک‌ورزی و همچنین افزایش سطوح نیتروژن گزارش کردند.

وزن مخصوص ظاهری: عملیات خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری ($p\leq۰/۰۵$) بر وزن مخصوص ظاهری[1] (BD) خاک نشان نداد (جدول ۲). گزارش‌های متعددی حاکی از افزایش وزن مخصوص ظاهری در شرایط شخم حداقل و همچنین بدون شخم می‌باشد (Kladivko, 1994; Villamil & Nafziger, 2015). بالسدنت و همکاران (Balesdent et al., 2000) اذعان کردند که افزایش وزن مخصوص

1- Buld Density

ظاهری در کوتاه مدت به‌ویژه در شرایط بدون شخم به‌دلیل عدم گسیختگی مکانیکی خاک و متعاقباً انباشتگی آن در لایه‌های سطحی خاک می‌باشد. اگرچه شدت یافتن عملیات خاک‌ورزی، انباشتگی سطحی خاک را کاهش می‌دهد و حداقل در کوتاه مدت به‌واسطه افزایش خلل و فرج خاک باعث کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک می‌شود (Cassel et al., 1995; Blanco-Canqui et al., 2006)، امّا دی‌هاین و همکاران (DHaene et al., 2008) در مقایسه مناطق مختلف کشاورزی با خاک‌های یکسان سیلت لومی در شرایط شخم کاهشی و همچنین شخم رایج، کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک را در شرایط شخم کاهشی گزارش کردند و دلیل آن را گسیختگی ساختار خاک و عدم تشکیل خاک‌دانه مناسب در شرایط شخم رایج در بلندمدت گزارش نمودند. وزن مخصوص ظاهری خاک در سطح نیتروژن ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کاهش معنی‌داری ($p\leq۰/۰۵$) نسبت به دو سطح صفر و ۵۰ کیلوگرم در هکتار نشان داد، امّا تفاوت آن با سطح ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار معنی‌دار نبود (جدول ۳). افزایش سطح نیتروژن می‌تواند به‌واسطه افزایش فعالیت ریزجانداران خاک و همچنین افزایش رشد ریشه و بهبود شرایط فضای اطراف ریشه، باعث کاهش فشردگی خاک و کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک شود (Villamil & Nafziger, 2015).

کربن آلی خاک: مطالعات بسیاری حاکی از افزایش تجمع کربن آلی خاک (SOCc)[2] و ذخیره کربن آلی خاک (SOCs)[3] در تیمار بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حداقل می‌باشد (Blevins et al., 1977; Rice et al., 1986; Wood & Edwards, 1992; Alijani et al., 2012) با این وجود، در این مطالعه اگرچه در شرایط خاک‌ورزی رایج، ذخیره کربن آلی خاک نسبت به خاک‌ورزی حداقل بیشتر است، امّا تفاوت آن‌ها معنی‌دار ($p\leq۰/۰۵$) نبود. در عین حال سطوح مختلف نیتروژن نیز تأثیر معنی‌داری بر روی کربن آلی خاک نشان نداند (جدول ۲). این امر می‌تواند به‌دلیل کوتاه بودن (دو سال) بازه زمانی اجرای عملیات خاک‌ورزی رایج و حداقل در این مطالعه باشد. مالهی و همکاران (Malhi et al., 2006) نیز در بررسی اثر عملیات خاک‌ورزی و سطوح نیتروژن بر روی ذخیره کربن‌آلی خاک طی بازه زمانی چهار سال در تناوب زراعی جو، نخود گندم و کلزا، به نتایج مشابهی دست یافتند و تفاوت معنی‌داری در هیچ یک از تیمارهای آزمایشی مشاهده نکرند.

نیتروژن کل خاک: نیتروژن کل (TN)[4] تحت تأثیر عملیات خاک‌ورزی رایج و حداقل تفاوت معنی‌داری ($p\leq۰/۰۵$) نشان نداد (جدول ۲). با این وجود، با افزایش سطوح نیتروژن از صفر و ۵۰ به ۱۵۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار، میزان نیتروژن کل نیز در انتهای فصل افزایش معنی‌دار ($p\leq۰/۰۵$) داشت، به‌طوری‌که بیشترین میزان نیتروژن کل ۱۰۳۶ و ۹۶۸ (میلی‌گرم در کیلوگرم) به‌ترتیب برای سطوح ۲۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، ۹۱۴ و ۸۷۸ (میلی‌گرم در کیلوگرم) به‌ترتیب برای سطوح ۵۰ و صفر به‌دست آمد (جدول ۳). مالهی و همکاران (Malhi et al., 2006) نیز در مطالعه خود در بررسی اثر عملیات خاک‌ورزی و سطوح نیتروژن بر میزان نیترژن کل خاک، به نتایج مشابهی دست یافتند. این محققین اثر عملیات خاک‌ورزی بر میزان نیتروژن کل خاک را غیرمعنی‌دار گزارش کردند. با این وجود، بلوین و همکاران (Blevins et al., 1977) در بررسی شدت عملیات خاک‌ورزی و سطوح نیتروژن افزایش نیتروژن کل را در عمق ۵-۰ سانتی‌متری خاک در شرایط بدون خاک ورزی نسبت به خاک‌ورزی رایج گزارش کردند، در مقابل، نیتروژن کل در عمق ۱۵-۵ سانتی‌متری خاک در خاک‌ورزی رایج نسبت به شرایط بدون خاک‌ورزی افزایش معنی‌داری داشت که دلیل آن، اختلاط این عمق از خاک در خاک‌ورزی رایج با لایه سطحی خاک گزارش شد. همین محققین گزارش کردند که میزان افزایش نیتروژن کل خاک در شرایط بدون خاک‌ورزی با افزایش سطوح نیتروژن، نسبت به خاک‌ورزی رایج افزایش بیشتری دارد و بالا بودن سطح نیتروژن کل در انتهای فصل را در شرایط بدون خاک‌ورزی از مزایای آن دانستند. با این وجود، در این مطالعه اثر متقابل خاک‌ورزی×سطوح نیتروژن بر روی میزان نیتروژن کل خاک معنی‌دار نشد (جدول ۲).

پتاسیم قابل تبادل و فسفر قابل جذب: عملیات خاک‌ورزی اثر معنی‌داری ($p\leq۰/۰۵$) بر میزان فسفر قابل دسترس و همچنین پتاسیم قابل تبادل در خاک نداشت (جدول ۲). در این مطالعه اگرچه میزان پتاسیم قابل تبادل در شرایط خاک‌ورزی رایج (۱۴۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نسبت به خاک‌ورزی حداقل (۱۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیشتر است، امّا این تفاوت معنی‌دار نبود (جدول ۳).

1- Soil Organci Carbon Concentration
2- Soil Organic Carbon Storage
3- Total Nitrogen

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خصوصیات خاک تحت تأثیر شدت خاک‌ورزی و سطوح نیتروژن

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of soil properties affected by tillage intensity and N application

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	نیتروژن کل Total N	ذخیره کربن آلی خاک Soil organic carbon stock	درصدکربن آلی Organic C	وزن مخصوص ظاهری Bulk density	اسیدیته pH	فسفر قابل جذب Available P	پتاسیم قابل تبادل Exchangeable K
تکرار Replication (R)	2	24898 ns	50.84 ns	0.03 ns	0.006 ns	0.001 ns	16.61 ns	6431*
شخم Tillage (T)	1	828 ns	9.81 ns	0.0001 ns	0.11 ns	0.003 ns	0.79 ns	304 ns
خطا Error (a)	2	12310	38.87	0.009	0.002	0.005	20.89	378
کود نیتروژن N Fertilizer (N)	3	28461**	9.33 ns	0.007 ns	0.007 *	0.005 *	19.85 *	972 **
شخم × نیتروژن T×N	3	778 ns	3.9 ns	0.001 ns	0.003 ns	0.0002 ns	4.96 ns	221 ns
خطا (b) Error (B)	12	4900	20.12	0.008	0.001	0.001	5.45	155
ضریب تغیرات CV (%)	–	7.37%	10.52%	10.73%	1.85%	4.7%	15.17%	8.9%

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

ns, * and **: represent not-significant, significant at 5% level and 1% level, respectively.

ویلامیل و نافزیگر (Villamil & Nafziger, 2015) در مطالعه‌ای پنج ساله اثر عملیات خاک‌ورزی، سطوح نیتروژن و بقایا را بر روی پتاسیم قابل تبادل و فسفر قابل جذب خاک مورد مطالعه قرار دادند. این محققین گزارش کردند میزان پتاسیم قابل تبادل در شرایط بدون خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی رایج بیشتر بود، امّا فسفر قابل جذب تحت تأثیر عملیات خاک‌ورزی قرار نگرفت. اثر سطوح نیتروژن بر میزان این دو عنصر در خاک معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین میزان پتاسیم قابل تبادل در سطح نیتروژن صفر و ۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب ۱۵۴ و ۱۴۴ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌دست آمد و کمترین میزان آن برای سطوح ۲۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌ترتیب ۱۲۷ و ۱۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌دست آمد. میزان پتاسیم قابل تبادل بین دو سطح ۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سطح پنج درصد معنی‌دار نبود (جدول ۳).

جدول ۳- تأثیر عملیات خاک‌ورزی و سطوح نیتروژن بر روی اسیدیته خاک (pH)، وزن مخصوص ظاهری (BD)، تجمع کربن آلی خاک (SOCc)، ذخیره کربن آلی خاک (SOCs)، نیتروژن کل (TN)، پتاسیم قابل تبادل (K) و فسفر قابل جذب (P)

Table 3 –The effect of tillage system and N application rates on soil pH, bulk density (BD), soil organic carbon concentration (SOCc), Soil organic carbon stock (SOCs), Total nitrogen (TN), Exchangeable K and available P

	خاک‌ورزی Tillage system [a]		سطوح مختلف نیتروژن N rate of application (kg N.ha^{-1})			
	CT	MT	0	50	150	250
اسیدیته pH	8.68 A*	8.66 A	8.71 a	8.66 b	8.65 b	8.65 b
وزن مخصوص ظاهری BD (g.cm^{-3})	1.72 A	1.68 A	1.74 a	1.71 a	1.71 ab	1.66 b
تجمع کربن آلی خاک SOCc (%)	0.83 A	0.83 A	0.8 a	0.85 a	0.8 a	0.87 a
ذخیره کربن آلی خاک SOCs (Mg.ha^{-1})	43.25 A	41.97 A	41.89 a	43.77 a	41.23 a	43.55 a
نیتروژن کل TN (mg.kg^{-1})	943 A	955 A	878 b	914 b	968 ab	1036 a
پتاسیم قابل تبادل K (mg.kg^{-1})	142 A	135 A	154 a	144 ab	130 bc	127 c
فسفر قابل جذب P (mg.kg^{-1})	15.57 A	15.20 A	16.99 a	16.88 a	14.24 ab	13.43 b

[a] CT: بیانگر شخم رایج و MT: بیانگر شخم حداقل می‌باشد.

* اختلاف میانگین‌های مربوط به سیستم‌های مختلف شخم که با حروف بزرگ یکسان نشان داده شده‌اند در سطح پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشد؛ اختلاف میانگین‌های مربوط به سطوح نیتروژن که با حروف کوچک یکسان نشان داده شده‌اند، در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نمی‌باشد.

[a] CT & MT: refers to conventional tillage and minimum tillage, respectively.

* Means in columns within each tillage system with the same uppercase letters are not significantly different at P≤0.05
Means in columns within each N rate with the same lowercase letters are not significantly different at P≤0.05.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که عملیات خاک‌ورزی در کوتاه مدت (دو سال) تأثیر معنی‌داری بر روی افزایش و یا کاهش میزان کربن آلی خاک نداشت و همچنین اسیدیته خاک، وزن مخصوص ظاهری و میزان نیتروژن کل، پتاسیم قابل تبادل و فسفر قابل جذب در خاک نیز در این آزمایش تحت تأثیر عملیات خاک‌ورزی قرار نگرفتند. به نظر می‌رسد برای ارزیابی اثر عملیات خاک‌ورزی بر روی خاک، تحقیقات می‌بایست در بازه زمانی بلندتری ادامه پیدا کند. افزایش سطوح نیتروژن خاک در این مطالعه کاهش وزن مخصوص ظاهری، افزایش میزان نیتروژن کل و کاهش پتاسیم قابل تبادل و همچنین کاهش فسفر قابل جذب را به همراه داشت (جدول ۳). اثر معنی‌دار سطوح نیتروژن بر وزن مخصوص ظاهری خاک در مطالعات اندکی گزارش شده است، با این وجود کاهش وزن مخصوص ظاهری در سطوح بالای نیتروژن می‌تواند به‌دلیل بهبود رشد اندام‌های

زیرزمینی گیاه و افزایش فعالیت ریزجانداران خاک باشد (Villamil et al., 2015). افزایش سطوح نیتروژن به‌واسطه بهبود و افزایش رشد و نمو گیاهان زراعی، افزایش میزان استفاده از دو عنصر پتاسیم و فسفر را به همراه دارد و از این رو، میزان پتاسیم قابل تبادل و همچنین میزان فسفر قابل جذب در خاک در صورت افزایش سطوح نیتروژن کاهش می‌یابد.

References

Al-Darby, A.M., and Lowery, B., 1986. Evaluation of corn growth and productivity with three conservation tillage systems. Agronomy Journal 78: 901–907.

Allmaras, R.R., Linden, D.R., and Clapp, C.E., 2004. Corn-residue transformation into root and soil carbon as related to nitrogen tillage and Stover management. Soil Science Society of America Journal 68: 1366–1375.

Baker, J.M., Ochsner, T.E, Venterea, R.T., and Griffis, T.J., 2007. Tillage and soil carbon sequestration-What do we really know? Agriculture, Ecosystem and Environment 118: 1–5.

Balesdent, J., Chenu, C., and Balabane, M., 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. Soil and Till Research 53: 215–230.

Blanco-Canqui, H., Lal, R., Post, W.M., Izaurralde, R.C., and Owens, L.B., 2006. Corn stover impacts on near-surface soil properties of no-till corn in Ohio. Soil Science Society of American Journal 70: 266–278.

Blevins, R.L., Thomas, G.W., and Cornelius, P.L., 1977. Influence of No-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn. Agronomy Journal 69: 383–386

Bremner, J.M., 1970. Nitrogen total, regular kjeldahl method, in: Mehods of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties. 2nd. Agronomy 9(1). A.S.A Inc., S.S.S.A Inc., Madison publisher, Wisconsin., USA, pp. 610–616

Calvino, P.A., Andrade, F.H., and Sadras, V.O. 2003. Maize yield as a Vected by water availability, soil depth, and crop management. Agronomy Journal 95: 275–281.

Cassel, D.K., Raczkowski, C.W., and Denton, H.P., 1995. Tillage effects on corn production and soil physical conditions. Soil Science Society of America Journal 59: 1436–1443.

Clapp, C.E., Allmaras, R.R., Layese, M.F., Linden, D.R., and Dowdy, R.H., 2000. Soil organic carbon and 13-C abundance as related to tillage, crop residue and nitrogen fertilizer under continuous corn management in Minnesota. Soil and Tillage Research 55: 127–142.

Culley, J.L.B., 1993. Density and compressibility. In: Carter, M.R. (Ed.), Soil Sampling and Methods of Analysis. Lewis Publishers, Boca Raton, USA.

D'Haene, K., Vermang, J., Cornelis, M.W., Leroy, B.L.M., Schiettecatte, W., De Neve, S., Gabriels, D., and Hofman, G., 2008. Reduced dillage effects on physical properties of silt loam soil growing root crops. Soil and Tillage Research 99: 279-290

De Sousa, A., 1961. 19 Micro-determination of potassium with EDTA. Chemistry and Materials Science 49: 644–646.

Dick, W.A., 1983. Organic carbon, nitrogen, and phosphorus concentrations and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. Soil Science Society of American Journal 47:102-107

Dick, W.A., Blevins, R.L., Frye, W.W., Peters, S.E., Christenson, D.R., Pierce, F.J., and Vitosh, M.L., 1998. Impacts of agricultural management practices on C sequestration in forest-derived soils of the eastern Corn Belt. Soil and Tillage Research 47: 235–244.

Doran, J.W., 1980. Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. Soil Science Society of America Journal 44: 765–771.

Fageria, N.K., and Baligar, V.C., 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. Advance in Agronomy 88: 97–185.

Fang, H., Cheng, S., Yu, G., Xu, M., Wang, Y., Li, L., Dang, X., Wang, L., and Li, Y., 2014. Experimental nitrogen deposition alters the quantity and quality of soil dissolved organic carbon in an alpine meadow on the Qinghai-Tibetan Plateau. Applied Soil Ecology 81: 1–11

Fang, H., Cheng, S., Yu, G., Zheng, J., Zhang, P., Xu, M., Li, Y., and Yang, X., 2012. Responses of CO_2 efflux from an alpine meadow soil on the Qinghai Tibetan Plateau to multi-form and low-level N addition. Plant and Soil 351: 177–190.

Ferna´ ndez, U.O., Virto, I., Bescansa, P., Imaz, M.J., Enrique, A., and Karlen, D.L., 2009. Notillage improvement of

soil physical quality in calcareous, degradation-prone, semiarid soils. Soil and Tillage Research 106: 29–35.

Gregorich, E.G., Ellert, B.H., Drury, C.F., and Liang, B.C., 1996. Fertilization effects on soil organic matter turnover and corn residue C storage. Soil Science Society of America Journal 60: 472–476.

Jagadamma, S., Lal, R., Hoeft, R.G., Nafziger, E.D., and Adee, E.A., 2008. Nitrogen fertilization and cropping system impacts on soil properties and their relationship to crop yield in the central Corn Belt, USA. Soil and Tillage. Research 98: 120–129.

Kamkar, B., Daneshmand, A.R., Ghooshchi, F., Shiranirad, A.H., and Safahani langeroudi, A.R., 2001. The effects of irrigation regimes and nitrogen rates on some agronomic traits of canola under a semiarid environment. Agricultural Water Management 98: 1005-1012.

Kladivko, E.J., 1994. Residue effects on soil physical properties. In: Unger, P.W., (Ed.), Managing Agricultural Residues. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 123–141.

Knorr, M., Frey, S., and Curtis, P., 2005. Nitrogen additions and litter decomposition: A meta-analysis. Ecology 86: 3252–3257.

Lafond, G.P., Boyetchko, S.M., Brandt, S.A., Clayton, G.W., and Entz, M.H., 1996. Influence of changing tillage practices on crop production. Canadian Journal of Plant Science 76: 641–649.

Liebig, M.A., Varvel, G.E., Doran, J.W., and Wienhold, B.J., 2002. Crop sequence and nitrogen fertilization effects on soil properties in the western Corn Belt. Soil Science Society of America Journal 66(2): 596–601.

Malhi, S.S., and Nyborg, M., 1990. Effect of tillage and straw on yield and N uptake of barley grown under different N fertility regimes. Soil and Tillage Research 17: 115–124.

Malhi, S.S., Lemke, R., Wang, Z.H., and Chhabra, B.S., 2006. Tillage, nitrogen and crop residue effects on crop yield, nutrient uptake, soil quality, and greenhouse gas emissions. Soil and Tillage Research 90: 171–183.

MC Lean, E.D., 1982. Soil pH and lime requirement, In: Methods of soil Analysis, part 2: Chemical and Microbiological Properties. 2nd ed. Agronomy 9(1): 631–636.

Mullins, G.L., Alley, S.E., and Reeves, D.W., 1998. Tropical maize response to nitrogen and starter fertilizer under strip and conventional tillage systems in southern Alabama. Soil and Tillage Research 45: 1–15.

Mulvaney, R.L., Khan, S.A., and Ellsworth, T.R., 2009. Synthetic nitrogen fertilizers deplete soil nitrogen: A global dilemma for sustainable cereal production. Journal of Environment Quality 38: 2295–2314.

Olsen, S.T., Cole, C.V., Watenabe, F.S., and Dean, L.A., 1954. Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate, U.S. Department of Agriculture Cri, 939. USA.

Penuelas, J., Gamon, J.A., Fredeen, A.L., Merino, J., and Field, C.B., 1994. Reflectance indexes associated with physiological-changes in nitrogen-limited and water limited sunflower leaves. Remote Sensing of Environment 48: 135–146.

Qualls, R.G., and Haines, B.L., 1992. Biodegradability of dissolved organic matter in forest through fall, soil solution, and stream water. Soil Science Society of American Journal 56: 578–586.

Rice, C.W., Smith, M.S., and Blevins, R.L., 1986. Soil nitrogen availability after long-term continuous no-tillage and conventional tillage corn production. Soil Science Society of American Journal 50: 1206–1210.

Rui, Y.K., Peng, Y.F., Wang, Z.R., and Shen, J.B., 2009. Stem perimeter, height and biomass of maize (*Zea mays* L.) grown under different N fertilization regimes in Beijing, China. International Journal of Plant Production 3: 85–90.

Schlesinger, W.H., 2009. On the fate of anthropogenic nitrogen. Proceeding of the National Academy of Science 106: 203–208.

Six, J., Elliott, E.T., and Paustain, K., 1999. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. Soil Science Society of American Journal 63: 1350–1358.

Studdert, G.A., and Echeverria, H.E., 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. Soil Science Society of American Journal 64: 1496–1503.

Tenant, D., 1975. A test of a modified line intersects method of estimating root length. Journal of Ecology 63: 995–1001.

Triplett, G.B., and Dick, W.A., 2008. No-tillage crop production: a revolution in agriculture. Agronomy Journal 100: 153–165.

Ugalde, D., Brungs, A., Kaebernick, M., McGregor, A., and Stattery, B., 2007. Implication of climate change for tillage practice in Australia. Soil and Tillage Research 97: 318–330.

Varvel, G.E., 1994. Rotation and nitrogen fertilization effects on changes in soil carbon and nitrogen. Agronomy

Journal 86: 319–325.

Villamil, M.B., and Nafziger, D.E., 2015. Corn residue, tillage, and nitrogen rate effects on soil carbon and nutrient stocks in Illinois. Geoderma 253-254: 61-66

Villamil, M.B., Little, J., and Nafziger, D.E., 2015. Corn residue, tillage, and nitrogen rate effects on soil properties. Soil and Tillage Research 151: 61-66

West, T.O., and Post, W.M., 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: A global data analysis. Soil Science Society of America Journal 66: 1930–1946.

Wood, C.W., and Edwards, J.H., 1992. Agro-ecosystem management effects on soil carbon and nitrogen. Agriculture, Ecosystem and Environment 39: 123–138.

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 619-630

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۶۳۰-۶۱۹

The Effects of Tillage and N Application Rate on Soil Quality in Corn-Canola-Corn Rotation

S.S. Moinoddini[1], A. Koocheki[2*], M. Nassiri Mahallati[2] and A. Borzouei[3]

Submitted: 12-03-2015
Accepted: 6-05-2015

Moeinoddini, S.S., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M., 2022. The effects of tillage and N application rate on soil quality in corn-canola-corn rotation. Journal of Agroecology 13(4):619-630.

Introduction

Sustainable production in agriculture is closely related to the proper soil chemical, physical, and biological conditions which are considered as the main functions of soil organic matter. The amount of soil organic matter, especially soil organic carbon (SOC), in agricultural ecosystems depends on the tillage practices. Conventional tillage (CT) which generally uses moldboard plow, results in soil losses by intense erosion, a net loss of nutrients and organic carbon. Toward sustainable agriculture, decreasing plow intensity of CT through application of conservation tillage strategy in which tillage practices are omitted or limited to a considerable extent, has been reported as an essential alternative. The objective of this study was to evaluate the effect of tillage management practices and N application on soil chemical and physical properties as well as SOC in a corn-based rotation on a clay loam textured soil in semi-arid climate of Hashtgerd, Iran.

Materials and Methods

A field experiment as the split plot design with three replications carried out in the research farm of agricultural research department of Atomic Energy Organization of Iran in two successive growing seasons during 2011-13. The tillage systems were (CT) conventional tillage (moldboard, rotary, and leveler) and; (MT) minimum tillage (disk) assigned as the main plot; and N rates of application, as the subplots, were 0, 50, 150, 250 kg ha^{-1}. In CT treatment, moldboard plow to a depth of 25-30 cm was used as the primary tillage once in autumn and once in spring each year. As the secondary tillage, CT plots were rotavated to 10 cm depth in spring. MT treatment included two trips over the plots with disk harrow cutting to a soil depth of approximately 10 cm prior to sowing. Soil pH, bulk density (BD), total nitrogen (TN), soil organic carbon (SOC), exchangeable K and available P were then evaluated. Soil samples were collected in September 2013 after the end of three growing seasons from 0-30 cm depth at 5 locations per plot using a 3.5 cm diameter coring tube.

Results and Discussion

The results showed that short-term (2 years) effect of tillage systems on soil pH, BD, TN, SOC and exchangeable K as well as available P, was not significant ($p \leq 0.05$). However, N application rate significantly ($p \leq 0.05$) changed soil TN, BD, exchangeable k and available P. Soil TN increased significantly ($p \leq 0.05$) by increase in N application rate as the highest amount of TN was 1036 and 968 mg kg^{-1} in 250 and 150 kg ha^{-1}, respectively. As the soil samples were taken after crops harvest, soil TN is illustrative of the residual soil N and high amount of TN implies the excessive N application. Soil BD decreased significantly in 250 kg N ha^{-1}. Increasing the N application rate would decrease soil BD by increasing root growth. Exchangeable K and available P decreased significantly ($p \leq 0.05$) by increasing N application rate. The lowest amount of soil exchangeable K, and available P was detected for N rate of 250 and 150 kg ha^{-1}, 127 and 130 mg kg^{-1} for K, and 13.43 and 14.24 mg kg^{-1} for P, respectively. Increased N application promotes plant growth and improves nutrient uptakes such as K and P, consequently, the amount of soil exchangeable K and available P would

1- Ph.D of Agroecology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
2- Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
3-Associate Professor, Agricultural Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Karaj, Iran.
(* Corresponding author: akooch@um.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v1i1.45219

decrease.

Conclusion

Toward sustainable agriculture, conservation tillage seems to be an effective strategy to maintain crop yields as well as soil chemical, physical, and biological properties in the long-term. However, based on the results, tillage systems (CT and MT) had no significant effects on SOC as well as other investigated soil properties in the studied site in the short-term. However, N application rate increased soil TN and decreased BD, exchangeable K and available P. It seems that longer-term investigations are needed to evaluate the probable effects of different tillage systems on soil properties particularly SOC

Keywords: Bulk Density, Soil Organic Carbon, Soil pH, TN, Tillage.

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 631-651

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۶۵۱-۶۳۱

مقاله پژوهشی

بررسی مزیت نسبی کشت مخلوط افزایشی کدوی تخم کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) تحت تأثیر تنش خشکی

محسن معصومی[۱]، روح‌اله مرادی[۲*]، نسیبه پورقاسمیان[۲] و مهدی نقی‌زاده[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۹

معصومی، م.، مرادی، ر.، پورقاسمیان، ن.، و نقی‌زاده، م.، ۱۴۰۰. بررسی مزیت نسبی کشت مخلوط افزایشی کدوی تخم کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) تحت تأثیر تنش خشکی. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۴): ۶۵۱-۶۳۱.

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری و الگوی کاشت بر کمیت و کیفیت عملکرد و کارایی مصرف آب (WUE) دو گیاه کدو تخم کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L)، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان در سال ۱۳۹۸ اجرا شد. فاکتور اصلی آزمایش شامل سطوح مختلف آبیاری (۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) و فاکتور فرعی شامل الگوی کاشت (کشت خالص کدو تخم کاغذی، کشت خالص آفتابگردان، کشت مخلوط سری افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی و کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته‌ها) بود. نتایج نشان داد که در کلیه الگوهای کشت، با افزایش شدت تنش خشکی اجزای عملکرد، عملکرد و درصد روغن دانه دو گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در تمام سطوح آبیاری، الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی بالاترین میزان تعداد میوه در بوته، وزن تک میوه، عملکرد میوه، دانه و روغن کدو را دارا بود. برتری عملکرد و اجزای عملکرد کدو در الگوی کشت یاد شده نسبت به کشت خالص کدو با افزایش شدت تنش خشکی بیشتر مشهود بود. بیشترین قطر طبق (۳۳ سانتی‌متر) و تعداد دانه در طبق (۱۶۴۰) آفتابگردان نیز مربوط به تیمار ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی با آبیاری بر اساس ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود. در تمام سطوح آبیاری، عملکرد دانه آفتابگردان در کشت خالص به‌دلیل دارا بودن تراکم بوته بالاتر به‌طور معنی‌داری بیشتر از هر دو کشت مخلوط بود. بیشترین محتوی پرولین کدو (۱/۵۲ $\mu mol.g^{-1}$ FW) و آفتابگردان (۲/۶۳ $\mu mol.g^{-1}$ FW) در کشت خالص آن‌ها در شرایط تنش شدید به‌دست آمد. در تمام سطوح آبیاری و هر دو الگوی کشت مخلوط، نسبت برابری زمین (LER) بالاتر از یک بود. در بین الگوهای کشت مخلوط، بیشترین WUE (۰/۶۴ کیلوگرم بر متر مکعب) در الگوی کشت ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی با آبیاری براساس ۶۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. بنابراین، به نظر می‌رسد کشت مخلوط افزایشی آفتابگردان باعث سایه‌اندازی بر کدو تخم کاغذی شده و از این طریق تبخیر و تعرق را کاهش می‌دهد، می‌تواند در فرار گیاه از تنش خشکی مفید بوده و قابل توصیه به کشاورزان باشد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، روغن، کارایی مصرف آب، نسبت برابری زمین

مقدمه

عدم رعایت اصول اکولوژیک در تولید محصولات زراعی و نگرش صرفاً تک بعدی و اقتصادی به کشاورزی منجر به تخریب منابع محیطی و کاهش کارآیی منابع شده است. تنوع سیستم‌های زراعی

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد گیاهان دارویی، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.
۲-دانشیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.
۳-استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.
*: نویسنده مسئول (Email: r.moradi@uk.ac.ir)
Doi:10.22067/agry.2020.20316.0

به‌عنوان راه حلی مناسب جهت رفع برخی از مشکلات کشاورزی مدرن پیشنهاد شده است (Poggio, 2005). محققین به رابطه بین پایداری و تنوع زیستی تأکید می‌کنند، زیرا افزایش تنوع، پیچیدگی ذاتی اکوسیستم‌های زراعی را افزایش داده و از این طریق فرآیندهای آن ها را تقویت می‌کند (Burel & Baudry, 2015). بسیاری از محققین مهم‌ترین عامل افزایش تنوع در اکوسیستم‌های زراعی را حضور کشت‌های مخلوط در این سیستم‌ها می‌دانند (Malik et al., 2003). سیستم‌های کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی می‌توانند به‌طور کارآمدتری از منابع موجود استفاده کرده و از این طریق منابع بیشتری را جذب کنند که این موضوع باعث کاهش میزان فراهمی منابع برای علف‌های‌هرز شده و در نتیجه، منجر به کاهش خسارت آن‌ها می‌شود (Zimdahal, 1993). کشت مخلوط در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران می‌تواند به‌عنوان یک راهکار به‌منظور حداکثر استفاده از تشعشع بالای خورشیدی و منابع آبی به‌کار رود (Pinedo-Vasquez et al., 2010). در سیستم‌های چند کشتی همواره باید به‌دنبال روش‌هایی برای افزایش عملکرد در گیاهان بود. از روش‌های مهم برای رسیدن به این امر، بالا بردن بهره‌وری از منابع طبیعی مانند آب و مواد غذایی خاک، تشعشع خورشید و استفاده مؤثر از سطح زمین‌های کشاورزی است (Awal et al., 2006).

خشکی یکی از عوامل مهم محدود کننده تولیدات زراعی در جهان است و این موضوع در مناطق خشک و نیمه خشک جهان از اهمیت بیشتری برخوردار است. حدود یک سوم کره زمین را مناطق خشک و نیمه خشک در بر می‌گیرد که وسعت این مناطق بیش از ۴۵ میلیون کیلومترمربع تخمین زده شده است. وسعت مناطق خشک و نیمه خشک در ایران بیش از ۱/۵ میلیون کیلومترمربع است (FAO, 2018). در بین تنش‌های غیرزنده، خشکی مهم‌ترین تنشی است که باعث کاهش عملکرد در محصولاتی می‌شود که به‌صورت دائم یا دوره‌ای در معرض آن قرار می‌گیرند (Chandra et al., 2008).

کشت مخلوط می‌تواند در برخی موارد به کارایی مصرف آب کمک نماید. این امر از طریق افزایش درصد پوشش گیاهی و نقش آن به‌عنوان بادشکن و کاهش میزان تبخیر قابل توجه است. معمولاً رقابت بین گونه‌ای برای آب کم‌تر از رقابت درون گونه‌ای است، زیرا گونه‌های مختلف دارای ساختار، سیستم ریشه‌ای و دوره‌های حداکثر نیاز به آب متفاوتی هستند. در یک ترکیب منا سب، گونه‌های مختلف گیاهان زراعی می‌توانند به یکدیگر در استفاده بهتر از منابع محیطی و عمدتاً نور، عناصر غذایی و آب کمک نمایند (Lal et al., 2019).

آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی است. میزان روغن موجود در آفتابگردان ۴۲-۲۵ در صد است که در شرایط مطلوب به ۶۵ درصد نیز می‌رسد (Weiss, 1983). نیاز آبی زراعت آفتابگردان در یک دوره رشدی در حدود ۶۰۰-۵۰۰ میلی‌متر برآورد شده است. با افزایش مقدار آب، تولید ماده خشک بیشتر می‌شود، ولی گیاه می‌تواند در صورت کاهش میزان آب در دسترس تا حدودی خود را با شرایط محیطی سازگار کند (Alyari et al., 2000). آفتابگردان گیاهی بسیار مقاوم به خشکی نیست، ولی ویژگی‌هایی مانند ریشه متراکم و منشعب، قدرت گسترش و نفوذ ریشه‌ها به اعماق بیش از دو متر سبب شده در شرایطی که زراعت‌های دیگر صدمه شدید می‌بینند، این گیاه محصول رضایت مندی را تولید نماید (Momen Keykha et al., 2018).

گیاه دارویی کدوی تخم کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) از گیاهان دارویی ارزشمند در صنایع داروسازی است (Wagner, 2000). برخی مطالعات نشان داده است که دانه‌های این گیاه و روغن به‌دست آمده از آن حاوی مواد مؤثره ارزشمندی است که باعث افزایش مقاومت بدن در مقابل عوامل بیماری‌زا می‌شود (Fu et al., 2006). این گونه دارای ریشه عمودی قوی، ساقه‌ای کرک‌دار و برگ‌های بزرگ پنجه‌ای با بریدگی‌های عمیق می‌باشد. دانه‌های این گیاه شامل در صد بالایی از اسیدهای چرب، فیتو ستول و ویتامین E می‌باشد و داروهایی مانند پیونن، پیوسترین و گرونفینگ از مواد مؤثره آن تولید شده است که در درمان تورم پروستات و سوزش مجاری ادرار کاربرد دارد (Harveth & Bedo, 1998). از ورود این گیاه به ایران چند سالی بیشتر نمی‌گذرد و کشت آن در مناطق مختلف درحال توسعه بوده و در دهه اخیر به‌عنوان یک منبع دارویی مهم مطرح شده و دارای ارزش اقتصادی مناسبی می‌باشد (Siami et al., 2003). از آنجا که فضای بین ردیف‌های کدوی تخم کاغذی در مراحل ابتدایی رشد خیلی زیاد است، لذا امکان کشت گیاه دوم در این فضا وجود دارد و می‌توان در کشت مخلوط از این گیاه استفاده نمود. عملکرد و کارایی مصرف آب در کشت مخلوط کدوی تخمه کاغذی با نخود و عدس بررسی شده است (Khoramivafa et al., 2012). همچنین، مریداحمدی و همکاران (Morid Ahmadi et al., 2018) عملکرد و اجزای عملکرد و نسبت برابری زمین در کشت مخلوط ردیفی کدو تخم کاغذی را با گیاهان زراعی ذرت (*Zea mays* L.)، ذرت شیرین

(*Zea mays* convar. saccharata)، کنجد (*Sesamum indicum* L.)، کرچک (*Ricinus communis* L.) و آفتابگردان ارزیابی نمودند. مؤمن و همکاران (Momen et al., 2015) نیز کشت مخلوط تأخیری و مالچ کلشی بر عملکرد و اجزای علمکرد کدوی تخم کاغذی و نخود (*Cicer arietinum* L.) را در شرایط دیم و آبی بررسی نمودند. نقش مثبت کشت مخلوط در کنترل علف هرز کدو نیز به اثبات رسیده است (Moradi et al., 2015).

با توجه به اهمیت زراعی دو گونه کدو تخم کاغذی و آفتابگردان و نبودن اطلاعات کافی و مستند در خصوص کشت مخلوط افزایشی این دو گیاه در شرایط کمبود آب، آزمایش حاضر با هدف پتانسیل‌سنجی کشت مخلوط این دو گیاه و بررسی واکنش دو گیاه به تنش خشکی انجام شد. محور اصلی در این تحقیق گیاه کدو بود که در تراکم اصلی خود حفظ شد و به این ترتیب از کشت مخلوط افزایشی استفاده شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در بهار و تابستان ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی برد سیر واقع در ۵۰ کیلومتری جنوب غربی شهر کرمان با عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۸۹ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۰۸۰ متری از سطح دریا اجرا شد. میانگین دمای سالیانه برای این شهر ستان ۱۴/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالیانه ۱۰۸ میلی‌متر می‌باشد. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی آزمایش شامل سطوح مختلف آبیاری (۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) و فاکتور فرعی شامل الگوی کاشت در چهار سطح (۱- کشت خالص کدو تخم کاغذی، ۲- کشت خالص آفتابگردان، ۳- کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی و ۴- کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته‌ها) بود. کدو به‌عنوان گیاه اصلی در نظر گرفته شده و آفتابگردان در کشت مخلوط به‌عنوان گیاه همراه به‌صورت افزایشی به کدو اضافه شد. زمین محل اجرای آزمایش در سال زراعی قبل آیش بود. قبل از اجرای آزمایش، نمونه خاک به‌صورت تصادفی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر از زمین محل اجرای آزمایش برداشت و به‌منظور تعیین میزان ماده آلی، عناصر غذایی پر مصرف، pH و EC به آزمایشگاه منتقل شد (جدول ۱).

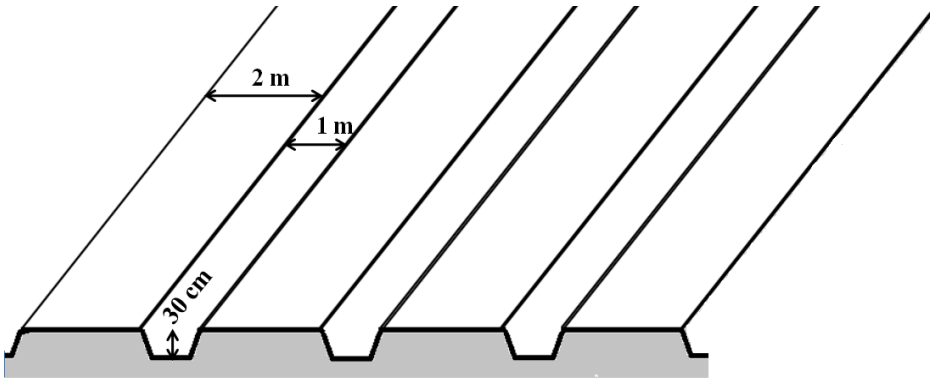
جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Soil physical and chemical properties

بافت Texture	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر P (mg.kg^{-1})	پتاسیم K (mg.kg^{-1})	ماده آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	اسیدیته pH
Sandy clay loam لومی- رسی- شنی	0.09	14.3	293	0.36	1.42	7.42

پس از تهیه نقشه طرح، مراحل آماده سازی زمین شامل عملیات شخم با گاو آهن و تسطیح زمین انجام شد. کشت هر دو گیاه در تاریخ ۲۶ فروردین انجام شد. برای کشت خالص کدوی تخم کاغذی جوی‌هایی با دهانه (عرض) ۱۰۰ و عمق ۳۰ سانتی‌متر تهیه شد که فاصله هر جوی از هم‌دیگر دو متر در نظر گرفته شد (شکل ۱). فاصله روی ردیف برای هر بوته کدو ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (Mirzaei et al., 2018). برای هر تیمار سه جوی و پشته در نظر گرفته شد. کشت خالص آفتابگردان نیز با فاصله بین و روی ردیف ۱۰۰ و ۲۰ سانتی‌متر انجام شد (Rezaei Chiyaneh et al., 2015). برای اجرای کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی، بوته‌های آفتابگردان در وسط جوی با فاصله ۲۰ سانتیمتر از هم بین دو ردیف کدو کاشته شد. در کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو +۵۰ ٪ آفتابگردان روی پشته‌ها، نیز بذور آفتابگردان بین بوته‌های کدو با فاصله ۴۰ سانتی‌متر در هر دو طرف پشته کشت شد. کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر اساس آزمون خاک و نیاز کودی دو گیاه به‌ترتیب به‌میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره، ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم اعمال گردید. بلافاصله بعد از کاشت آبیاری انجام شد. جهت اعمال تیمارهای تنش خشکی، ۱۰ روز بعد از سبز شدن و استقرار

کامل گیاهچه‌ها با استفاده از دستگاه TDR[1] مدل IMKO ساخت شرکت اکلکمپ هلند میزان رطوبت خاک تعیین و پس از کالیبراسیون در محدوده توسعه ریشه آبیاری براساس تیمارهای مورد نظر در کل دوره رشد انجام گرفت (Calamita et al., 2012). برای این کار از پروب‌های سطحی با طول ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد. مقدار آب مصرفی نیز با استفاده از کنتور حجمی ثبت شد که با احتساب ۱۹ میلی‌متر بارندگی در طول فصل رشد، در جدول ۲ نشان داده شده است. کنترل علف هرز در مواقع لزوم انجام شد.



شکل ۱- نحوه چینش جوی و پشته‌ها در آزمایش

Fig. 1- Arranging method of furrow and ridge in the experiment

جدول ۲- میزان آب مصرفی (متر مکعب در هکتار) در تیمارهای مختلف مورد بررسی با احتساب ۱۹ میلی‌متر بارندگی

Table 2- Irrigation value ($m^3.ha^{-1}$) in studied treatments including 19 mm of rainfall

سطح آبیاری Irrigation level (FC)	90%				60%				30%			
الگوی کاشت Planting pattern	S	P	PS-R	PS-F	S	P	PS-R	PS-F	S	P	PS-R	PS-F
آب مصرفی Water consumption (m^{-3})	6852	6233	6563	6680	4635	4218	4512	4633	3104	2852	3024	3124

S: کشت خالص آفتابگردان، P: کشت خالص کدو، PS-R: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته، PS-F: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی

S: Sunflower sole cropping, P: Pumpkin sole cropping, PS-R: 100% of pumpkin + 50% of sunflower on ridge, PS-F: 100% of pumpkin + 50% of sunflower in furrow

مقدار پرولین در برگ در مرحله ۵۰ در صد گل‌دهی با روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری و مقدار پرولین در هر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد. جهت اندازه‌گیری درصد روغن دانه از روش سوکسله (Gholami Kalus et al., 2018) ساخت شرکت پارس فراسو استفاده شد.

جهت مقایسه عملکرد کشت‌های مخلوط با خالص، نسبت برابری زمین[2] (LER) از طریق معادله زیر محاسبه شد (Vandermeer, 1990):

$$LER = \sum \frac{Y_{i,m}}{Y_{i,s}}$$ معادله ۱

که در آن، $Y_{i,m}$ و $Y_{i,s}$: به‌ترتیب عملکرد گونه‌ها در کشت مخلوط و خالص می‌باشند.

پس از تعیین حجم آب مصرفی کل با احتساب ۱۹ میلی‌متر بارندگی و اندازه‌گیری میزان عملکرد محصول در واحد هکتار، کارایی مصرف آب (WUE[3]) از نسبت بین عملکرد اقتصادی به آب مصرفی محاسبه شد (Yang et al., 2011).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴

1- Time domain reflectometry
2- Land equivalent ratio
3- Water use efficiency

انجام شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شد. مقایسات میانگین برای برهم‌کنش تیمارهای مورد بررسی به‌صورت برش‌دهی انجام شد.

نتایج و بحث

صفات مورد بررسی در گیاه کدو تخم کاغذی

تعداد میوه در بوته: این صفت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و الگوی کشت (در سطح احتمال یک در صد) و اثر متقابل آن‌ها (در سطح احتمال پنج درصد) قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در الگوی کشت نشان داد که بیشترین میانگین تعداد میوه در بوته (۲/۳۳) مربوط به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی با آبیاری براساس ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۴). این در حالی بود که در همین سطح آبیاری (۹۰ در صد ظرفیت زراعی) تعداد میوه در بوته در الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته‌ها نسبت به کاشت درون جوی به‌طور معنی‌داری کمتر بود. کمترین مقدار این صفت (۰/۴۶) از کشت خالص کدو تخم کاغذی با آبیاری براساس ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد. در کلیه سطوح آبیاری الگوی کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی بیشترین تعداد میوه در بوته را دارا بود. افزایش میزان تنش خشکی در تمامی الگوهای کاشت باعث کاهش معنی‌دار این شاخص شد. نقش مثبت کشت مخلوط با افزایش شدت تنش خشکی بیشتر مشهود بود، به‌طوری‌که الگوی کشت مخلوط درون جوی در سطح ۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب باعث بهبود ۱۴، ۲۰ و ۷۶ درصدی تعداد میوه در بوته نسبت به کشت خالص شد.

به نظر می‌رسد زمانی‌که آفتابگردان درون جوی کشت شده رقابت بین گونه‌ای به‌میزان قابل توجهی کمتر از کشت روی پشته (کشت در بین بوته‌های کدو) بوده است. احتمالاً این موضوع توانسته است باعث افزایش عملکرد در الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی در مقایسه با کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته شود.

نقش پررنگ‌تر کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در افزایش تعداد میوه در بوته در شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌دلیل سایه‌اندازی آفتابگردان روی بوته‌های کدو باشد. چرا که وجود سایه آفتابگردان توانسته است هم میزان تبخیر از سطح خاک و هم میزان تعرق بوته‌های کدو را کاهش دهد. از آنجایی‌که کدو گیاهی با سیستم فتوسنتزی C_3 می‌باشد، احتمالاً قرارگیری این گیاه در سایه آفتابگردان باعث تعدیل اثر منفی گرما شده و از این طریق تعداد میوه در بوته در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بهبود یافته است. در آزمایشات دیگر نیز تأیید شده است که در سیستم کشت مخلوط، سایه‌اندازی گونه‌ای که ارتفاع بالاتری دارد روی گیاهانی که ارتفاع کمی دارند می‌تواند به‌میزان قابل قبولی از تبخیر خاک و همچنین تعرق گیاهی کاسته و سبب بهبود شرایط رشد در کشت مخلوط شود (Khoramivafa et al., 2012; Gitari et al., 2018; Bai et al., 2016; Chimonyo et al., 2016). نیاوید و همکاران (Nyawade et al., 2019) نیز گزارش کردند که کشت مخلوط می‌تواند با تعدیل دمای خاک منجر به کاهش قابل توجه تبخیر و تعرق شده و از این طریق بهبود رشد گونه‌های گیاهی را شامل شود.

مطالعات نشان داده است که در تیره کدوئیان به‌ویژه کدوی پوست کاغذی ابتدا یک میوه تشکیل می‌شود و رشد آن به‌عنوان مقصد فیزیولوژیک قوی برای مواد فتوسنتزی عمل می‌کند، بنابراین، کمبود آب و مواد غذایی سبب کاهش و یا مانع تشکیل میوه‌های دیگر می‌گردد (Gholipoori et al., 2007). ارتک و همکاران (Ertek et al., 2004) نیز افزایش تعداد میوه کدوی پوست کاغذی را با افزایش رطوبت گزارش کردند. همچنین قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2007) افزایش طول ریشه‌های اولیه کدوی پوست کاغذی در شرایط رطوبت مطلوب گزارش کردند. افزایش طول ریشه‌های اولیه گیاه به هر دلیل باعث افزایش جذب آب و عناصر غذایی و رشد بیشتر گیاه می‌شود. بنابراین، چنین می‌توان استنباط کرد که کشت مخلوط از طریق تعادل و هماهنگی بین رطوبت و بهبود تغذیه گیاه و همچنین جلوگیری از تبخیر و نیز کاهش عناصر غذایی خاک در اثر رشد علف‌های هرز، باعث افزایش تعداد میوه در بوته شده است.

تعداد دانه در میوه: اثر تیمارهای آبیاری و الگوی کشت به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد بر روی این صفت معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین سطوح مختلف آبیاری نشان داد که بیشترین تعداد دانه در میوه (۱۴۲/۷) مربوط به سطح آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود و کاهش میزان آب آبیاری به ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی منجر به کاهش ۲۰/۳۹ و ۴۳/۸۶ درصدی این صفت گردید (جدول ۵). مقایسه الگوهای کشت مختلف از لحاظ تعداد دانه در میوه نشان داد، بیشترین مقدار این صفت با ۷/۰۴ در صد افزایش نسبت به کشت خالص کدو مربوط به الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی بود، در حالی که بین دو الگوی دیگر از این حیث اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. به نظر می‌رسد تنش خشکی از طریق کاهش ظرفیت فتوسنتزی گیاه باعث کاهش تعداد دانه در میوه شده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد بررسی در کدو تخم کاغذی

Table 3- Analysis of variance (mean of square) of pumpkin studied traits

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	تعداد میوه در بوته Fruit number per plant	تعداد دانه در میوه Seed number per fruit	وزن تک میوه Single fruit weight	عملکرد میوه Fruit yield	عملکرد دانه Seed yield	وزن هزار دانه 1000-seed weight	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield	پرولین Proline
بلوک Block	2	0.029^{ns}	22.40^{ns}	10185^{ns}	4.63^{ns}	1085^{ns}	119^{ns}	2.84^{ns}	78.28^{ns}	0.05^{ns}
آبیاری Irrigation (A)	2	4.46^{**}	8845^{**}	2026184^{**}	8087^{**}	540093^{**}	1365^{**}	135^{**}	39306^{**}	2.86^{**}
خطای اصلی Main error	4	0.002	24.93	26951	30.09	1567	111	1.28	37.16	0.03
الگوی کشت Planting pattern (B)	2	0.600^{**}	238^{**}	93469^{**}	945^{**}	43871^{**}	4.25^{ns}	0.764^{ns}	3896^{**}	0.115^{**}
A×B	4	0.068^{*}	23.96^{ns}	30430^{*}	348^{**}	5817^{**}	1.42^{ns}	0.201^{ns}	423^{**}	0.031^{*}
خطای فرعی Sub error	12	0.017	47.18	7229	56.40	887	124	3.82	70.24	0.009
ضریب تغییرات CV (%)	-	9.39	6.12	4.97	13.20	9.25	10.45	6.08	8.69	11.88

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

ns, * and **: non-significant and significant in the level of 5% and 1%, Respectively.

جدول ٤- برهم‌کنش سطوح آبیاری و الگوی کاشت بر صفات مورد بررسی در کدو تخم کاغذی

Table 4- Interaction effect of irrigation levels and planting patterns on pumpkin studied traits

تیمار Treatment	الگوی کاشت Planting pattern	تعداد میوه در بوته Fruit number per plant	وزن تک میوه Single fruit weight (g)	عملکرد میوه Fruit yield ($t.ha^{-1}$)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد روغن Oil yield ($kg.ha^{-1}$)	پرولین Proline ($\mu mol.g^{-1}$ FW)
سطح آبیاری Irrigation level (FC)							
90%	P	2.05^{b*}	2214^{a}	7.54^{b}	578.3^{b}	162.7^{b}	0.211^{a}
	PS-R	1.67^{c}	1966^{b}	5.48^{c}	458.9^{c}	130.2^{c}	0.215^{a}
	PS-F	2.33^{a}	2260^{a}	8.74^{a}	670.6^{a}	187.9^{a}	0.208^{a}
60%	P	1.56^{b}	1808^{a}	4.69^{b}	311.4^{b}	100.8^{b}	0.825^{a}
	PS-R	1.21^{c}	1717^{a}	3.45^{c}	238.5^{c}	77.27^{c}	0.736^{b}
	PS-F	1.86^{a}	1808^{a}	5.59^{a}	395.4^{a}	126.6^{a}	0.553^{c}
30%	P	0.466^{c}	1130^{b}	0.87^{b}	54.46^{b}	19.80^{b}	1.53^{a}
	PS-R	0.582^{b}	1130^{b}	1.09^{b}	67.52^{b}	24.34^{b}	1.36^{ab}
	PS-F	0.812^{a}	1356^{a}	1.84^{a}	116.4^{a}	41.10^{a}	1.12^{b}

P: کشت خالص کدو، PS-R: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو+ ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته، PS-F: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو+ ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی

P: Pumpkin sole cropping, PS-R: 100% of pumpkin + 50% of sunflower on ridge, PS-F: 100% of pumpkin + 50% of sunflower in furrow

* حروف مشترک در هر ستون به‌صورت برش‌دهی دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن نیست.

* Column means with the same letter are not significantly different as slicing by Duncan test ($p< 0.05$)

جدول ۵- اثرات ساده تیمارهای آبیاری و الگوی کاشت بر برخی صفات کدو

Table 5- Simple effect of irrigation and intercropping pattern treatments on some pumpkin traits

تیمار Treatment		تعداد دانه در میوه Seed number per fruit	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	درصد روغن Oil percentage
آبیاری Irrigation (FC)	90%	142.7[a*]	118.6[a]	33.18[a]
	60%	113.6[b]	107.5[ab]	32.27[a]
	30%	80.10[c]	94.01[b]	28.91[b]
الگوی کاشت Planting pattern	P	110.2[b]	106.4[a]	32.31[a]
	PS-R	108.3[b]	106.3[a]	32.27[a]
	PS-F	118.5[a]	107.5[a]	31.78[b]

P: کشت خالص کدو، PS-R: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته، PS-F: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی

P: Pumpkin sole cropping, PS-R: 100% of pumpkin + 50% of sunflower on ridge, PS-F: 100% of pumpkin + 50% of sunflower in furrow

* برای هر تیمار، حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن نیست.

* For each treatment, column means with the same letter are not significantly different by Duncan test ($p< 0.05$)

تنش خشکی طی رشد و نمو گیاه موجب کاهش شاخص سطح برگ، میزان کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و اختلال در فعالیت بسیاری از آنزیم‌ها می‌شود، که به دنبال چنین تغییراتی میزان فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی در گیاه کاهش می‌یابد. بنابراین، در ادامه نمو گیاه، میوه، دانه و وزن هزار دانه کمتری ایجاد می‌شود (Aghaie & Ehsanzadeh, 2011). در پژوهشی که بر روی کدوی پوست کاغذی انجام شد، مشخص گردید که تعداد دانه در میوه با کاهش دسترسی به آب کاهش پیدا کرد (Al-Omran et al., 2005). همچنین نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر با نتایج گزارش شده توسط دانشیان و همکاران (Daneshian et al., 2010) مطابقت دارد. آن‌ها کاهش تولید آسیمیلات‌ها توسط گیاه در شرایط خشکی را علت این امر دانستند. از طرفی، زو (Zhu, 2002) اظهار داشت که کمبود مواد قابل انتقال در تیمار تنش خشکی در مرحله زایشی باعث سقط جنین شده که در نهایت، باعث کاهش تعداد دانه در میوه می‌شود. قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2007) نیز افزایش تعداد دانه در میوه کدوی پوست کاغذی را با افزایش رطوبت در دسترس گزارش کردند. از این رو، تعداد دانه در میوه نیز به‌واسطه مزایای کشت مخلوط در استفاده مؤثر از منابع و همچنین حفظ مناسب رطوبت نسبت به کشت خالص کدو بهبود یافت. همچنین براساس نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که در تراکم‌های پایین‌تر (کشت مخلوط) به‌دلیل گسترش تک بوته‌ها امکان تولید برگ بیشتر و میوه‌هایی با دانه بیشتر مشاهد شد، ولی در تراکم‌های بیشتر (کشت خالص)، رقابت بر سر منابع و عوامل محیطی موجب شده، بوته‌ها توانایی تولید دانه زیادی در هر میوه را نداشته باشند. نتایج به‌دست آمده با نتایج مرادی و همکاران (Moradi et al., 2014) مبنی بر معنی‌داری اثر کشت مخلوط ذرت، لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) و کدو پوست کاغذی بر تعداد دانه در میوه کدو پوست کاغذی هم‌خوانی داشت. شباهنگ و همکاران (Shabahang et al., 2010) بیان داشتند که بیشترین و کمترین تعداد دانه در میوه کدو پوست کاغذی به‌ترتیب در تراکم‌های پایین و بالا حاصل شد، ضمن اینکه افزایش فاصله بین ردیف باعث افزایش تعداد دانه در مترمربع شد.

وزن تک میوه: اثرات ساده تیمارهای آبیاری و الگوی کاشت (در سطح احتمال یک درصد) و اثر متقابل آن‌ها (در سطح احتمال پنج درصد) برای صفت وزن تک میوه معنی‌دار گردیدند (جدول ۳). بیشترین میانگین وزن تک میوه (۲۲۶۰ گرم) مربوط به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی با آبیاری براساس ۹۰ درصد ظرفیت زراعی آبیاری بود که در عین حال با تیمار کشت خالص کدو تخم کاغذی با سطح آبیاری مشابه (۲۲۱۴ گرم) اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). این مقایسه میانگین نشان داد که در سطح آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی بین الگوهای کشت مورد بررسی اختلاف معنی‌داری از لحاظ وزن تک میوه وجود نداشت، ولی در سطح آبیاری ۳۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین وزن تک میوه با اختلاف معنی‌دار از الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی به‌دست آمد (جدول ۴). مطابق با نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، مرید احمدی و همکاران (Morid Ahmadi et al., 2018) گزارش کردند که وزن تر تک میوه کدو در تیمار کشت مخلوط کدو + آفتابگردان در مقایسه با تیمار کشت خالص کدو به مراتب بیشتر بود.

عملکرد میوه: عملکرد میوه به‌طور معنی‌داری ($p<0.01$) تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و الگوی کشت و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). در کلیه سطوح آبیاری الگوی کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی بیشترین عملکرد میوه را دارا بود و افزایش میزان تنش خشکی در تمامی الگوهای کاشت باعث کاهش معنی‌دار این صفت شد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در الگوی کشت نشان داد که بیشترین عملکرد میوه (۸۷/۴۱ تن در هکتار) مربوط به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی با آبیاری براساس ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود که عملکرد این گیاه را نسبت به کشت خالص افزایش معنی‌داری داد (جدول ۴). در دو سطح آبیاری ۹۰ و ۶۰ در صد ظرفیت زراعی الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی از لحاظ عملکرد میوه برتری ۵۹/۶۵ و ۶۱/۹۵ در صدی نسبت به الگوی روی پشته داشت، در حالی که در سطح آبیاری ۳۰ درصد ظرفیت زراعی بین الگوی‌های کشت مختلف تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). همان‌طور که انتظار می‌رود، با کاهش تعداد میوه در بوته کدو در تیمار تنش خشکی و یا افزایش تعداد میوه در بوته کدو در تیمارهای کشت مخلوط، عملکرد میوه در کدوی پوست کاغذی نیز به‌ترتیب کاهش و یا افزایش می‌یابد. حدیدی و همکاران (Hadidi et al., 2011) در آزمایشی بیشترین عملکرد میوه کدو از آرایش ۱:۲ کشت مخلوط کدو با لوبیا گزارش کردند. همچنین اظهار داشتند که تمامی آرایش‌های مخلوط باعث افزایش عملکرد میوه شد که دلیل این امر را به افزایش کارایی استفاده از منابع در واحد سطح به‌وسیله گونه‌های موجود در کشت مخلوط نسبت دادند. افزایش تعداد میوه یکی از عوامل مهم در افزایش عملکرد میوه کدو محسوب می‌شود (Ertek et al., 2004). به نظر می‌رسد با کشت آفتابگردان درون جوی میزان رقابت بین گونه‌ای نسبت به کشت روی پشته به‌میزان قابل توجهی کاهش یافته است. این موضوع توانسته است باعث افزایش عملکرد میوه در الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی در مقایسه با کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته شود. برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌دلیل سایه‌اندازی آفتابگردان روی بوته‌های کدو باشد. چرا که وجود سایه آفتابگردان توانسته است هم میزان تبخیر از سطح خاک و هم میزان تعرق بوته های کدو را کاهش دهد. احتمالاً قرارگیری این گیاه در سایه آفتابگردان باعث تعدیل اثر منفی گرما شده و از این طریق تعداد میوه در بوته در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بهبود یافته است.

عملکرد دانه: این صفت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و الگوی کشت و اثر متقابل آن ها ($p<0.01$) قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در الگوی کشت نشان داد که بیشترین میانگین عملکرد دانه (۶۷۰/۶۱ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی و آبیاری براساس ۹۰ درصد ظرفیت زراعی آبیاری بود (جدول ۴). الگوی کشت مذکور در سطح آبیاری ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی نیز برتری معنی‌داری نسبت به دو الگوی دیگر داشت. در آبیاری ۹۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، عملکرد دانه در کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته به‌طور معنی‌داری بیشتر از کشت خالص بود. کمترین مقدار این صفت (۵۴/۴۰ کیلوگرم در هکتار) از کشت خالص کدو تخم کاغذی با آبیاری براساس ۳۰ در صد ظرفیت زراعی به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته (۶۷/۵۵ کیلوگرم در هکتار) نشان نداد (جدول ۴). نتایج به‌دست آمده از این تحقیق با نتایج حمزه‌ئی و بابایی (Hamzei & Babaei, 2015) در بررسی اثر آبیاری بر کدوی پوست کاغذی مطابقت داشت. مهم‌ترین عامل محدودکننده عملکرد دانه کدوی پوست کاغذی تعداد میوه در واحد سطح است (Nerson, 2005). کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در شرایط کمبود آب را می‌توان به کاهش تعداد دانه در میوه و وزن هزار دانه نسبت داد. به‌طوری‌که، بر اساس نتایج این آزمایش، تیمار آبیاری براساس ۹۰ در صد ظرفیت زراعی از نظر اجزای عملکرد نیز بهترین تیمار شناخته شد و از آنجایی که عملکرد دانه با اجزای عملکرد همبستگی مثبت دارد، بنابراین برتری آن از نظر عملکرد دانه نیز دور از انتظار نیست. شباهنگ و همکاران (Shabahang et al., 2010) همبستگی مثبت و معنی‌دار بین تعداد میوه و عملکرد دانه گزارش کردند. بنابراین، با توجه به افزایش تعداد میوه کدو در سیستم‌های مخلوط و همچنین رابطه مثبت این صفت با عملکرد دانه، می‌توان افزایش عملکرد دانه در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص را به افزایش در این صفت نسبت داد.

وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار آبیاری در سطح احتمال یک درصد ($p<0.01$) برای وزن هزار دانه

معنی‌دار گردید (جدول ۳). کاهش مقدار آب آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه گردید، به‌گونه‌ای که بیشترین (۱۱۸/۶ گرم) و کمترین (۹۴/۰۱ گرم) مقدار این صفت به‌ترتیب مربوط به سطوح آبیاری ۹۰ و ۶۰ در صد ظرفیت زراعی بود (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد کمبود آب به‌علت محدودسازی منبع فتوسنتزی موجب کاهش فتوسنتز و همچنین کوتاه شدن دوره رشد دانه گردیده و در نتیجه، اندازه دانه و وزن دانه را کاهش داده باشد. در آزمایش وراسوت (۲۰۰۳) روی بادام زمینی مشاهده شد که در حالت کمبود آب، وزن ۱۰۰ دانه نسبت به شرایط بدون تنش کاهش یافت. آن‌ها علت این امر را عرضه ناکافی عناصر غذایی به دانه‌ها دانستند. همچنین، حمزه‌ئی و بابایی (Hamzei & Babaei, 2015) در بررسی اثر آبیاری بر کدوی پوست کاغذی گزارش کردند که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار وزن هزاردانه در این گیاه می‌شود.

در صد روغن: طبق نتایج تجزیه واریانس، تنها اثر تیمار آبیاری (در سطح احتمال یک درصد) برای این صفت معنی‌دار بود (جدول ۳). افزایش تنش خشکی تا سطح ۶۰ درصد ظرفیت زراعی تأثیر معنی‌داری بر درصد روغن نداشت. به‌طوری‌که، بیشترین درصد روغن (۳۳/۱۸ درصد) از تیمار آبیاری براساس ۹۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد که با تیمارهای ۶۰ در صد ظرفیت زراعی (۳۲/۲۷ در صد) اختلاف معنی‌داری نشان نداد، ولی این دو به‌طور معنی‌داری بیشتر از درصد روغن در آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی (۲۸/۹۱ درصد) بودند (جدول ۵). بنابرین، افزایش میزان تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار این صفت شد. گزارش شده است که در صد روغن در هنگام تنش کمبود آب به‌علت کوتاه شدن طول دوره رشد و طول مدت سنتز روغن کاهش می‌یابد. لذا، شرایط آبیاری مناسب از مدت زمان بیشتری جهت پر شدن دانه برخوردار بوده و در صد روغن نیز در این تیمار افزایش یافته است که با نتایج به‌دست آمده از این تحقیق مطابقت دارد (Hamzei & Babaei, 2015). قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2007) دور آبیاری هفت روز را دارای بیشترین درصد روغن کدوی پوست کاغذی در مقایسه با دور ۱۴ و ۲۱ روز گزارش کردند و افزایش عملکرد روغن را نتیجه افزایش عملکرد دانه در این دور آبیاری دانستند.

عملکرد روغن: اثرات ساده تیمارهای آبیاری و الگوی کشت و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد برای عملکرد روغن معنی‌دار گردیدند (جدول ۳). بیشترین عملکرد روغن (۱۸۷/۹۵ لیتر در هکتار) مربوط به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی با آبیاری براساس ۹۰ درصد ظرفیت زراعی آبیاری بود (جدول ۴). این مقایسه میانگین نشان داد که در همه سطوح آبیاری مورد بررسی (۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) بیشترین عملکرد روغن از الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی به‌دست آمد (جدول ۴). از آنجایی که عملکرد روغن از حاصل ضرب در صد روغن در عملکرد دانه به‌دست می‌آید، لذا به‌دلیل بالا بودن عملکرد دانه در تیمار آبیاری براساس ۹۰ درصد ظرفیت زراعی، برتری آن از نظر عملکرد روغن نیز دور از انتظار نیست. گوکسوی و همکاران (Goksoy et al., 2004) نتایج مشابهی را درباره اثر معنی‌دار تنش کم آبی بر عملکرد روغن گلرنگ گزارش کردند. آن‌ها کاهش عملکرد دانه و درصد روغن در تیمار تنش آبی را علت این امر گزارش کردند. کاهش عملکرد روغن در شرایط تنش خشکی در گیاه کدوی پوست کاغذی توسط حمزه‌ئی و بابایی (Hamzei & Babaei, 2015) نیز گزارش شده است. نقش مثبت کشت مخلوط در بهبود عملکرد روغن در همه سطوح آبیاری مشهود بود، ولی اثر آن در سطح ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به مراتب بیشتر بود، به‌طوری‌که در سطوح ۹۰، ۶۰ و ۳۰ در صد ظرفیت زراعی، کشت مخلوط درون جوی نسبت به کشت خالص باعث بهبود ۱۵/۵، ۲۵/۵۶ و ۱۰۷/۵ در صدی عملکرد روغن شد. احتمالاً کشت مخلوط مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی با سایه‌اندازی روی بوته‌های کدو، منجر به کاهش تبخیر و تعرق شده و توانسته است، عملکرد روغن را نسبت به کشت خالص بهبود بخشد. برتری کشت مخلوط درون جوی نسبت به درون پشته می‌تواند به‌دلیل کاهش چشم‌گیر رقابت بین دو گونه‌ی کدو و آفتابگردان در زمان کشت درون جوی نسبت به کشت روی پشته باشد. چرا که زمانی‌که آفتابگردان بین بوته‌های کدو با فاصله ۲۰ سانتی‌متر در روی پشته کشت شده است، رقابت بین گونه‌ای به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته است.

محتوی پرولین: محتوای پرولین به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و الگوی کشت و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در الگوی کشت نشان داد که بیشترین محتوای پرولین (۱/۵۲۳ میگرومول بر گرم وزن تر برگ) مربوط به تیمار کشت خالص کدو تخم کاغذی با آبیاری براساس ۳۰ در صد ظرفیت زراعی آبیاری بود که با الگوی کشت مخلوط افزایشی

۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته با سطح آبیاری مشابه (۱/۳۶۱ میگرومول بر گرم وزن تر برگ) اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). کمترین مقادیر پرولین از سطح آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد که در این سطح بین الگوهای کشت مختلف از لحاظ محتوای پرولین اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). با توجه به نتایج به‌دست آمده از آزمایش طاهری (Taheri, 2011) و سیفی (Seyfi, 2014) می‌توان اظهار داشت که گیاه در مواجهه با تنش خشکی سعی در حفظ فشار اسمزی خود دارد و این کار را با افزایش اسمولیت‌هایی از جمله پرولین و قندهای محلول انجام می‌دهد که به حفظ فشار و تورژسانس سلول‌های گیاه کمک می‌کنند. محققان ذخیره پرولین را در سلول‌های گیاهی مربوط به مکانیسم‌های مقاومت به خشکی می‌دانند (Yin et al., 2009). سطوح بالای پرولین، گیاه را قادر می‌سازد تا پتانسیل آبی خود را پایین نگه دارد (Valliyodan & Nguyen, 2006). مقادیر بالای پرولین باعث کاهش میزان رادیکال های آزاد در پاسخ به تنش اسمزی گردیده و سبب بهبود عملکرد گیاه می‌شود. در بسیاری از تحقیقات معلوم گردید، که پرولین به‌عنوان یک اسمولیت با تنظیم بیوسنتز گیاهان باعث تعدیل تنش اکسایشی ناشی از رادیکال‌های آزاد می‌شود (Hong et al., 2003). افزایش پرولین در هنگام تنش، نشان‌دهنده نقش آن در تنظیم فشار اسمزی است (Ashraf & Foolad, 2007). افزایش محتوای پرولین در اثر تنش خشکی در کدوی پوست کاغذی (Rabbi Angurani et al., 2017)، بادام زمینی (Smith et al., 2002)، گندم (Hong-Bo et al., 2006) و چغندرقند (Monreal et al., 2007) گزارش شده است. در این تحقیق، کاهش محتوای پرولین در کشت مخلوط درون جوی در مقایسه با کشت مخلوط روی پشته و همچنین کشت خالص کدو مشاهد شد. اهمیت کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در کاهش محتوای پرولین در هر کدام از سطوح آبیاری می‌توانند به‌دلیل سایه‌اندازی آفتابگردان روی بوته‌های کدو باشد. چرا که وجود سایه آفتابگردان توانسته است هم میزان تبخیر از سطح خاک و هم میزان تعرق بوته‌های کدو را کاهش دهد و بنابراین، میزان آب در دسترس برای گیاه را افزایش دهد و گیاه کمتر با شرایط تنش زا و افزایش تولید پرولین روبرو گردد.

صفات مورد بررسی گیاه آفتابگردان

قطر طبق: قطر طبق به‌طور معنی‌داری ($p<0.01$) تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و الگوی کشت و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در الگوی کشت نشان داد که بیشترین قطر طبق (۳۳ سانتی‌متر) مربوط به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی با آبیاری براساس ۹۰ در صد ظرفیت زراعی آبیاری بود (جدول ۷). همچنین نتایج نشان داد در هر سه سطح آبیاری ۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی از لحاظ قطر طبق برتری معنی‌داری نسبت به الگوی روی پشته داشت (جدول ۷). در آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی، کشت خالص به‌طور معنی‌داری قطر طبق بیشتری از کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته داشت، ولی در آبیاری ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، اختلاف معنی‌داری بین دو الگوی کشت یاد شده از نظر قطر طبق وجود نداشت. اثر تنش خشکی بر کاهش قطر طبق توسط دیگر محققین نیز گزارش شده است. در شرایط آبیاری محدود، کمبود رطوبت قابل دسترس خاک موجب اختلال در فتوسنتز و عدم رشد کافی به همراه بیشتر شدن رقابت برای تخصیص مواد فتوسنتزی بین اندام‌های گیاه و در نهایت، کاهش اندام‌های زایشی (طبق) می‌شود (دانشیان و همکاران، ۲۰۰۵). قطر طبق از جمله صفاتی است که در تعیین تعداد دانه از مهم‌ترین اجزای عملکرد محسوب می شود (Vega et al., 2001). نتایج تحقیقات رشدی و رضادوست (Roshdi & Rezadost, 2005) بیانگر افزایش قطر طبق با افزایش مصرف آب بود. اثر اصلی تنش کم آبی در مرحله رشد رویشی، کاهش تعداد و اندازه برگ‌ها (کاهش فتوسنتز) است. ادامه تنش کم آبی، ریزش برگ‌های پایینی بوته را باعث می‌شود و در ادامه، تعداد زیادی از گلچه‌ها و سلول‌های زایشی آسیب دیده و از حجم و تعداد آن‌ها کاسته می‌شود، در چنین شرایطی قطر طبق و به تبع از آن تعداد دانه به طرز چشمگیری کاهش می‌یابد. اردم و همکاران (Erdem et al., 2006) کاهش معنی‌دار قطر طبق در شرایط تنش کم‌آبی در آفتابگردان را گزارش نمودند. گوکسوی و همکاران (Goksoy et al., 2004) نیز نتیجه گرفتند که تنش رطوبتی باعث کاهش معنی‌دار قطر طبق می‌شود. در رابطه با تأثیر تیمار الگوی کشت بر قطر طبق می‌توان اذعان داشت که با توجه به غالب بودن کانوپی کشت خالص آفتابگردان در مقایسه با کشت مخلوط، چنین به نظر می‌رسد که در کشت خالص آفتابگردان به‌دلیل افزایش رقابت درون گونه‌ای برای جذب نور، آب و مواد غذایی، انرژی کمتری برای تولید طبق وجود

داشته و قطر طبق نسبت به کشت مخلوط کاهش یافته است. از آنجایی‌که در کشت درون جوی رقابت بین بوته‌های آفتابگردان و کدو به مراتب کمتر از کشت مخلوط روی پشته بوده است، بنابراین طبیعی به نظر می‌رسد که قطر طبق در کشت مخلوط درون جوی نسبت به کشت روی پشته برتری داشته باشد. نتایج بررسی انجام شده روی کشت مخلوط آفتابگردان با لوبیا قرمز و کنجد (Koocheki et al., 2015) و آفتابگردان با گوار (Momen Keykha et al., 2018) نشان داد که با جابجایی از کشت خالص به سمت کشت مخلوط، میانگین قطر طبق در آفتابگردان افزایش پیدا کرد. نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر با نتایج مذکور هم‌خوانی دارد.

جدول ٦- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد بررسی در آفتابگردان

Table 6- Analysis of variance (mean of square) of sunflower studied traits

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	قطر طبق Head diameter	تعداد دانه در طبق Seed number per head	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	درصد روغن Oil percentage	پرولین Proline
بلوک Block	2	0.733^{ns}	15559^{ns}	16.75^{ns}	38338^{ns}	1.66^{ns}	0.004^{ns}
آبیاری Irrigation (A)	2	462^{**}	1132859^{**}	1342^{**}	7855473^{**}	98.91^{**}	12.80^{**}
خطای اصلی Main error	4	0.585	8783.5	7.17	24572	19.76	0.015
الگوی کشت Planting pattern (B)	2	87.59^{**}	258470^{**}	5.19^{ns}	14792809^{**}	1.74^{ns}	0.005^{ns}
A×B	4	6.89^{**}	21247^{**}	0.581^{ns}	$7740^{**}11$	0.063^{ns}	0.003^{ns}
خطای فرعی Sub error	12	0.943	3006.4	17.24	30629	11.58	0.009
ضریب تغییرات CV (%)	-	9.09	4.57	6.27	8.01	8.46	6.75

ns، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and **: non-significant and significant in the level of 5% and 1%, Respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین برهم‌کنش سطوح آبیاری و الگوی کاشت بر صفات مورد بررسی در آفتابگردان

Table 7-Mean comparisons for interaction effect of irrigation levels and planting patterns on sunflower studied traits

تیمار Treatment		قطر طبق Head diameter (cm)	تعداد دانه در طبق Seed number per head	عملکرد دانه Seed yield (kg ha^{-1})	پرولین Proline (µmol g^{-1} FW)
سطح آبیاری Irrigation level (FC)	الگوی کاشت Planting pattern				
90%	S	27.39^{c*}	1344.8^{c}	3986^{a}	0.211^{a}
	PS-R	29.70^{b}	1492.4^{b}	1804^{b}	0.215^{a}
	PS-F	33.00^{a}	1640^{a}	2095^{b}	0.208^{a}
60%	S	22.77^{b}	1098.8^{c}	2966^{a}	0.825^{a}
	PS-R	24.75^{b}	1213.6^{b}	1472^{c}	0.736^{b}
	PS-F	31.35^{a}	1574.4^{a}	1890^{b}	0.553^{c}
30%	S	15.51^{b}	754.4^{b}	1008^{a}	1.53^{a}
	PS-R	14.19^{b}	705.2^{b}	603^{c}	1.36^{ab}
	PS-F	18.81^{a}	951.2^{a}	832^{b}	1.12^{b}

S: کشت خالص آفتابگردان، PS-R: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته، PS-F: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی

S: Sunflower sole cropping, PS-R: 100% of pumpkin + 50% of sunflower on ridge, PS-F: 100% of pumpkin + 50% of sunflower in furrow

* حروف مشترک در هر ستون به‌صورت برش‌دهی دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن نیست.

* Column means with the same letter are not significantly different as slicing by Duncan test (p< 0.05)

تعداد دانه در طبق: اثرات ساده تیمارهای آبیاری و الگوی کشت و اثر متقابل آن‌ها (در سطح احتمال یک در صد) برای صفت

تعداد دانه در طبق معنی‌دار گردیدند (جدول ۶). در کلیه الگوهای کاشت، با افزایش شدت تنش خشکی، میزان این شاخص کاهش معنی‌داری نشان داد (جدول ۷). در همه سطوح آبیاری، الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی بالاترین میزان تعداد دانه در طبق را دارا بود. بیشترین تعداد دانه در طبق (۱۶۴۰) مربوط به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی با آبیاری بر اساس ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود و میزان این صفت در تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته‌ها با سطح آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی (۱۵۷۴) در رتبه بعدی قرار داشت (جدول ۷). کمترین مقدار این صفت نیز از تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته (۷۰۵) با آبیاری براساس ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد (جدول ۷). در آبیاری ۹۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، تعداد دانه در طبق در کشت خالص کمتر از الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته بود، ولی میزان این صفت در شرایط تنش شدید برای کشت خالص بیشتر بود. کم شدن تعداد دانه در طبق از کاهش مساحت طبق در اثر تنش و یا افزایش درصد پوکی دانه‌ها و یا اثر توأم هر دو حاصل می‌شود. در این تحقیق نیز قطر طبق به‌واسطه تنش خشکی کاهش یافت. مطابق با نتایج به‌دست آمده از این تحقیق گزارش شده است که تعداد دانه در طبق تحت تأثیر تنش خشکی از طریق کاهش مساحت طبق کاهش یافت (Seyahjani et al., 2009). کریم‌زاده اصل و همکاران (Karimzadeh Asl et al., 2003) نیز در آزمایش خود در آفتابگردان مشاهده نمودند که تعداد دانه در طبق تحت تأثیر دورهای آبیاری از طریق کاهش مساحت طبق کاهش یافت. وقوع تنش خشکی در مرحله گل‌دهی با آسیب رساندن به ساختارهای زایشی و عقیم نمودن گلچه‌ها، تعداد دانه‌های پر را کاهش می‌دهد، ولی بروز محدودیت آب در مرحله پر شدن دانه، فقط موجب عدم رسیدن مواد پرورده کافی به دانه‌ها می شود (Khomari et al., 2008). همچنین مطابق با نتایج به‌دست آمده از این تحقیق گزارش شده است که تعداد دانه در طبق در کشت مخلوط آفتابگردان و باقلا در مقایسه با کشت خالص آفتابگردان افزایش یافت (Rezaei Chiyaneh et al., 2015). احتمالاً دلیل بیشتر بودن تعداد دانه در طبق در الگوی کشت مخلوط این است که بوته‌های آفتابگردان رقابت درون گونه‌ای و برون گونه‌ای کمتری با یکدیگر و همچنین با بوته‌های باقلا داشته‌اند و در نتیجه، توانسته‌اند از منابع و عناصر غذایی به نحو مطلوب‌تری بهره‌برداری کنند و این امر در نهایت، سبب افزایش تعداد دانه در طبق شده است. تحقیقات در زمینه کشت مخلوط تأخیری ذرت و گندم نیز نشان داد اجزای عملکرد از جمله تعداد دانه در سنبله گندم به‌دلیل بهبود راندمان مصرف آب و مواد غذایی در کشت مخلوط تأخیری نسبت به کشت خالص به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Zhang et al., 2007).

وزن هزار دانه: اثر تیمار آبیاری در سطح احتمال یک درصد ($P<0.01$) برای وزن هزار دانه معنی‌دار گردید (جدول ۶). کاهش مقدار آب آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه گردید به‌گونه‌ای که بیشترین (۷۵/۲۴ گرم) و کمترین (۵۲/۴۴ گرم) مقدار این صفت به‌ترتیب مربوط به سطوح آبیاری ۹۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۸). اثر ساده تیمار الگوی کشت و اثر متقابل آبیاری در الگوی کشت برای این صفت معنی‌دار نگردید. مطابق با نتایج این تحقیق، کاهش وزن هزار دانه در اثر تنش خشکی در دو گیاه گلرنگ و آفتابگردان گزارش شده است (Kargar, 2013; Heidari & Karami, 2013). از مهم‌ترین دلایل کاهش در وزن گیاه در طول دوره تنش را می‌توان به اثرات سوء تنش بر رشد و فیزیولوژی گیاه شامل، رشد رویشی، سیستم فتوسنتزی، جذب عناصر غذایی و متابولیسم نیتروژن دانست. البته انتظار می‌رفت با کاهش تعداد دانه در طبق بذور درشت‌تر و سنگین‌تری حاصل گردد، ولی چنین روندی مشاهده نشد. به نظر می‌رسد تنش رطوبتی از طریق کاهش سطح برگ سبب کاهش هر دو صفت (وزن هزار دانه و تعداد دانه) گردید. احتمال دارد ادامه روند تنش خشکی روی انتقال جاری و مجدد مواد فتوسنتزی بوته‌ها تأثیر منفی گذاشته و در نهایت، مواد منتقل شده به دانه کاهش یافته و همین مسئله منجر به چروکیدگی و کاهش وزن دانه ها گردد. خماری و همکاران (Khomari et al., 2008) در مطالعات خود روی آفتابگردان، کاهش وزن هزار دانه را بر اثر بروز محدودیت آب مورد تأیید قرار داد که علت این امر تولید کمتر مواد فتوسنتزی تحت تأثیر تنش رطوبتی و نیمه پر ماندن دانه‌ها می‌باشد.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات ساده تیمارهای مورد بررسی بر برخی صفات آفتابگردان

Table 8- Mean comparisons for simple effect of studied treatments on some Sunflower traits

تیمار Treatment		وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	درصد روغن Oil percentage	پرولین Proline (μmol.g^{-1} FW)
آبیاری Irrigation (FC)	90%	75.24[a*]	43.16[a]	0.241[c]
	60%	71.44[b]	40.83[ab]	1.51[b]
	30%	52.44[c]	36.62[b]	2.62[a]
الگوی کاشت Planting pattern	S	65.61[a]	40.69[a]	1.46[a]
	PS-R	66.37[a]	40.11[a]	1.45[a]
	PS-F	67.13[a]	39.82[a]	1.46[a]

S: کشت خالص آفتابگردان، PS-R: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته، PS-F: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی

S: Sunflower sole cropping, PS-R: 100% of pumpkin + 50% of sunflower on ridge, PS-F: 100% of pumpkin + 50% of sunflower in furrow

* برای هر تیمار، حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن نیست.

* For each treatment, column means with the same letter are not significantly different by Duncan test ($p< 0.05$)

عملکرد دانه: این صفت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و الگوی کشت و اثر متقابل آن‌ها ($P<0.01$) قرار گرفت (جدول ۶). در تمام سطوح آبیاری، عملکرد دانه در کشت خالص به‌میزان قابل توجهی بیشتر از هردو الگوی کشت مخلوط بود (جدول ۷). این موضوع به‌دلیل تراکم بالاتر بوته آفتابگردان در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط بوده است. کاهش عملکرد کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در اثر کاهش تراکم کشت گیاه در مطالعات بسیاری گزارش شده است.

تنش خشکی منجر به کاهش چشم عملکرد دانه در کلیه الگوهای کشت مورد مطالعه شد (جدول ۷). مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در الگوی کشت نشان داد که بیشترین میانگین عملکرد دانه (۴۹۸۶ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار کشت خالص آفتابگردان و آبیاری براساس ۹۰ درصد ظرفیت زراعی آبیاری بود (جدول ۷). الگوی کشت مذکور در سطح آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی نیز برتری معنی‌داری نسبت به دو الگوی دیگر داشت. کمترین مقدار این صفت (۶۰۳ کیلوگرم در هکتار) از کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته با آبیاری براساس ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد. به نظر می‌رسد مصرف متعادل آب طی مراحل مختلف نمو از جمله گل‌دهی و دانه‌بندی منجر به بهبود عملکرد دانه آفتابگردان گردد. زیرا که طی این مراحل دو جزء مهم عملکرد دانه (تعداد دانه در طبق و وزن ۱۰۰ دانه) شکل می‌گیرد. در ضمن آبیاری کافی در مرحله رویشی باعث توسعه مطلوب سطح برگ‌ها و فتوسنتز گیاه می‌شود. مظاهری لقب و همکاران (Mazaheri Laghab et al., 2001) در این رابطه اظهار نمودند که رژیم آبیاری نا مطلوب ضمن کاهش سطح برگ‌ها و پیری زودرس آن‌ها باعث افت عملکرد دانه نیز گردید. البته برخی از محققان علت عمده افت عملکرد دانه در اثر تنش خشکی را کاهش فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد طی دوره پر شدن دانه می‌دانند. سیه‌جانی و همکاران (Seyahjani et al., 2009) در تحقیقی که جهت بررسی تأثیر تنش کمبود آب بر خصوصیات ریخت‌شناسی و عملکرد دانه آفتابگردان انجام دادند، گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری نرمال کمترین عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری تنش مشاهده شد. تنش کمبود آب منجر به کاهش شاخص سطح برگ و میزان فتوسنتز و نیز کاهش تعداد مخازن زایشی می‌شود از طرفی، تنش کمبود آب به‌واسطه‌ی کاهش دوره‌ی پر شدن دانه‌ها، اندازه دانه‌ها و کاهش وزن آن‌ها، افت عملکرد را به دنبال خواهد داشت (Gooding et al., 2003; Pierre et al., 2008). در موضعی مشابه کافی و رستمی (Kafi & Rostami, 2009) گزارش کردند کمبود آب در محیط رشد گلرنگ و بروز تنش خشکی باعث تغییر رنگ برگ‌ها، کم شدن دوام سطح برگ‌ها، کاهش اندازه گیاه و وزن خشک اندام‌ها، کاهش عملکرد و شاخص برداشت می‌شود.

درصد روغن: طبق نتایج تجزیه واریانس، تنها اثر تیمار آبیاری (در سطح احتمال یک درصد) برای این صفت معنی‌دار بود (جدول ۶). بیشترین درصد روغن (۴۳/۱۶ درصد) از تیمار آبیاری براساس ۹۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد که با تیمار ۶۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۸). همچنین کمترین درصد روغن

(۳۶/۶۲ درصد) از تیمار آبیاری براساس ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد. همچنین بین الگوهای کشت مختلف از لحاظ درصد روغن اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

پرولین: طبق نتایج تجزیه واریانس، تنها اثر تیمار آبیاری (در سطح احتمال یک درصد) برای این صفت معنی‌دار بود (جدول ۶). بیشترین محتوای پرولین (۲/۶۲۴ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) از تیمار آبیاری براساس ۳۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد که با تیمارهای ۶۰ و ۹۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۸). همچنین کمترین محتوای پرولین (۰/۲۴۰ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) از تیمار آبیاری براساس ۹۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با بررسی انجام شده بر روی میزان پرولین در آفتابگردان در شرایط تنش کمبود آب هم‌خوانی دارد (Asilan, 2015). تجمع پرولین سبب می شود که گیاه بتواند در دوره کوتاهی پس از رفع تنش، رشد خود را بازیابی کند. بنابراین در تنش‌های کوتاه‌مدت اثر مثبت و در تنش‌های درازمدت حتی تأثیر منفی بر عملکرد خواهد گذاشت، زیرا منابع نورساختی (فتوسنتزی) گیاه صرف فرآیندهایی غیر از پر شدن دانه منحرف می‌شود (Sanchez et al., 1998). براساس نظر دیکسیت و همکاران (Dixit et al., 2001) دلایل افزایش محتوای پرولین در شرایط تنش، احتمالاً با تولید رادیکال‌های آزاد و اشکال مختلف اکسیژن فعال در ارتباط است.

جدول ۹- میزان برابری نسبی زمین (LER) در الگوهای مختلف کشت کدو و آفتابگردان در سطوح مختلف تنش خشکی

Table 9- LER values in different planting patterns of pumpkin and sunflower as affected by drought stress

الگوی کاشت Planting pattern	سطح آبیاری Irrigation level (FC)								
	90%	60%	30%	90%	60%	30%	90%	60%	30%
	LER جزئی کدو Pumpkin partial LER			LER جزئی آفتابگردان Sunflower partial LER			LER کل Total LER		
PS-R	0.793c*	0.766c	1.24b	0.452c	0.496c	0.598b	1.24c	1.26c	1.83b
PS-F	1.16b	1.27b	2.14a	0.525bc	0.638b	0.825a	1.68b	1.90b	2.96a

PS-R: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته، PS-F: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی

PS-R: 100% of pumpkin + 50% of sunflower on ridge, PS-F: 100% of pumpkin + 50% of sunflower in furrow

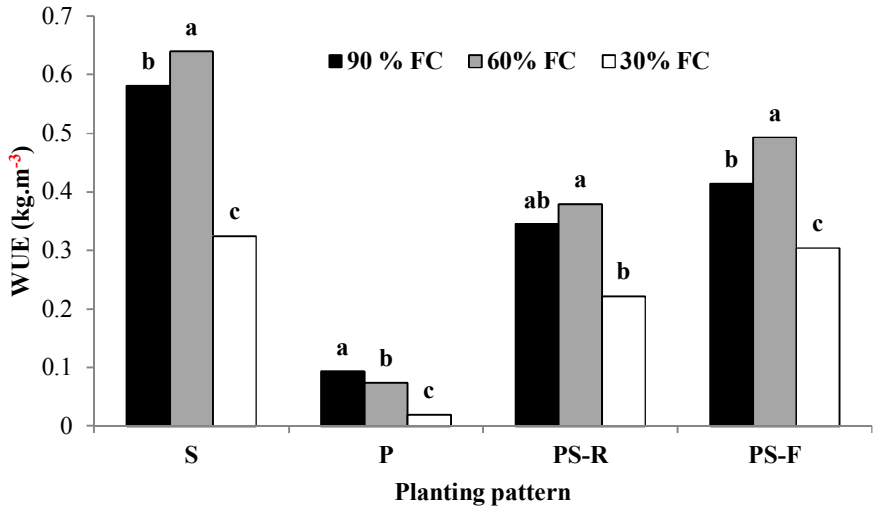
* برای هر گروه از LER، حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن نیست.

* For each LER type, column means with the same letter are not significantly different by Duncan test ($p< 0.05$)

نسبت برابری زمین: الگوهای مختلف کاشت در سطوح مختلف آبیاری به‌طور معنی‌داری ازنظر LER با هم تفاوت داشتند (جدول ۹). به‌طور کلی، کشت مخلوط افزایشی درون جوی از LER جزئی و کل بالاتری نسبت به کشت مخلوط روی پشته برخوردار بود (جدول ۹). بالاترین LER جزئی برای گیاه کدو (۲/۱۴) مربوط به کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی و آبیاری براساس ۳۰ درصد ظرفیت زراعی بود. این در حالی بود که بالاترین LER جزئی آفتابگردان (۰/۸۲۵) نیز از کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته‌ها و آبیاری براساس ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد. همان‌طورکه در جدول ۹ مشاهده می‌شود، LER کل در هر سه سطح آبیاری برای هر دو الگوی کشت بالاتر از یک بود که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی است. بهترین میزان LER کل مربوط به کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی و آبیاری براساس ۳۰ درصد ظرفیت زراعی با میزان ۲/۹۶ بود. این موضوع نشان‌دهنده این مطلب است که در شرایط تنش ۳۰٪ ظرفیت زراعی، عملکرد کدو در کشت خالص به‌شدت کاهش یافته، درحالی‌که عملکرد آن در کشت مخلوط به‌میزان کمتری کاهش یافته است، که این امر سبب کاهش مخرج کسر شده است. مقادیر LER کل در تمام سطوح آبیاری در الگوی کشت درون جوی برتری معنی‌داری از لحاظ آماری نسبت به الگوی کشت روی پشته داشت. کمترین مقادیر LER کل از سطوح آبیاری ۹۰ و ۶۰ در صد ظرفیت زراعی در الگوی کشت روی پشته به‌دست آمد (جدول ۹). سودمندی در کشت مخلوط سری‌های جایگزینی در LER>1 و در کشت مخلوط سری‌های افزایشی در LER>2 مشاهده می شود. براساس نتایج این آزمایش الگوی کشت مخلوط درون جوی نسبت به روی پشته بخصوص در سطح آبیاری

۳۰ در صد ظرفیت زراعی به نحو مطلوب‌تری از منابع و زمین ا ستفاده کرده‌اند و در نهایت، عملکرد بی‌شتری حا صل نموده‌اند. ن سبت برابری زمین، ارزیابی صـــحیحی از کارایی اســـتفاده از منابع بیولوژیک نظیر ت شعـ شع، عنا صر غذایی و آب در چند ک شتی ا ست (Ghosh et al., 2006). به‌علت تفاوت‌های زمانی و مکانی در صفات ر شد و گونه‌های مختلف زراعی، گیاهان در چند کشتی می‌توانند نسبت به تک کشتی، عناصـــر غذایی و آب را به نحو مطلوب‌تری از خاک جذب کنند (Zheng et al., 2003). محققین دیگر نیز افزایش نســـبت برابری زمین را در کشـــت مخلوط نســـبت به کشـــت خالص گزارش کرده‌اند (Koocheki et al., 2016; Tavassoli et al., 2010). تفاوت در ریشـــه‌دهی و ســـاختار کانوپی کدو با آفتابگردان و در نتیجه، ایجاد لایه‌های مختلف و اسـتفاده بهتر از منابع از جمله نور و مواد غذایی در عمق‌های مختلف خاک، می‌تواند دلیل نســـبت برابری زمین بزرگ‌تر باشد که نشان می‌دهد، در کشت مخلوط، کدو و آفتابگردان مکمل هم بوده‌اند. اختلافات مورفولوژیکی گیاهان و در نتیجه، ایجاد اشکوب‌های مختلف و استفاده مکملی از منابع، بهره‌برداری بهتر از آب و یا استفاده از آب در افق‌های مختلف خاک می‌تواند دلیل نســـبت برابری زمین بزرگ‌تر از یک، تحت شرایط تنش کم‌آبی باشد.

کارایی مصرف آب: در همه الگوهای کشت مورد بررسی به‌جز کشت خالص کدو بیشترین کارایی مصرف آب مربوط به سطح آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۲). همچنین کمترین مقدار صفت مذکور از ســـطح آبیاری ۳۰ درصـــد ظرفیت زراعی به‌دســـت آمد. به‌استثنای کشت خالص کدو، افزایش میزان تنش خشکی از ۶۰ به ۳۰ درصد ظرفیت زراعی در تمامی الگوهای کاشت باعث کاهش معنی‌دار این شاخص شد. این نتیجه بیانگر آن است که اگرچه تنش خشکی در خاک ممکن اسـت از طریق انسـداد روزنه‌ها، راندمان مصـرف آب را افزایش دهد، امّا باید توجه داشـــت که تنش بیش از حد، می‌تواند از طریق کاهش فتوسـنتز و تولید ماده خشـک، تأثیر معکوس بر راندمان م صرف آب دا شته با شد. بواترا و همکاران (Boutraa et al., 2010) تأثیر سه سطح رطوبتی شامل ۸۰، ۵۰ و ۳۰ در صد ظرفیت مزرعه‌ای را بر روی کارآیی مصـرف آب چهار رقم گندم در عربسـتان سـعودی مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که کارآیی مصرف آب تا ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای تحت تأثیر قرار نگرفت، امّا در تنش ۳۰ درصـــد ظرفیت مزرعه‌ای کارآیی مصـــرف آب کاهش یافت. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، کارایی مصرف آب کدوی تخم کاغذی پایین اســـت. دوره رشـــد نســـبتاً طولانی کدوی تخم کاغذی باعث می‌شـــود، میزان از دســـت رفتن آب نیز در طی همین دوره به مراتب بیشتر بوده و کارایی مصرف آب کاهش یابد (Khoramivafa et al., 2012). در هر صورت سیستم کشت مخلوط منجر به افزایش کارایی مصـرف آب نسـبت به کشـت خالص کدو شـد و در این بین کشـت مخلوط درون جوی از کارایی مصرف آب بالاتری در مقایسه با سیستم کشـت مخلوط روی پشـته برخوردار بود. الگوی کشـت مخلوط درون جوی در ســـطح ۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصـــد ظرفیت زراعی به‌ترتیب باعث بهبود ۱۴، ۲۰ و ۷۶ درصـدی کارایی مصـرف آب نسـبت به کشـت مخلوط روی پشته شد. در کشت مخلوط بادام زمینی با ارزن انگشتی، کارآیی مصرف آب افزایش یافت (Rankulatile et al., 1998)، ولی در کشـت مخلوط جو و ماشـک، عدم تأثیر کشـت مخلوط بر کارآیی مصـرف آب گزارش شـده اسـت (Mohsenabadi et al., 2008). به‌طور کلی، افزایش کارآیی مصـرف آب در کشـت مخلوط، به کاهش تبخیر از سطح خاک، به‌خاطر وجود پوشش بیشتر روی زمین نسبت به ک شت خالص، ن سبت داده شده ا ست. بعـ ضی از محققین عقیده دارند که بوم نظام‌هایی که دارای تنوع بیشـــتری هســـتند، از منابع محیطی مانند آب، با راندمان بهتری ا ستفاده می‌کنند (Walker & Ogindo, 2003). یافته‌های گائو و همکاران (Gao et al., 2009) نیز مؤید افزایش کارآیی م صرف آب، در ک شت مخلوط نواری گندم زم ستانه و ذرت می‌باشد. کانتون و دنت (Kanton & Dennett, 2004) بیشترین کارآیی مصـرف آب را در کشـت مخلوط ذرت و نخود در مقایسـه با کشـــت خالص آن‌ها گزارش کردند. همچنین نتایج روی و همکاران (Roy et al., 2014) نشـان داد که کارآیی مصـرف آب در کشـت مخلوط ذرت و ماش همانند نتایج این تحقیق در کشت مخلوط بیشتر است.



شکل ۲- میزان کارایی مصرف آب (WUE) در الگوهای مختلف کشت کدو و آفتابگردان در سطوح مختلف تنش خشکی

Fig. 2- WUE value as affected by planting pattern and irrigation level

S: کشت خالص آفتابگردان، P: کشت خالص کدو، PS-R: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته، PS-F: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی

S: Sunflower sole cropping, P: Pumpkin sole cropping, PS-R: 100% of pumpkin + 50% of sunflower on ridge, PS-F: 100% of pumpkin + 50% of sunflower in furrow

حروف مشترک در هر الگوی کشت به‌صورت برش‌دهی دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن نیست.

In each planting pattern, means with the same letter are not significantly different as slicing by Duncan test ($p< 0.05$)

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که کدو تخم کاغذی نسبت به تنش خشکی حساس بوده و کاهش آب مصرفی از حد ظرفیت زراعی، عملکرد این گیاه را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار می‌دهد. اضافه شدن آفتابگردان در وسط جوی در بین دو ردیف کدو منجر به کاهش اثرات منفی تنش خشکی روی کدو شد و این الگوی کاشت توانست به‌طور قابل توجهی عملکرد میوه و دانه کدو را در شرایط تنش متوسط و شدید بهبود بخشد. امّا اضافه شدن آفتابگردان در روی پشته و بین بوته های کدو به‌دلیل افزایش رقابت بین گونه‌ای اثر مثبت معنی‌داری در بهبود عملکرد کدو در شرایط تنش خشکی نداشت. بنابراین، می‌توان کشت مخلوط گیاهانی با ارتفاع بالا مانند آفتابگردان که باعث سایه‌اندازی بر کدو تخم کاغذی شده و از این طریق تبخیر و تعرق را کاهش می دهند، می تواند در فرار گیاه از تنش خشکی مفید بوده و قابل توصیه به کشاورزان باشد که البته این موضوع نیازمند مطالعات تکمیلی نیز می‌باشد.

References

Dixit, V., Pandey, V., and Shyam, R., 2001. Differential antioxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea. Journal of Experimental Botany 52: 1101-1109.

Erdem, T., Erdem, Y., Orta, A.H., and Okursoy, H., 2006. Use of a crop water stress index for scheduling the irrigation of sunflower (*Helianthus annuss* L.). Turkish Journal of Agriculture and Forestry 30: 11-20.

Ertek, A., Şensoy, S., Küçükyumuk, C., and Gedik, I., 2004. Irrigation frequency and amount affect yield components of summer squash (*Cucurbita pepo* L.). Agricultural Water Management 67(1): 63–76.

FAO., 2018. http://www.fao.org/faostat/en/#data.

Fu, C.L., Shi, H., and LI, Q.H., 2006. A review on pharmacological activities and utilization technologies of pumpkin. Plant Foods for Human Nutrition 61: 73-80.

Gao, Y., Duan, A., Sun, J., Li, F., Liu, Z., Liu, H., and Liu, Z., 2009. Crop coefficient and water-use efficiency of winter

wheat/spring maize strip intercropping. Field Crops Research 111: 65-73.

Ghanbari, A., Nadjafi, F., and Shabahang, J., 2007. Effects of irrigation regimes and row arrangement on yield, yield components and seed quality of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). Asian Journal of Plant Sciences 6: 1072-1079.

Gholami Kalus, Z., Salehi, A., Movahedi Dehnavi, M., and Moradi, A., 2018. Effect of mycorrhizal and phosphate barvar 2 on yield and yield components and oil content of safflower under drought stress. Agricultural Science and Sustainable Production 28: 125-139. (In Persian with English Summary)

Gholipoori, A., Javanshir, A., Rhaimzadeh Khoie, F., Mohammadi, A., and Biat, H., 200. The effect of different nitrogen level and pruning of head on yield and yield component of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). Journal of Agricultural and Natural Resources 13(2): 32-41.

Gitari, H.I., Gachene, C.K.K., Karanja, N.N., Kamau, S., Nyawade, S.O., and Schulte-Geldermann, E., 2018. Optimizing yield and economic returns of rain-fed potato (*Solanum tuberosum* L.) through water conservation under potato-legume intercropping systems. Agricultural Water Management 208: 59–66.

Goksoy, A.T., Demir, A.O., Turan, Z.M., and Dagustu, N., 2004. Responses of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. Field Crops Research 87: 167-178.

Gooding, M.J., Ellis, R.H., Shewry, P.R., and Schofield, J.D., 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on grain filling, drying and quality of water wheat. Journal of Cereal Science 37: 295-309.

Hadidi, N., Sharaiha, R., and Al-Debei H., 2011. Effect of intercropping on the performance of some summer vegetable crops grown under different row arrangements. Lucrări Ştiinţifice 54: 11-17

Hamzei, J., and Babaei, M., 2015. Effect of irrigation and nitrogen fertilizing on phenology, grain yield and oil of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) in Hamadan region. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 25(2): 1-13. (In Persian with English Summary)

Harveth, S., and Bedo, Z., 1998. Another possibility in treatment of hyperlipidaemia with peponen of natural active substance. Mediflora 89: 7-8.

Heidari, M., and Karami, V., 2013. Effects of water stress and different mycorrhiza species on grain yield, yield components, chlorophyll content and biochemical components of sunflower. Environmental Stress in Crop Science 6(1): 17-26. (In Persian with English Summary)

Hong, S.W., Kwon, S.J., Sohn, S.I., Kim, N.S., and Kim, J.C., 2003. Characterization of embryogenesis related Pbmyb genes during *in vitro* differentiation of *Pimpinella brachycarpa*. Korean Journal of Genetics 25(4): 293-300.

Hong-Bo, S., Xiao-Yan, C., Li-Ye, C., Xi-Ning, Z., Gang, W., Yong-Bing, Y., Chang-Xing Z., and Zan-Min, H., 2006. Investigation on the relationship of proline with wheat anti-drought under soil water deficits. Colloids and Surfaces 53: 113-119.

Kafi, M., and Rostami, M., 2009. Yield characteristic and oil content of three safflower (*Charthamus tinctorius*) cultivars under drought in reproductive stage and irrigation with saline water. Iranian Journal of Crops Research 5(1): 121-132. (In Persian with English Summary)

Kanton, R.A.L., and Dennett, M.D., 2004. Water uptake and use by morphologically contrasting maize/pea cultivars in sole and intercrops in temperate conditions. Experimental Agriculture 40: 201-214.

Kargar, F., 2013. The effect of drought stress and methanol foliar application on quantitative and qualitative characteristics of safflower. MSc. Thesis, in Agriculture. Faculty of Agriculture, Zabol University, Iran. (In Persian)

Karimzadeh Asl, K., Mazaheri, D., and Peyghambari, S.A., 2003. Effect of four irrigation intervals on the seed yield and quantitive characteristics of three sunflower cultivars. Iranian Journal of Agricultural Science 31(2): 293- 301. (In Persian with English Summary)

Khomari, S., Ghasemi Golezani, K., Alyari, H., Zehtab Salmasi, S., and Dabagh Mohamadi Nasab, A., 2008. Effect of irrigation disruption on phenology and grain yield of three sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars in Tabriz. Journal of Agricultural Science and Natural Resource 14(6): 72-80. (In Persian with English Summary)

Khoramivafa, M., Eftekharinasab, N., Sayyadian, K., and Najaphy, A., 2012. Water use efficiency in medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. var. styriac)/ chickpea (*Cicer arietinum* L.)- lentil (*Lens esculenta* Moench.) intercropping system associated with several nitrogen levels. Journal of Agroecology 3: 245-253. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Seyyedi, S.M., and Gharaei, S., 2016. Evaluation of the effects of saffron–cumin intercropping on growth, quality and land equivalent ratio under semi-arid conditions. Scientia Horticulturae 201: 190-198.

Koocheki, A., Zarghani, H., and Norooziyan, A., 2015. Comparison of yield and yield components in different intercropping arrangements of sunflower (*Helianthus annuus* L.), sesame (*Sesamum indicum* L.) and red bean

(*Phaseolus calcaratus*). Iranian Journal of Field Crops Research 14: 242-253. (In Persian with English Summary)

Lal, B., Rana, K.S., Rana, D.S., Shivay, Y.S., Sharma, D.K., Meena, B.P., and Priyanka, G., 2019. Biomass, yield, quality and moisture use of *Brassica carinata* as influenced by intercropping with chickpea under semiarid tropics. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 18: 61-71.

Malik, V.S., Swanton, C.J., and Michaels, T.E., 2003. Interaction of white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars, row spacing, and seeding density with annual weeds. Weed Science 8: 62-68.

Mazaheri Laghab, H., Noori, F., Zare Abianeh, H., and Vafaie, M.H., 2001. Effect of supplementary irrigation on important agronomic traits of three sunflower cultivars in rainfed agriculture. Agricultural Research 3(1): 31-44. (In Persian with English Summary)

Mirzaei, F., Behdani, M.A., and Jamialahmadi, M., 2018. Effects of granular sulphur and planting date on yield and yield components of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 34: 820-835. (In Persian with English Summary)

Mohsenabadi, G.H.R., Jahansooz, M.R., Chaichi, M.R., Rahimian Mashhadi, H., Liaghati, A.M., and Savaghebi, G.R., 2008. Evaluation of barley-vetch intercrop at different nitrogen rates. Journal of Agriculture Science Technology 10: 23-31.

Momen Keykha, M., Khammari, I., Dahmardeh, M., and Forouzandeh, M., 2018. Assessing yield and physiological aspects of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.) intercropping under different levels of nitrogen. Journal of Agroecology 9: 1050-1069. (In Persian with English Summary)

Momen, A., Ghorbani, R., Nassiri Mahallati, M., Asadi G., and Parsa M., 2015. Evaluation the effects of relay intercropping of Styrian pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) with irrigated and rainfed chickpea (*Cicer arietimum* L.) on yield and yield components as affected by chickpea residue mulch. Journal of Agroecology 6(4): 767-778. (In Persian with English Summary)

Monreal, J.A., Jimenez, E.T., Remesal, E., Morillo-velarde, R., Garcia-Maurino, S., and Echevarria, C., 2007. Proline content of sugar beet storage roots, response to water deficit and nitrogen fertilization at field conditions. Environmental and Experimental Botany 60: 257-267.

Moradi, P., Asghari, J., Mohsen Abadi, G.H., and Samiezadeh, H., 2014. Evaluation of the beneficial effects of triple intercropping of maize (*Zea mays* L.), pinto been (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Crop Production and Processing 6(19): 177-189. (In Persian with English Summary)

Moradi, P., Asghari, J., Mohsen Abadi, G., and Samiezadeh, H., 2015. Role of triple intercropping system in weeds control and naked-pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) yield**.** Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 24(4): 17-31. (In Persian with English Summary)

Moradi, R., Koocheki, A., and Nasiri Mahallati, M., 2017. Evaluation of economical yield and radiation use efficiency of maize and cotton in sole and intercropping systems as affected by different levels of nitrogen. Journal of Crop Production and Processing 7: 47-59.

Morid Ahmadi, S., Khorramdel, S., Koocheki, A., Shabahang, J., and Maollafilabi, A., 2018. Evaluation of yield and yield components of pumpkin (*Cucrbita pepo* L.) and land equivalent ratio affected as row intercropping with some field crops. Journal of Agroecology 10: 965-981. (In Persian with English Summary)

Nerson, H., 2005. Effects of fruit shape and plant density on seed yield and quality of squash. Scientia Horticulturae 105: 293–304.

Nyawade, Sh.O., Karanja, N.N., Gachene, Ch.K.K., Gitari, H.I., Schulte-Geldermann, E., and Parker, M.L., 2019. Intercropping optimizes soil temperature and increases crop water productivity and radiation use efficiency of rainfed potato. American Journal of Potato Research 96: 457–471.

Pierre, C., Petersona, S., Rossa, J., Ohma, A., Verhoerena, J., Larsona, M., and Hoefera, B., 2008. White wheat grain quality changes with genotype, nitrogen fertilization, and water stress. Agronmy Science 33: 414-420.

Pinedo-Vasquez, M., Padoch, C., McGrath, D., and Ximenes, T., 2010. Biodiversity as a product of smallholders' strategies for overcoming changes in their natural and social landscapes: A report prepared by the unu/plecamazonia cluster. PLEC News and Views. Available at: https://archive.unu.edu/env/plec/books/Brazil.

Poggio, S.L., 2005. Structure of weed communities occurring in monoculture and intercropping of field pea and barley. Agriculture, Ecosystems and Environment 109: 48–58.

Rabbi Angurani, H., Panahendeh Yengejeh, J., Boland Nazar, S., Saba, J., and Zare Nahandi, F., 2017. Effects of salicylic acid on some physiological and biochemical attributes of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. var. Styriaca) under

drought stress. Crops Improvement 19(4): 865-853. (In Persian with English Summary)

Rankulatile, H., Homma, K., Horie, T., Kurusa T. and Inamura, T., 1998. Land equivalent ratio of groundnut-finger millet intercrops as affected by plant combination ratio, and nitrogen and water availability. Plant Production Science 1(1): 39-46.

Rezaei Chiyaneh, E., Khorramdel, S., and Garachali, P., 2015. Evaluation of relay intercropping of sunflower and faba bean on their yield and land use efficiency. Journal of crops Improvement 17(1): 183-196. (In Persian with English Summary)

Roshdi, M., and Rezadost, S., 2005. Investigation of the effect of different levels of irrigation on quantitative and qualitative characteristics of sunflower cultivars. Iranian Journal of Agricultural Science 36(5): 1241-1250.

Roy, S., Barman, M., Puste, A.M., Gunri, S.K., and Jana, K., 2014. Growth, yield, water use efficiency and competitive functions of intercropping system of maize (*Zea mays* L.) and mungbean (*Vigna radiate* L.) as influenced by irrigation. SAARC Journal of Agriculture 13(2): 94-107.

Sanchez, F.J., Manzanares, M., Andres, E.F., Ternorio, J.L., Ayerbe, L., and De Andres, E.F., 1998. Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. Field Crop Research 59: 225-235.

Seyahjani, A., Farhvash, F., Khorshidi Benam, M.B., and Sadeghi, A., 2010. Studying the effect of drought stress on yield and yield components of three sunflower cultivars. Environmental Stresses in Crop Science 3(1): 68-59. (In Persian with English Summary)

Seyfi, M., 2014. The effect of dehydration, salicylic acid and ascorbic acid stress on yield and oil content of squash (*Cucurbita pepo* L.). Master Thesis, in Agriculture. Faculty of Agriculture, Shahroud University of Technology, Iran. (In Persian)

Shabahang, J., Khorramdel, S., Asadi, G., Meerabai, A., and Nemati, H., 2010. The effects of intra and inter-row spaces and planting pattern on the yield components, seed and oil yield of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). Journal of Agroecology 2(3): 417-427. (In Persian with English Summary)

Siami, A., Heidari, R., and Dastpak, A., 2003. Assessment of lipid content and studying fatty acids in some varieties of *cucurbita* L.. Pajouhesh and Sazandegi 59: 16-19. (In Persian with English Summary)

Smith, B.N., Girija, C., and Swamy, P.M., 2002. Interactive effects of sodium chloride and calcium chloride on the accumulation of proline and glycine betaine in peanut (*Arachis hypogaea*). Environmental and Experimental Botany 47: 1-10.

Taheri, A., 2011. Investigation of some photosynthetic and physiological characteristics of four squash (*Cucurbita pepo* L.) under water stress. MSc. Thesis. Agriculture. Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran. (In Persian with English Summary)

Tavassoli, A. Ghanbari, A., Ahmadi, M.M., and Heydari, M., 2010. The effect of fertilizer and manure on forage and grain yield of and bean in intercropping. Iranian Journal of Agronomy Research 8(2): 96-114.

Valliyodan, B., and Nguyen, H.T., 2006. Understanding regulatory networks and engineering enhanced drought tolerance in plants. Current Opinion in Plant Biology 9: 1-7.

Vandermeer, J.H., 1990. Intercropping. In: Agroecology. Mc Graw– Hill publishing Co. p. 481-516.

Vega, C.R.C., Andrade, F.H., Sadras, V.O., Uhart, S.A., and Valentinuz, O.R., 2001. Seed number as a function of growth. A comparative study in soybean, sunflower and maize. Crop Science 40: 748-754.

Wagner, F.S., 2000. The health value of Styrian pumpkin-seed oil. Science and Fiction 40: 122-123.

Walker, S., and Ogindo, H.O., 2003. The water budget of rainfed maize and bean intercrop. Physics and Chemistry of the Earth 28: 919-926.

Weiss, E.A., 1983. Oilseed Crops. First Published by Long Man. London, pp. 31-99.

Yang, C., Huang, G., Chai, Q., and Luo, Z., 2011. Water use and yield of wheat/maize intercropping under alternate irrigation in the oasis field of northwest China. Field Crops Research 124: 426-432.

Yin, C.X., Pang, X., and Lei, Y., 2009. Populous from high altitude has more efficient protective mechanisms under water stress than from low altitude habitats: A study in greenhouse for cuttings. Physiologia Plantarum 137: 22-35.

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

Zhu, J.K., 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. Annual Reviews Plant Biology 53: 247-316.

Zimdahal, R.L., 1993. Fundamentals of Weed Science. Academic Prass, New York.

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 631-651

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۶۵۱-۶۳۱

Assessing the Comparative Advantage of Naked-Seeded Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) and Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Intercropping as affected by Drought Stress

M. Masumi[1], R. Moradi[2*], N. Pourghasemian[2] and M. Naghizadeh[3]
Submitted: 11-10-2020
Accepted: 19-12-2020

Masumi, M., Moradi, R., Pourghasemian, N., and Naghizadeh, M., 2022. Assessing the comparative advantage of naked-seeded pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.) intercropping as affected by drought stress. Journal of Agroecology 13(4):631-651.

Introduction

Limitation of water resources is one of the crucial factors that contributes to the decline in agricultural productivity (Zhang et al., 2012). Intercropping plays a pivotal role for increasing biodiversity, land use efficiency, nutrient and water use efficiencies, and enhanced ecological services. Intercropping could be one of the alternatives to address some of the associated obstacles with modern agriculture, including low yield, pest and pathogen infection, soil degradation and environmental deterioration, thereby promoting sustainable and productive agriculture. Naked-seeded pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) is an herbaceous, monoecious, annual plant of the Cucurbitaceae family (Lewis et al. 1997). The plant is economically and nutritionally important and cultivated for oil and medical purposes all over the globe. Several studies have reported the chemical composition and oil characteristics of the pumpkin seed from different origins and varieties (Kostalova et al., 2009). Summer squash is used for treating Helminth and reducing bad cholesterol. There is no official data about summer squash cultivation in Iran, but many Iranian farmers cultivate summer squash in marginal lands.Due to the importance of two species of naked-seeded pumpkin and sunflower and the lack of sufficient and documented information on intercropping of these two plants under drought stress, the present experiment was conducted to measure the potential of intercropping of these two plants and investigate their response to drought stress.

Materials and Methods

In order to evaluate the effect of different levels of irrigation and planting pattern on yield quantity and quality and water use efficiency (WUE) intercropped of pumpkin and sunflower, an experiment was conducted as the split-plot based on a randomized complete block design with three replications at experiment station of the Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman in 2019. The experimental treatments were irrigation levels (90, 60 and 30% of field capacity; FC) assigned to the main plot and planting patterns (sole cropping of pumpkin, sole cropping of sunflower, additive intercropping of 100% of pumpkin + 50% of sunflower

1- M.Sc. Student of Medicinal Plants, Department of Plant Productions, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.
2-Associate Professor, Department of Plant Productions, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.
3-Assistance Professor, Department of Plant Productions, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.
(*- Corresponding author Email: r.moradi@uk.ac.ir)
Doi:10.22067/agry.2020.20316.0

on ridge and additive intercropping of 100% of pumpkin + 50% of sunflower in furrow) as the subplot.

Results and discussion

The results showed that the highest fruit number, single fruit weight, fruit, seed and oil yields of pumpkin were obtained in additive intercropping of 100% of pumpkin + 50% of sunflower in furrow. With increasing drought stress level, the superiority of the furrow planting pattern relative to sole cropping was more evident for pumpkin. The largest head diameter (33 cm) and highest seed per head (1640) was found for additive intercropping of 100% of pumpkin + 50% of sunflower in furrow when irrigated with 90% of FC. In all irrigation levels, sunflower seed yield in sole cropping was significantly higher than both intercropping pattern due to its higher plant density. The maximum proline content for pumpkin (1.52 µmol g^{-1} FW) and sunflower (2.63 µmol g^{-1} FW) were observed at the two species sole cropping in severe drought stress condition. Land equivalent ratio (LER) was higher than one in all the irrigation levels and planting patterns. The highest value of WUE (0.64 kg m^{-3}) was related to additive intercropping of 100% of pumpkin + 50% of sunflower in furrow when irrigated with 60% of FC.

Conclusion

The results of this study illustrated that pumpkin is a sensitive plant to drought stress, and deviation of water availability from the field capacity significantly declines the yield. The addition of sunflower in the middle of the furrow between the two rows of pumpkin could reduce the negative effects of drought stress on the plant. This planting pattern could also significantly improve the fruit and seed yields of pumpkin in both moderate and severe stress conditions. However, the addition of sunflower on the ridge and between pumpkin plants had no significant positive effect on improving pumpkin yield under drought stress, due to increased interspecific competition. Therefore, pumpkin intercropping with high height plants such as sunflower, which causes a shading effect on pumpkin and reduces evapotranspiration, can be a useful strategy under drought.

Keywords: LER, Oil, Proline, WUE.

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 653-668

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۶۶۸-۶۵۳

مقاله پژوهشی

بررسی روابط بین نژادهای بومی گندم نان از خاستگاه‌های جغرافیایی سراسر ایران تحت شرایط آبیاری تکمیلی و دیم

حسین حاتم‌زاده[۱]، صابر گلکاری[۲*]، ایرج برنوسی[۳]، رضا محمدی[۴] و سوک وایندر سینگ[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۰

حاتم‌زاده، ح.، گلکاری، ص.، برنوسی، ا.، محمدی، ر.، و سینگ، س.، ۱۴۰۰. بررسی روابط بین نژادهای بومی گندم نان از خاستگاه‌های جغرافیایی سراسر ایران تحت شرایط آبیاری تکمیلی و دیم. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۴): ۶۶۸-۶۵۳.

چکیده:

در دهه‌های اخیر، تغییرات آب و هوایی پیش‌بینی خشکسالی‌ها را در هلال مدیترانه پیچیده کرده است. بنابراین، به منابع ژنتیکی بیشتری، جهت شناسایی لاین‌هایی با ژن‌های متحمل و سازگار به شرایط خشک، نیاز است. بدین منظور ۲۴۹ نژاد بومی گندم نان ایرانی از سراسر ایران گردآوری و در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ مطالعه شدند. داده‌های مربوط به صفات فنولوژیک، مورفولوژیک و فیزیولوژیک یادداشت‌برداری گردیدند. نتایج تجزیه واریانس مرکب نامتعادل و تجزیه چند متغیره به‌ترتیب در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم، وجود اختلافات معنی‌داری را بین ژنوتیپ‌ها با خاستگاه‌های جغرافیایی مختلف از نظر ویلک لمبدا (۰/۶۹، ۰/۳۹)، اثر پیلای (۰/۳۳، ۰/۸۱)، اثر لاولی هتلینگ (۰/۴۱، ۱/۱)، بزرگ‌ترین ریشه روی (۰/۳۲، ۰/۵۷) برای همه صفات در سطح احتمال یک درصد نشان دادند. این حاکی از وجود تنوع بالا در جمعیت حاضر بود. هم‌چنین GT بای پلات‌ها آشکار کردند، نژادهای گندم جنوب هم زودرس و هم دارای پتانسیل عملکرد دانه بالا با سازگاری بیشتر به شرایط غیرقابل پیش‌بینی در محیط‌های نیمه خشک و محیط‌هایی با خشکی شدید بودند. یافته‌های ما نشان داد که تنوع کشف شده نقش مهمی را در توسعه ارقام جدید بازی می‌کند و می‌توان در برنامه‌های اصلاحی با هدف سازگاری به شرایط خشک به‌کار برده شوند. بنابراین، ضروری است تا دامنه وسیعی از استراتژی‌های اصلاحی را به خدمت بگیریم تا بتوانیم از تنوع حاضر در گندم نان سود ببریم، که منجر به توسعه و گسترش پایه ژنتیکی ارقام حاضر، و اصلاح ارقام جدید گندم با سازگاری بیشتر به شرایط دیم، خواهد شد.

واژه‌های کلیدی به‌نژادی، تجزیه بای پلات، ذخایر ژنتیکی

مقدمه:

اهمیت نژادهای بومی به‌عنوان منابع ژنتیکی سازگار با شرایط محلی تأکید شده است (Camacho Villa et al., 2005). در سال-های اخیر نژادهای بومی توسط سازمان‌های جهانی و مراکز پژوهشی از جمله سازمان جهانی غذا و کشاورزی[۶] و مرکز مشاوره در زمینه

۱- دانشجوی دکترای ژنتیک بیومتری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان شمالی، بجنورد، ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم شیروان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، ایران.
۲- دانشیار، بخش زیست شناسی سامانه‌ها، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، کرج، ایران.
۳- دانشیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
۴- دانشیار، بخش تحقیقات غلات، معاونت موسسه تحقیقات کشاورزی دیم، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، کرمانشاه، ایران.
۵- محقق گندم، برنامه منابع ژنتیکی، مرکز تحقیقات بین المللی گندم و ذرت (CIMMYT)
(*- نویسنده مسئول: Email: S.golkari@abrii.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v13i4.88501
۶- Food and agriculture organization

تحقیقات بین‌المللی کشاورزی[1] مورد توجه و حمایت قرار گرفته‌اند تا بتوانند ارقام جدید و برتری را به‌دلیل افزایش تهدید خشکی، آزاد نمایند. نژادهای بومی کمک می‌کنند تا راحت‌تر ترکیبات ژنتیکی مورد نیاز را برای تولید ژنوتیپ‌های جدید متحمل به تنش‌های زنده و غیر زنده در یک رقم گرد هم آوریم. این ضروری است تا درک درستی از تنوع ژنتیکی موجود در گندم‌های بدوی، گونه‌های وحشی و نژادهای بومی داشته باشیم. نگهداری و حفظ نژادهای بومی به همراه گونه‌های وحشی خویشاوند، باید یکی از الویت‌های استراتژی حفظ منابع طبیعی جهانی باقی بمانند، نژادهای بومی و گونه‌های وحشی خویشاوند می‌توانند پایه ژنتیکی بزرگی را در بلند مدت برای آینده فراهم و حفظ نمایند (Ortiz et al., 2008). یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد، توسعه و باروری در گیاهان زراعی عامل خشکی می‌باشد (Blum, 1997). یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی و یکی از اساسی‌ترین کالاها در بازار جهانی گندم می‌باشد (Curtis & Halford, 2014). بسیاری از مطالعات نشان دادند که تا سال ۲۰۵۰ تولید جهانی گندم باید به دو برابر برسد تا جوابگوی تقاضای رشد جمعیت باشد و ضروری است که الگوی خوراکی تغییر یابد و سوخت‌های زیستی مصرف شوند (Ray et al., 2013). برای اینکه کیفیت ژرم‌پلاسم حاضر را بر اساس صفات مورد نظر و مطلوب ارتقا دهیم نیاز به سطح مناسبی از تنوع ژنتیکی در مواد اصلاحی و ژرم‌پلاسم والدینی داریم که کمک به افزایش تولید و در نتیجه، بهبود تغذیه انسانی را به دنبال دارد (Singh et al., 1991). منابع ژرم‌پلاسم گیاهی به‌عنوان یک منبع غنی از تنوع ژنتیکی شناخته شده‌اند، این منابع دارای پایه ژنتیکی وسیعی برای تحقیقات ژنتیکی و اصلاحی هستند. امّا حفظ، ارزیابی و کاربرد منابع با ژرم‌پلاسم بزرگ دشوار است (Holden, 1984). بنابراین، ایجاد کلکسیون‌های کوچک‌تر (از منابع ژنتیکی وسیع، راهکاری مناسب برای کاربرد کاراتر و بهره‌گیری مؤثرتر از تنوع موجود در منابع ژنتیکی است (Van Hintum et al., 2000; Zhang et al., 2011). یکی از روش‌های کلاسیک برای برآورد تنوع ژنتیکی، که مهم و سودبخش هستند، پروسه‌های آماری چند متغیره می‌باشند که تنوع ژنتیکی و ارتباطات ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها را با استفاده از شاخص‌های شباهت و عدم شباهت از نظر صفات تحت مطالعه تعیین می‌کنند (Mead et al., 2002; Nogueira et al., 2014; Ajmal et al., 2013). چنین پروسه‌هایی می‌توانند هم‌زمان چندین اندازه‌گیری در هر فرد را تجزیه نمایند و بدون نیاز به داشتن اطلاعاتی از پیشینه ژرم‌پلاسم، آن را گروه‌بندی کنند (Ogunbodede, 1997; Mohammadi & Prasanna, 2003). ارزیابی موفقیت‌آمیز تنوع صفات مورفولوژیکی و آگرونومی در نژادهای گندم ایرانی جمع‌آوری شده از سراسر کشور و کاربرد تجزیه‌های چند متغیره می‌توانند اطلاعات سودبخشی را آشکار کنند که اجازه استفاده مؤثر نژادهای بومی گندم را در برنامه‌های اصلاحی می‌دهد. بنابراین، هدف اصلی این مطالعه (۱) برآورد تنوع فنوتیپی داخل کلکسیون نژادهای بومی گندم ایرانی به‌منظور ارزیابی ارتباطات بین نژادهای گندم که از نواحی جغرافیایی متفاوت به‌دست امده بودند. (۲) به‌دست آوردن اطلاعاتی از صفات مهم که بتوانند در برنامه‌های اصلاحی برای تولید ارقام جدید با سازگاری بالا برای شرایط تنش خشکی استفاده شوند.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و پیاده‌سازی آزمایش

کلکسیونی از ۲۴۹ نژاد بومی گندم ایرانی (جدول تکمیلی ۱) از شش خاستگاه جغرافیایی ایران از مرکز بین‌المللی اصلاح گندم و ذرت[2] گرفته شد. آزمایش تحت شرایط آبیاری تکمیلی و دیم به‌صورت مشاهده‌ای در سال ۹۶- ۱۳۹۵ پیاده شد (آبیاری دوبار در اوایل سنبله‌دهی و نیمه رسیدن انجام گردید). بعضی نژادها در طی آزمایش از بین رفتند بنابراین، تعداد نژادهای تحت بررسی کمتر از ۲۴۹ نژاد در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم گردید. خاستگاه‌های جغرافیایی شامل شرق ایران (۵۰ نژاد گندم در شرایط آبیاری تکمیلی و ۵۴ نژاد در شرایط دیم)، غرب (۴۸ نژاد در آبیاری تکمیلی و ۲۴ نژاد در دیم)، میانه ایران (۲۷ نژاد در آبیاری تکمیلی و ۳۱ نژاد در دیم)، جنوب (۲۱ نژاد در آبیاری تکمیلی و ۲۰ نژاد در دیم) و شمال ایران (۲۶ نژاد گندم در هر دو شرایط) به همراه یک خاستگاه ناشناخته (۴۰ نژاد در آبیاری تکمیلی و ۴۹ نژاد گندم در دیم) بودند. کلکسیون جمع‌آوری شده در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرارود کرمانشاه (34° 19′N, 47° 17′E; 1351 m a.s.l) با کمترین و بیشترین دما سالیانه °C ۲۰ و °C ۴۵ ارزیابی شدند. این ایستگاه نماینده برنامه‌های اصلاحی دیم در مناطق

1- Consultative Group on International Agricultural Research centers (CGIAR)

2- International Maize and Wheat Improvement Center

معتدل و معتدل سرد می‌باشد. براساس داده‌های بلندمدت تعداد روزهای یخزدگی ۶۰ تا ۱۰۰ روز می‌باشد و میزان بارش ۴۲۵ میلی‌متر می‌باشد که ۹۰٪ آن باران و ۱۰٪ آن برف است. بذور در پلات‌های دو خطی با دو متر طول و فاصله ردیف ۲۰ سانتیمتر در یک آزمایش بدون تکرار به‌صورت مشاهده‌ای کشت شدند. میزان کود مصرفی ۵۰ کیلوگرم نیتروژن و سوپرفسفات تریپل در هر هکتار در زمان کاشت بر اساس تجزیه خاک اعمال گردید. علف‌های هرز به‌وسیله وجین دستی کنترل شدند. صفات یادداشت‌برداری شده شامل تعداد روز تا سنبله‌دهی[1]، تعداد روز تا رسیدن[2]، ارتفاع بوته[3]، طول پدانکل[4]، محتوای آب نسبی[5]، تعداد دانه در هر سنبله[6]، وزن هزار دانه[7]، شاخص برداشت[8] و عملکرد دانه[9] بودند.

تجزیه‌های آماری

داده‌های آزمایش مشاهده‌ای بر اساس تجزیه واریانس مرکب نامتعادل آنالیز شدند. دو محیط آبیاری تکمیلی و دیم برای صفات اندازه‌گیری شده با آزمون تی دو هتلینگ[10] (Hotelling, 1931) مقایسه شدند. تجزیه چند متغیره (Rencher & Christensen, 2012) برای مقایسه خاستگاه‌های جغرافیایی در هر محیط به‌کار گرفته شد. میانگین (mean) و انحراف استاندارد (SD) در هر محیط جداگانه و داخل هر خاستگاه برای هر صفت در دو محیط محاسبه شد. آماره‌های میانگین و انحراف استاندارد، نژادهای گندم را به پنج گروه طبقه‌بندی می‌کنند (۱) بین میانگین و انحراف استاندار mean ± SD (۲) کمتر از میانگین منهای انحراف استاندارد mean –SD > (۳) بیشتر از میانگین به اضافه انحراف استاندارد mean + SD < (۴) کمتر از میانگین منهای دو انحراف استاندارد mean – 2SD > (۵) بیشتر از میانگین به اضافه دو انحراف استاندارد mean + 2SD <. تنوع فنوتیپی برای هر صفت با شاخص تنوع شانون (Shannon, 1948) برآورد گردید. این شاخص به‌صورت $H = -\sum_{i=1}^{N} Pi \ln Pi$ تعریف می‌شود. N: تعداد گروه‌های فنوتیپی، Pi: فراوانی نسبی i: مین گروه و ln: لگاریتم طبیعی می‌باشد. متوسط تنوع شانون برای k صفت به‌صورت: $H' = \sum_{i=1}^{k} Hi$ محاسبه شد. از شاخص شانون به‌طور گسترده در مطالعات ژنتیکی و اکولوژیکی در تنوع گونه‌ها و کلکسیون‌ها بهره گرفته شده است (Jaradat, 1992; Shakhatreh et al., 2010). تکنیک GT بای پلات توصیف شده توسط یان و راجکان (Yan & Rajcan, 2002) به‌کار گرفته شدند تا (۱) ارتباطات صفات داخل کلکسیون را مشخص نماییم (۲) مطالعه ارتباطات بین نژادها با خاستگاه‌های جغرافیایی متفاوت براساس ویژگی‌های نژادها. برآورد آماره تی دو هتلینگ و تجزیه چند متغیره به‌وسیله بسته‌های هتلینگ و مانوآ در نرم‌افزار آر ورژن ۳,۵,۲ صورت گرفت. از بسته جی جی ایی بای پلات در نرم‌افزار آر ورژن ۳,۵,۲ برای رسم GT بای پلات استفاده شد. تجزیه واریانس مرکب نامتعادل توسط نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام گردید.

نتایج و بحث

شرایط محیطی:

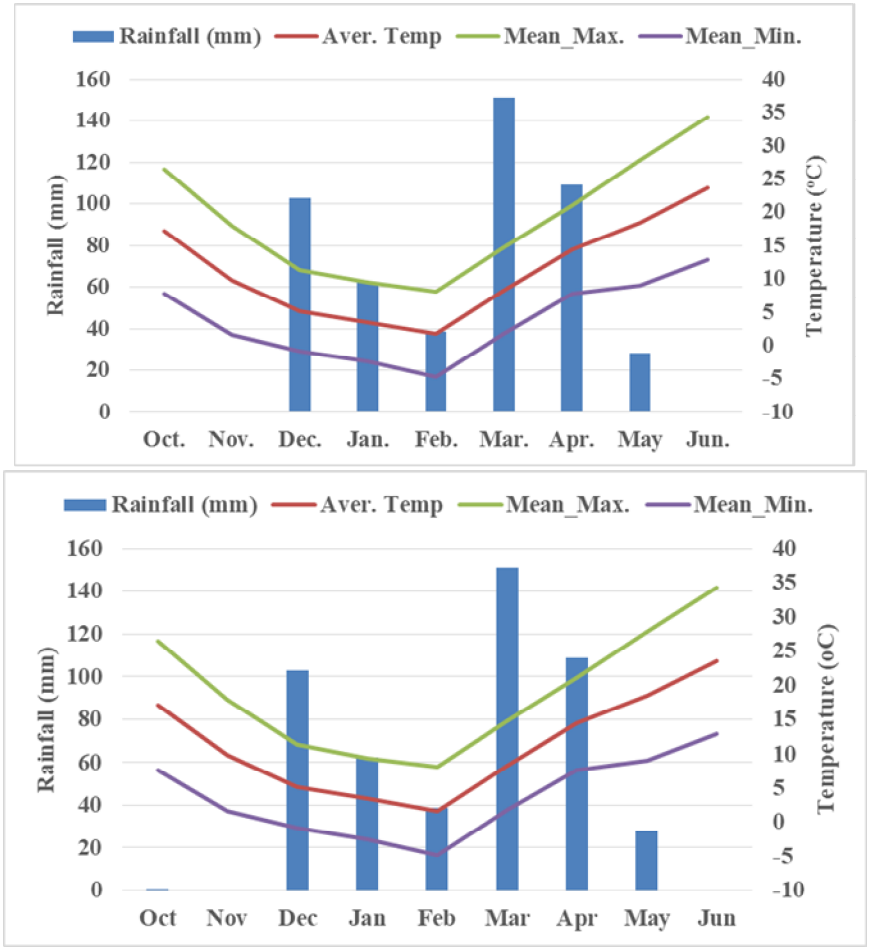
اولین بارش به‌میزان ۹/ ۱۰۲ میلی‌متر در اوایل دی ۱۳۹۵ (آخر دسامبر ۲۰۱۶) (شکل ۱) رخ داد. به‌دلیل بارش اندک و توزیع نامناسب آن در فصل زراعی ۹۶ –۱۳۹۵ گیاهان با زمستانی سرد و سخت و بهاری به‌شدت خشک روبرو شدند که نتیجه آن کاهش قابل ملاحظه عملکرد دانه در شرایط دیم بود. بارش و دما در محیط‌های مدیترانه‌ای به‌آسانی قابل پیش‌بینی نمی‌باشند. این منجر به شرایط محیطی ناپایدار در طی فصل رشد و اثر متقابل بیش از حد ژنوتیپ × محیط می‌شود (Mohammadi et al., 2011). از آنجا که شرایط محیطی ناپایدار سبب اثرات متقابل شدید ژنوتیپ × محیط می‌شود، یک ژنوتیپ ممکن است در یک محیط بهترین سازگاری را نشان دهد، ولی در محیطی دیگر، بدترین سازگاری را بروز دهد (William & Mackay, 1996).

تجزیه واریانس مرکب طرح کامل تصادفی نامتعادل و تجزیه چند متغیره

نتایج تجزیه واریانس مرکب طرح کامل تصادفی نامتعادل (جدول ۱) نشان داد که اختلافات معنی‌داری بین دو شرایط تحت بررسی در

1- Days to heading (DTH)
2- Days to maturity (DTM)
3- Plant height (PH)
4- Peduncle length (PL)
5- Relative water content (RWC)
6- Number of seed per spike (NSPS)
7- 1000 kernel weight (TKW)
8- Harvest index (HI)
9- Grain yield (GY)
10- Hotelling T square

سطح احتمال یک درصد برای صفات طول پدانکل (PL)، محتوای نسبی آب (RWC)، شاخص برداشت (HI) و عملکرد دانه (GY) وجود داشت. در واقع، وجود اختلافات معنی‌دار بین دو شرایط مطالعه شده (جدول ۱) انعکاس‌دهنده شرایط محیطی متفاوتی است که سبب می‌گردد، عملکرد و دیگر صفات، ویژگی‌های متفاوتی را بروز دهند (Falconer, 1981). نتایج نشان داد که اختلافات معنی‌داری بین شش خاستگاه جغرافیایی برای صفات تعداد روز تا سنبله‌دهی (DTH)، تعداد روز تا رسیدن (DTM)، تعداد دانه در هر سنبله (NSPS)، وزن هزار دانه (TKW) و عملکرد دانه (GY) در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد دیده شد (جدول ۱). این بدان معنی است که جمعیت حاضر تنوع بالایی داشته و از این تنوع می‌توان در برنامه‌های اصلاحی بهره برد. وجود ژنتیک در جمعیت‌های اصلاحی، نقش اساسی در موفقیت ارقام جدید اصلاح شده بازی می‌کند (Shukla et al., 2006). اثر متقابل شرایط × خاستگاه اختلافات معنی‌داری را نشان داد (جدول ۱). به‌عبارتی خاستگاه‌های جغرافیایی واکنش یکسانی در هر دو شرایط نداشتند. تجزیه‌های به‌کار برده شده در این مطالعه تنوع بالایی را بین نژادهای گندم تحت بررسی آشکار نمود. آگاهی از تنوع و وراثت‌پذیری، برای دستیابی به سود ژنتیکی از طریق گزینش، ضروری است (Vidya et al., 2002).



شکل ۱- بارش ماهانه (ستون‌ها)، میانگین، بیشینه و کمینه دما (خط‌ها) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرارود طی فصل کشاورزی ۹۶- ۱۳۹۵

Fig. 1- Monthly rainfall (bars) and mean, maximum, and minimum temperatures (lines) at the Sararood agriculture research station during cropping season 2016-17

جدول ۱- آنالیز واریانس (میانگین مربعات) صفات تحت بررسی در تجزیه واریانس مرکب طرح کامل تصادفی نامتعادل

Table 1- Analysis of variance (mean of squares) for investigated traits in analysis of unbalanced combined completely randomization design

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	روز تا سنبله‌دهی Days to heading	روز تا رسیدن Days to maturity	ارتفاع بوته Plant height	طول پدانکل Peduncle length	محتوای نسبی آب Relative water content	تعداد دانه در هر سنبله Number of seed per spike	وزن هزار دانه 1000-kernel weight	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Grain yield
شرایط Conditions (C)	1	79.00 ns	31.45 ns	342.67 ns	677.72 **	2983.83 **	110.3 ns	54.14 ns	402.74 **	110896.88 **
خاستگاه Origins (O)	5	269.88 *	68.67 *	536.30 ns	92.32 ns	63.06 ns	247.21*	236.87 *	189.93 ns	33672.03 **
C × O	5	52.09 *	9.12 ns	288.18 *	44.37 ns	44.73 ns	47.36 ns	24.09 ns	76.79 ns	1317.47 ns
خطا آزمایش Error	434	22.23	21.58	114.72	28.57	65.18	69.18	25.34	48.58	4671.23
ضریب تغییرات CV (%)		3.24	2.52	14.32	18.57	10.77	26.57	14.79	23.83	24.1

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

ns, ** and*: non-significant and significant at 1%, 5% level of probability, respectively.

تست تی دو هتلینگ (۱۶/ ۶۸۶) اختلافات معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بین دو شرایط آبیاری تکمیلی و دیم از نظر همه صفات روشن ساخت. تجزیه چند متغیره به‌ترتیب در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم، وجود اختلافات معنی‌داری را بین ژنوتیپ‌ها با خاستگاه‌های جغرافیایی مختلف از نظر ویلک لمبدا (۰/۶۹، ۰/۳۹)، اثر پیلای (۰/۳۳، ۰/۸۱)، اثر لاولی هتلینگ (۰/۴۱، ۱/۱)، بزرگ‌ترین ریشه روی (۰/۳۲، ۰/۵۷) برای همه صفات در سطح احتمال یک درصد نشان داد. از تجزیه‌های چند متغیره برای برآورد تنوع در کلکسیون‌ها و ژرم‌پلاسم‌ها بهره گرفته شد هم‌چنین آن‌ها استفاده شدند تا سهم مربوط به صفات در کل تنوع را، در کلکسیون‌ها مشخص نماییم (Bhatt, 1976; Broich & Palmer, 1980; Bartual et al., 1985; Ogunbodede, 1997; Ortiz et al., 1998; DeLacy et al., 2000; Dodig et al., 2012). نژادهای گندم که از خاستگاه‌های جغرافیایی متفاوتی مشتق شده بودند، دارای شباهت‌ها و تفاوت‌هایی از لحاظ صفات ارزیابی شده بودند.

کارایی نژادهای بومی در دو شرایط محیطی، شاخصی (جدول ۲) را معرفی کرد. این شاخص نشان داد که بیشتر از ۵۰٪ نژادهای بومی ارزیابی شده دارای شاخص برداشت (HI) و عملکرد دانه (GY) بالاتر از میانگین کلکسیون جمع‌آوری شده در هر دو شرایط آبیاری تکمیلی و دیم بودند (جدول ۲). این بدان معنی است که نژادهای گندم برتر، احتمال موفقیت بیشتری برای صفات تحت مطالعه در گزینش و برنامه‌های اصلاحی دارند. بعضی نژادها در هر دو شرایط زودرس بودند که می‌توانن از آن‌ها در تولید ارقام جدید زودرس سود جست. نتایج حاصله تنوع وسیعی را بین خاستگاه‌های جغرافیایی و نژادهای گندم برای صفات تحت بررسی ثابت کرد. به خاطر مزیت زودرسی تحت شرایط خشک، از شاخص کمتر از میانگین منهای انحراف استاندارد (< mean –SD) برای صفات فنولوژیک استفاده شد. از نظر صفات فنولوژیک در شرایط آبیاری تکمیلی ۴۳/۸۷ ٪ نژادهای گندم مقادیر کمتر از میانگین منهای انحراف استاندارد (< mean –SD) را نشان دادند و در دیم ۵۵/۵۶ ٪ نژادهای گندم مقادیر کمتر از میانگین منهای انحراف استاندارد (< mean –SD) را دارا بودند، یعنی نزدیک به نصف جمعیت زودرس بودند (جدول ۲).

فراوانی نژادهای بومی نشان داد که همه خاستگاه‌ها دارای نژادهایی با ارتفاع و طول پدانکل متوسط در هر خاستگاه تحت هر دو شرایط آبیاری تکمیلی و دیم بودند. به عبارتی آن‌ها در گروه یک جای گرفتند (بین میانگین و انحراف استاندار mean ± SD). باید توجه داشت که نژادهای بومی خاستگاه شمال بیشترین درصد گیاهان (۸۵٪) با ارتفاع متوسط را در مقایسه با دیگر خاستگاه‌ها در شرایط

دیم داشتند (جدول تکمیلی ۲). از نظر تعداد دانه در هر سنبله و وزن هزار دانه، نژادهای بومی شمال بیشترین درصد را دارا بودند که در گروه سوم در هر دو شرایط قرار گرفتند (آبیاری تکمیلی به‌ترتیب ۱۵٪ و ۱۹٪، دیم به‌ترتیب ۲۳٪ و ۱۵٪). این بیانگر این است که نژادهای خاستگاه شمال تعداد دانه و وزن دانه بیشتری از دیگر نژادها در خاستگاه‌های دیگر در دو شرایط محیطی داشتند (جدول تکمیلی ۲). درصد بالایی از نژادها مقادیر متوسطی برای شاخص برداشت و عملکرد دانه در همه خاستگاه‌ها در دو شرایط نشان دادند. تنها درصد اندکی از نژادهای خاستگاه شمال (۴٪) عملکرد دانه بسیار بالایی را در دیم نشان دادند. به عبارت دیگر، آن‌ها در گروه پنجم (mean + 2SD <) قرار گرفتند. البته نتایج، اختلافات کوچکی را در شرایط آبیاری تکمیلی نشان داد. علاوه‌بر نژادهای خاستگاه شمال، مشخص شده بود که درصد اندکی از نژادهای خاستگاه شرق (۲٪)، غرب (۴٪) و میانه ایران (۴٪) عملکرد دانه بسیار بالایی تحت آبیاری تکمیلی داشتند. فراوانی نژادهای گندم نشان داد که اصلاح برای ارتفاع بوته متوسط و مقادیر بالای تعداد دانه در هر سنبله (NSPS) و وزن هزار دانه (TKW) در گندم‌های مشتق شده از خاستگاه شمال تحت شرایط آبیاری تکمیلی و دیم موفق‌تر خواهند بود. هم‌چنین نژادهای گندم نان مربوط به خاستگاه‌های جنوب و میان ایران، نشان دادند به‌منظور بهره‌برداری از صفت زودرسی در هر دو شرایط آبیاری تکمیلی و دیم برای برنامه‌های اصلاحی مناسب‌تر هستند.

شاخص تنوع شانون برای صفات تحت مطالعه در شش خاستگاه محاسبه شد (جدول ۳). دامنه میانگین شاخص از ۰/۸۶ تا ۰/۹۸ در شرایط آبیاری تکمیلی و در شرایط دیم از ۰/۷۶ تا ۰/۹۳ بود. در شرایط آبیاری تکمیلی کمترین مقدار شاخص شانون برابر با ۰/۸۹ برای عملکرد دانه و بیشترین مقدار شاخص مربوط به تعداد دانه در هر سنبله برابر با ۰/۹۸ و میانگین کل آن ۰/۹۴ برآورد شد. صفت عملکرد دانه در شرایط دیم کمترین مقدار شاخص تنوع شانون ۰/۱۶ با میانگین کل ۰/۸۵ را نشان داد، شاخص تنوع شانون نشان داد که توزیع تنوع در شرایط خشک ناهماهنگ‌تر از شرایط آبیاری تکمیلی است. براساس گزارش‌ها، صفات گزینش شده اختلافاتی را نشان می‌دهند، که این اختلافات، بستگی به شرایط محیطی آن مکانی دارد که آن صفات گزینش شدند (Tambussi et al., 2005). داده‌های به‌دست آمده در شناسایی مناسب‌ترین نژادهای گندم برای پروژه‌های اصلاحی سودبخش خواهند بودند. نتایج به‌دست آمده، وجود تنوع گسترده‌ای را در بین خاستگاه‌های جغرافیایی و نژادهای گندم، برای صفات مطالعه شده ثابت کردند.

ارتباطات بین الگوهای تنوع و خاستگاه‌های جغرافیایی

به‌منظور روشن ساختن ارتباطات بین الگوی تنوع برای صفات بررسی شده و خاستگاه‌های جغرافیایی نژادهای گندم، GT بای‌پلات‌ها در هر محیط رسم شدند. گزارش‌ها حاکی از آن است که GT بای‌پلات‌ها به‌عنوان ابزار مفیدی برای تجسم داده‌ها استفاده می‌شوند تا ارتباطات بین صفات (Egesi et al., 2007; Fernandez-Aparicio et al., 2009) و ارتباطات بین نژادها (Dodig et al., 2012) را آشکار نمایند. بای‌پلت‌ها به‌وسیله داده‌هایی رسم می‌شوند که از دو مؤلفه نخست استخراج می‌شوند. بردارها از مرکز بای‌پلات به هر صفت به‌عنوان یک مارکر رسم می‌شوند تا تفسیر ارتباطات بین صفات بررسی شده را آسان نمایند. تنوع کل توجیح شده در شرایط آبیاری تکمیلی ۵۶/۵۴ ٪ و دیم ۴۳/۹۱ ٪ بود (شکل a ۲ و b ۲). یان و راج کان (Yan & Rajcan, 2002) نتیجه گرفتند که نسبت کم تنوع کل توجیح شده، نشان‌دهنده وجود پیچیدگی، در ارتباطات بین صفات می‌باشد. به‌طور کلی، الگوهای متفاوتی از همبستگی‌های صفات به‌استثنای صفات تعداد روز تا سنبله‌دهی (DTH) و تعداد روز تا رسیدن (DTM) تحت دو شرایط محیطی آشکار شد. این صفات به‌وسیله بردارهایی با زاویه تند نسبت به یکدیگر به تصویر کشیده شدند که حاکی از ارتباطات نزدیک آن‌هاست. در شرایط آبیاری تکمیلی صفات تعداد روز تا سنبله‌دهی (DTH) و تعداد روز تا رسیدن (DTM) زاویه بازی با صفات شاخص برداشت (HI)، عملکرد دانه (GY)، تعداد دانه در هر سنبله (NSPS) و وزن هزار دانه (TKW) را نشان دادند. به عبارتی، رابطه منفی بین صفات فنولوژیک و عملکرد دانه و اجزای آن وجود داشت. روند مشابهی در شرایط دیم مشاهده شد. چنین نتیجه‌ای توسط محمدی و امری (Mohammadi & Amri, 2013) گزارش شد. براساس صفات مطالعه شده، شرایط آبیاری تکمیلی تمایز بیشتری را در نژادهای گندم، در مقایسه با شرایط دیم قایل شد. به‌طوری‌که نژادهای گندم به‌طور متمایزتری توسط بای‌پلات، تحت شرایط آبیاری تکمیلی جدا شدند (شکل a ۲ و b ۲).

جدول ۲- درصد نژادهای گندمی که از میانگین کلکسیون برتر بودند و تعداد نژادهای گندمی که بیشتر از میانگین به اضافه دو انحراف استاندارد mean + 2SD و کمتر از میانگین منهای دو انحراف استاندارد mean – 2SD برای هرصفت، در دو شرایط مطالعه شده بودند

Table 2- Percentage of Iranian wheat landraces better than the core collection mean and number of the landraces better than the core collection mean + 2 s.d. (or mean – 2 s.d.), for each studied trait during two studied conditions

	آبیاری تکمیلی Supplemental irrigation		دیم Rain-Fed	
	%< mean	%< mean-2SD	%< mean	%< mean-2SD
روز تا سنبله‌دهی Days to heading	50.94	0.47	49.57	0.00
روز تا رسیدن Days to maturity	43.87	1.89	55.56	0.00

	آبیاری تکمیلی Supplemental irrigation		دیم Rain-Fed	
	%> mean	%> mean+2SD	%> mean	%> mean+2SD
ارتفاع بوته Plant height	56.13	0.47	53.42	2.14
طول پدانکل Peduncle length	52.83	2.36	51.71	2.56
محتوای نسبی آب Relative water content	50.00	1.89	58.97	3.85
تعداد دانه در هر سنبله Number of seed per spike	48.11	2.36	49.57	2.56
وزن هزار دانه 1000-kernel weight	47.17	3.30	49.57	1.28
شاخص برداشت Harvest index	57.08	0.00	55.13	2.99
عملکرد دانه Grain yield	51.42	2.36	50.43	2.99

درصد افراد کمتر از میانگین = mean >%، درصد افراد کمتر از میانگین منهای انحراف استاندارد= mean –SD <%، درصد افراد بیشتر از میانگین = mean <%، درصد افراد بیشتر از میانگین منهای انحراف استاندارد= – mean >% SD

Percentage of people below average =% <mean, percentage of people below average minus standard deviation =% <mean –SD, percentage of people above average =%> mean, percentage of people above average minus standard deviation =%> mean –SD

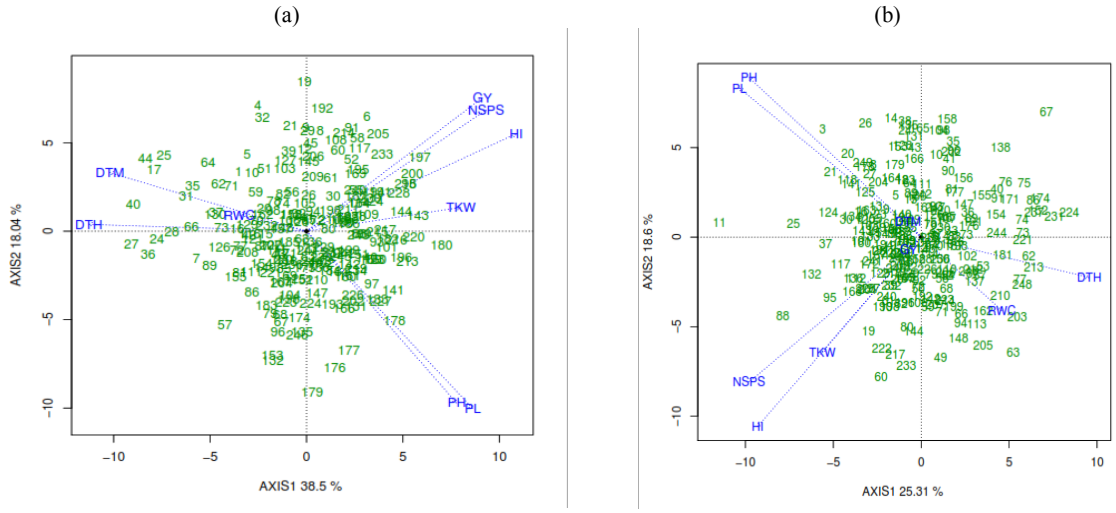
جدول ۳- شاخص تنوع شانون (H) برای نه صفت اندازه‌گیری شده در نژادهای بومی گندم نان در هر خاستگاه در شرایط آبیاری تکمیلی (IR) و دیم (RF)

Table 3- Shannon's diversity index (H) of nine characters of Iranian bread wheat landraces by origins under supplemental irrigation (IR) and rain-fed (RF) conditions separately

آبیاری تکمیلی Supplemental irrigation (IR)	شاخص شانون Shannon's diversity index (H)									
خاستگاه Origin	روز تا سنبله‌دهی Days to heading	روز تا رسیدن Days to maturity	ارتفاع بوته Plant height	طول پدانکل Peduncle length	محتوای نسبی آب Relative water content	تعداد دانه در هر سنبله Number of seed per spike	وزن هزار دانه 1000-kernel weight	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Grain yield	±میانگین خطای استاندارد Mean ± SE
ناشناخته Unknown	0.97	1.10	1.02	0.98	0.95	1.06	0.97	0.92	0.82	0.98 ± 0.03
شرق East	0.90	0.88	1.03	0.98	0.97	0.97	1.01	0.85	0.95	0.95 ± 0.02
غرب West	0.96	1.00	0.90	0.91	1.05	1.04	0.95	1.02	1.02	0.98 ± 0.02
میان Middle	0.99	0.93	0.94	0.87	1.01	0.94	0.85	0.87	0.99	0.93 ± 0.02
جنوب South	0.63	1.04	0.78	0.98	0.65	0.85	1.07	1.01	0.74	0.86 ± 0.06
شمال North	1.09	0.83	0.87	0.83	1.01	1.01	0.97	0.96	0.83	0.93 ± 0.03
میانگین Average	0.92	0.96	0.92	0.93	0.94	0.98	0.97	0.94	0.89	0.94 ± 0.01

Continue table 3. **ادامه جدول ۳**

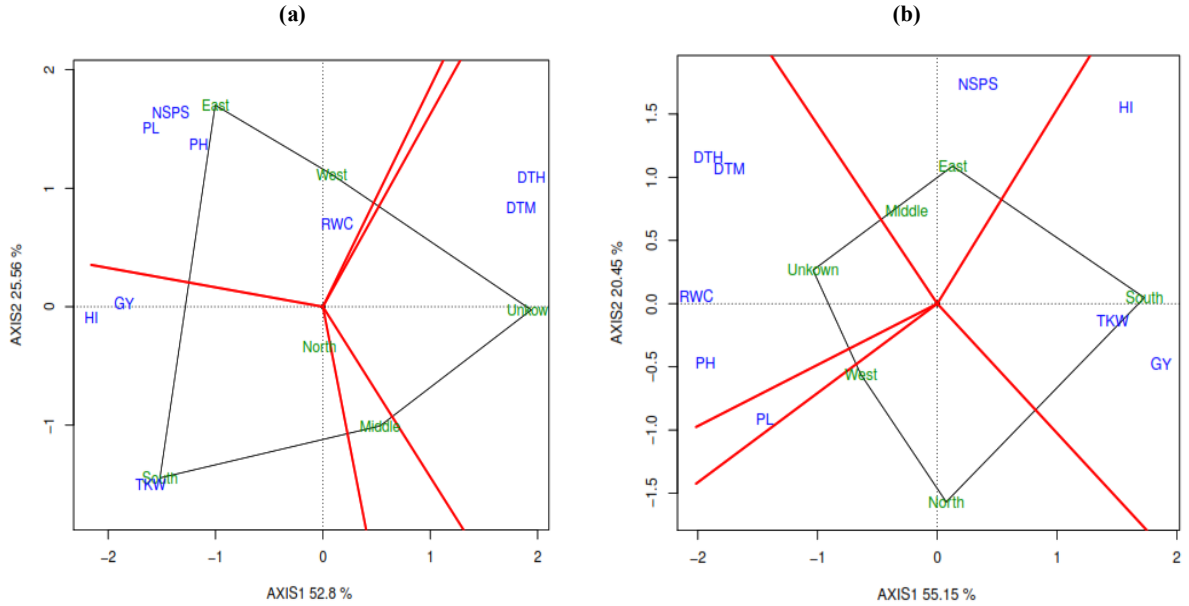
دیم Rain-fed (RF)	شاخص شانون Shannon's diversity index (H)									
خاستگاه Origin	روز تا سنبله‌دهی Days to heading	روز تا رسیدن Days to maturity	ارتفاع بوته Plant height	طول پدانکل Peduncle length	محتوای نسبی آب Relative water content	تعداد دانه در هر سنبله Number of seed per spike	وزن هزار دانه 1000–kernel weight	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Grain yield	میانگین ± خطای استاندارد Mean ± SE
ناشناخته Unknown	1.02	0.72	0.95	1.09	0.96	1.14	0.89	0.99	0.00	0.86 ± 0.11
شرق East	0.78	0.89	0.97	0.98	1.00	1.07	0.90	1.04	0.00	0.85 ± 0.11
غرب West	0.81	0.86	1.04	0.91	0.97	0.95	1.01	0.89	0.00	0.83 ± 0.11
میان Middle	0.89	1.08	0.96	0.98	0.96	0.91	0.89	0.98	0.00	0.85 ± 0.11
جنوب South	0.80	0.73	0.95	0.88	0.97	0.73	0.95	0.82	0.00	0.76 ± 0.10
شمال North	1.03	1.06	0.71	1.08	0.87	0.87	0.88	0.89	0.96	0.93 ± 0.04
میانگین Average	0.89	0.89	0.93	0.99	0.96	0.95	0.92	0.94	0.16	0.85 ± 0.08



شکل ۲- GT بای‌پلات برای ارتباطات بین صفات نژادهای گندم ایرانی تحت شرایط آبیاری تکمیلی (a) و دیم (b)

Fig. 2- GT-Biplot showing relationships among traits of Iranian bread wheat landraces under supplemental irrigation (a) and rain-fed (b) conditions

با استفاده از چند ضلعی می‌توان دید بهتری از صفات و خاستگاه‌های جغرافیایی مختلف در هر دو شرایط محیطی داشت (شکل ۳ a و ۳ b). تنوع کل توجیح شده توسط بای‌پلات به‌ترتیب در شرایط آبیاری تکمیلی و دیم به‌ترتیب ۷۸/۳۶ ٪ و ۷۵/۶۰ ٪ بود. بر اساس بای‌پلات (شکل ۳ a و ۳ b) نژادهای گندم با خاستگاه‌های مختلف در پنج گروه در هر دو شرایط محیطی توزیع شدند. در شرایط آبیاری تکمیلی، اولین گروه شامل نژادهایی از خاستگاه ناشناخته بودند که از مقادیر بالایی برای صفات فنولوژیک و مقادیر اندکی برای عملکرد دانه (GY)، شاخص برداشت (HI) و وزن هزار دانه (TKW) برخوردار بودند. این گروه به‌عنوان گروه دیررس در نظر گرفته شدند. گروه دوم شامل هیچ نژاد گندمی از هیچ خاستگاه نبود. گروه سوم شامل نژادهای گندمی از شرق و غرب ایران شد. این گروه مقادیر بالاتری را برای صفات مورفولوژیک از جمله ارتفاع بوته (PH)، تعداد دانه در هر سنبله (NSPS) و طول پدانکل (PL) دارا بود. نژادهای گندم از خاستگاه جنوب در چهارمین گروه قرار گرفتند. این گروه از مقادیر بالایی برای عملکرد دانه و اجزای آن برخوردار بودند. بنابراین، آن‌ها به‌عنوان منبعی برای عملکرد و اجزای عملکرد بالا شناخته شدند. آخرین گروه شامل نژادهایی از خاستگاه میانه ایران بودند که هیچ مشخصه قابل توجهی را نشان ندادند. (شکل ۳ a). در شرایط دیم، گروه نخست شامل نژادهایی از خاستگاه ناشناخته با مقادیر بالایی برای ارتفاع بوته (PH)، محتوای نسبی آب (RWC) و نیز صفات فنولوژیک بود. نژادهای گندم از خاستگاه‌های شرق و میانه ایران در گروه دوم قرار گرفتند، این گروه از مقادیر بالای تعداد دانه در هر سنبله (NSPS) برخوردار بودند. گروه سوم شامل نژادهایی از خاستگاه جنوب با عملکرد دانه (GY)، وزن هزار دانه (TKW) و شاخص برداشت (HI) بالاتر بودند. نژادهای خاستگاه غرب و شمال در گروه چهارم جای گرفتند که هیچ صفت قابل توجهی را نشان ندادند. گروه آخر شامل هیچ نژاد گندمی از هیچ خاستگاه نبود (شکل ۳ b). نژادهای خاستگاه جنوب از لحاظ عملکرد دانه (GY)، وزن هزار دانه (TKW) و شاخص برداشت (HI) در هر دو شرایط برتر بودند. بنابراین، آن‌ها به‌عنوان منبعی برای عملکرد دانه بالا و اجزای آن شناخته شدند. این بدان مفهوم است که آن‌ها سازگاری بیشتری به موقعیت‌های غیرقابل پیش‌بینی در شرایط نیمه خشک (آبیاری تکمیلی) و خشکی شدید (دیم) داشتند. اطلاعات به‌دست آمده در شناسایی مناسب‌ترین نژادهای بومی گندم برای استفاده در برنامه‌های اصلاحی، سودبخش خواهند بود.

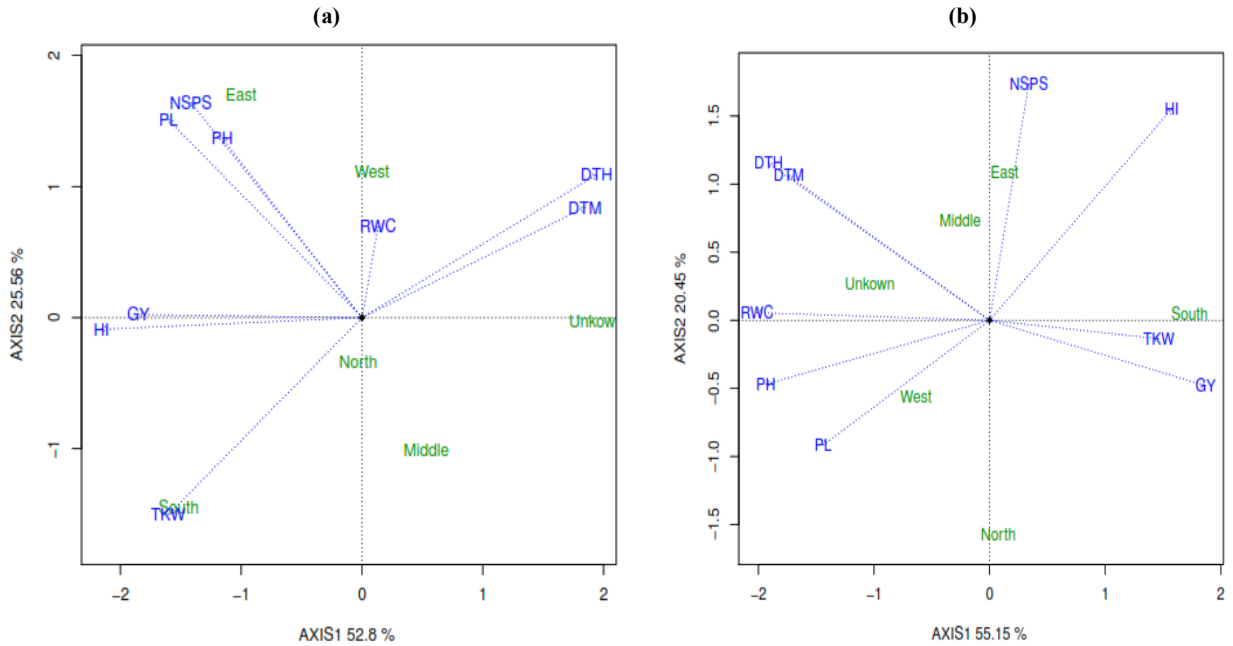


شکل ۳- الگوی کدوم، کجا برنده می‌شود برای نژادهای گندم نان ایرانی از خاستگاه‌های جغرافیایی مختلف براساس نه صفت بررسی شده تحت شرایط آبیاری تکمیلی (a) و دیم (b)

Fig. 3- Which wins where pattern of Iranian bread wheat landraces from different geographical origins based on 9 traits under supplemental Irrigation (a) rain-fed (b) conditions

GT بای‌پلات‌ها استفاده می‌شوند تا ارتباطات بین صفات اندازه‌گیری شده در نژادهای تحت بررسی را تفسیر و نشان دهند. همبستگی‌های مثبتی بین صفات فنولوژیک در هر دو شرایط آبیاری تکمیلی و دیم (شکل ۴ a و ۴ b) مشاهده شد. زاویه باز بین بردارها نشان داد که بین عملکرد دانه و اجزای آن با صفات فنولوژیک رابطه منفی وجود داشت (شکل ۴ a و ۴ b). فاصله بین ژنوتیپ و مرکز بای‌پلات حاکی از این است که چقدر یک ژنوتیپ، می‌تواند از میانگین ژنوتیپ‌ها یا از یک ژنوتیپ فرضی براساس صفات تحت مطالعه، متفاوت باشد (Yan & Fregeau-Reid, 2008). در این مطالعه نژادهای گندم از خاستگاه‌های شرق، غرب، ناشناخته، جنوب و میان ایران فاصله بلندی را تا مرکز بای‌پلات در مقایسه با نژادهای گندم خاستگاه شمال، تحت شرایط آبیاری تکمیلی نشان دادند (شکل ۴ a). در شرایط دیم، نژادهای خاستگاه جنوب و شمال دارای بیشترین فاصله از مرکز بای‌پلات بودند (شکل ۴ b). شرایط محیطی مانند آب و هوا و خاک اثرات حیاتی بر روی راندمان گیاه دارند یعنی شرایط رشدی گیاه و خاستگاه گیاه در عملکرد محصول مؤثرند و نژادهای گندم نیز از این قانون مستثنی نیستند (Belay et al., 1995; Tesemma et al., 1998). نتایج بای‌پلات اختلافات معنی‌داری را بین نژادهای گندم از خاستگاه جنوب و نژادهای دیگر از خاستگاه‌ها جغرافیایی دیگر، برای صفات عملکرد دانه (GY)، وزن هزار دانه (TKW) و شاخص برداشت (HI) در هر دو شرایط محیطی نشان داد.

نژادهای گندمی که از لحاظ سنبله‌دهی و رسیدگی زودرس بودند به‌عنوان نژادهای متحمل به شرایط کم آبی در مناطق نیمه خشک تشخیص داده شدند (Blum et al., 1989). در این مطالعه نژادهای خاستگاه جنوب، مراحل فنولوژیک کوتاه‌تری را در دو شرایط آبیاری تکمیلی و دیم دارا بودند (جدول ۴).



شکل ٤- ارتباطات بین صفات مطالعه شده در نژادهای گندم ایرانی از خاستگاه‌های جغرافیایی مختلف تحت شرایط آبیاری تکمیلی (a) و دیم (b)

Fig. 4- Relationships among studied traits based on Iranian wheat landraces from different geographical origins under supplemental Irrigation (a) rain-fed (b) conditions

جدول ٤- میانگین صفات در هر خاستگاه جغرافیایی تحت شرایط تکمیلی (IR) و دیم (RF)

Table 4- Mean traits in geographic origins separately under supplemental irrigation (IR) and rain-fed conditions (RF)

صفات Traits	ناشناخته Unknown		شرق East		غرب West		میان Middle	
	آبیاری تکمیلی IR	دیم RF	آبیاری تکمیلی IR	دیم RF	آبیاری تکمیلی IR	دیم RF	آبیاری تکمیلی IR	دیم RF
روز تا سنبله‌دهی Days to heading	148.23	147.00	144.00	146.00	146.35	145.72	144.41	146.23
روز تا رسیدن Days to maturity	186.30	184.63	184.84	184.04	184.96	184.48	185.78	185.10
ارتفاع بوته Plant height (cm)	70.73	75.14	79.19	74.84	76.23	76.60	74.05	72.15
طول پدانکل Peduncle length (cm)	27.88	27.48	32.13	27.85	30.97	28.39	28.99	26.31
محتوای نسبی آب Relative water content	78.99	74.03	78.42	71.11	77.65	73.25	76.52	72.72
تعداد دانه در هر سنبله Number of seed per spike	28.78	31.59	33.83	34.05	31.90	30.75	27.70	30.96
وزن هزار دانه 1000-kernel weight (g)	32.35	30.68	34.48	33.84	33.09	33.93	35.94	35.95
شاخص برداشت Harvest index	24.35	29.43	29.42	31.56	29.12	29.50	26.77	30.60
عملکرد دانه Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	2759.50	2612.56	3300.67	2691.70	2920.12	2683.66	3055.70	2535.56

صفات Traits	جنوب South		شمال North	
	آبیاری تکمیلی IR	دیم RF	آبیاری تکمیلی IR	دیم RF
روز تا سنبله‌دهی Days to heading	139.48	142.90	143.81	143.81
روز تا رسیدن Days to maturity	182.14	182.95	183.81	183.23
ارتفاع بوته Plant height (cm)	72.94	65.46	77.62	75.35
طول پدانکل Peduncle length (cm)	29.84	25.59	29.79	28.21
محتوای نسبی آب Relative water content	78.23	70.43	76.28	71.46
تعداد دانه در هر سنبله Number of seed per spike	30.84	31.65	29.64	30.04
وزن هزار دانه 1000-kernel weight (g)	38.19	35.68	35.14	34.66
شاخص برداشت Harvest index	31.84	31.73	28.22	29.06
عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})	3293.71	2893.00	2807.12	2692.59

نتیجه‌گیری

نژادهای گندم جنوب هم زودرس و هم دارای پتانسیل عملکرد دانه بالایی بودند. هم‌چنین سازگاری بیشتری به شرایط غیرقابل پیش‌بینی در محیط‌های نیمه خشک (آبیاری تکمیلی) و محیط‌هایی با خشکی شدید (دیم) نشان دادند. در این پژوهش ما نژادهای جمع‌آوری شده گندم را، از لحاظ تحمل به خشکی در دو شرایط آبیاری تکمیلی و دیم ارزیابی نمودیم و توانستیم نژادهایی که به شرایط خشک متحمل هستند، با توجه به خاستگاه‌های جغرافیایی متفاوت آن‌ها، تشخیص دهیم (جدول ۴). بای‌پلات‌ها مقایسه‌های بین نژادهای گندم و گزینش نژادهای برتر را را آسان ساختند. نتایج نشان دادند زودرسی به‌عنوان مهم‌ترین صفت فنولوژیک بر روی عملکرد دانه در هر دو شرایط اثر می‌گذارد. نژادهای گندم جنوب می‌توانند به‌عنوان منابعی با ارزش بالا برای استفاده در برنامه‌های اصلاحی معرفی شوند تا ارقام جدیدی، با عملکرد بالا تحت شرایط محیطی سخت غیرقابل پیش-بینی اصلاح و تولید کنیم. نژادهای بومی بررسی شده تنوع بالایی را برای صفات مهم از جمله عملکرد دانه (GY)، شاخص برداشت (HI) و وزن هزار دانه (TKW) و زودرسی نشان دادند که به احتمال زیاد یک بخشی از تنوع در نژادهای گندم می‌باشد. بنابراین، این پژوهش مشخص کرد دلایلی را، تا یک چنین منبع ژنتیکی با ارزش و با پتانسیل بالایی، نگهداشته و به‌کار گرفته شود. این ضروری است تا دامنه وسیعی از استراتژی‌های اصلاحی را به خدمت بگیریم تا بتوانیم از تنوع حاضر در گندم نان سود ببریم، که منجر به توسعه و گسترش پایه ژنتیکی ارقام حاضر، و اصلاح ارقام جدید گندم با سازگاری بیشتر به شرایط دیم، خواهد شد.

References

Ajmal, S.U., Minhas, N.M., Hamdani, A., Shakir, A., Zubair, M., and Ahmed, Z., 2013. Multivariate analysis of genetic divergence in wheat (*Triticum aestivum*) germplasm. Pakistan Journal of Botany 45: 1643-1648.

Bartual, R., Carbonell, E.A., and Green, D.E., 1985. Multivariate analysis of a collection of soybean cultivars for southeastern Spain. Euphytica 34: 113–123.

Belay, G., Tesemma, T., Bechere, E., and Mitiku, D., 1995. Natural and human selection for purple-grain tetraploid wheats in the Ethiopian highlands. Genetic Resources and Crop Evolution 42: 387–391.

Bhatt, E., 1976. An application of multivariate analysis to selection for quality characters in wheat. Australian Journal

of Agricultural Research 27: 11–18.

Broich, S.L., and Palmer, R.G., 1980. A cluster analysis of wild and domesticated soybean phenotypes. Euphytica 29: 23–32.

Blum, A., 1997. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. Plant Growth Regulation 20:135-148.

Blum, A., Golan, G., Mayer, J., Sinmena, B., Shpiler, L., and Burra, J., 1989. The drought response of landraces of wheat from the northern Negev desert in Israel. Euphytica 43: 87–96.

Curtis, T., and Halford, N.G., 2014. Food security: the challenge of increasing wheat yield and the importance of not compromising food safety. Annals of Applied Biology 164: 354-372.

Egesi, C.N., Ilona, P., Ogbe, F.O., Akoroda, M., and Dixon, A., 2007. Genetic variation and genotype × environment interaction for yield and other agronomic traits in cassava in Nigeria. Agronomy Journal 99: 1137–1142.

Falconer, D.S., 1981. Introduction to Quantitative Genetics. 2nd Edition. London: Longman Group Ltd., pp. 1-133.

Fernandez-Aparicio, M., Flores, F., and Rubiales, D., 2009. Field response of *Lathyrus cicera* germplasm to crenate broomrape (*Orobanche crenata*). Field Crops Research 113: 321–327.

Fisher Box, J., 1987. Guinness, gosset, fisher, and small samples. Statistical Science 2: 45–52.

Holden, J.H.W., 1984. The second ten years. In: Holden J.H.W., Williams J.T., (Eds.). Crop Genetic Resources: Conservation and Evaluation. London: George Allen and Unwin, pp. 177-185.

Hotelling, H., 1931. The generalization of student's ratio. Annals of Mathematical Statistics 2: 360–378.

Jaradat, A.A., 1992. Breeding potential of durum wheat landraces from Jordan. I. Phenotypic diversity. Hereditas 116: 301–304.

Mead, R., Curnow, R.N., and Hasted, A.M., 2002. Statistical methods in agriculture and experimental biology. 3rd edition. Texts in Statistical Science Series. London: Chapman and Hall/CRC, pp. 406–418.

Mohammadi, R., and Amri, A., 2013. Phenotypic diversity and relationships among a worldwide durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) germplasm collection under rainfed conditions of Iran. Crop and Pasture Science 64**:** 87–99.

Mohammadi, S.A., and Prasanna, B.M., 2003. Analysis of genetic diversity in crop plants—salient statistical tools and considerations. Crop Science 43: 1235–1248.

Mohammadi, R., Sadeghzadeh, D., Armion, M., and Amri, A., 2011. Evaluation of durum wheat experimental lines under different climate and water regime conditions of Iran. Crop and Pasture Science 62: 137–151.

Nogueira, A.M., Ferreira, M.F.S., Guilhen, J.H.S., and Ferreira, A., 2014. Multivariate analysis in a genetic divergence study of *Psidium guajava*. Genetics and Molecular Research: GMR 13: 10657-10668.

Ogunbodede, B.A., 1997. Multivariate analysis of genetic diversity in Kenaf, *Hibiscus cannabinus* (L.). African Crop Science Journal 5: 127–134.

Ortiz, R., Braun, H.J., Crossa, J., Crouch, J.H., Davenport, G., Dixon, J., Dreisigacker, S., Duveiller, E., Huerta-Espino, J., Joshi, A.K., Kishii, M., Kosina, P., Manes, Y., Mezzalama, M., Morgounov, A., Murakami, J., Nicol, J., Ortiz-Ferrara, G., Ortiz-Monasterio, J., Payne, T.S., Javier Peña, R., Reynolds, M.P., Sayre, K.D., Sharma, R.C., Singh, R.P., Wang, J., Warburton, M., Wu, H., and Iwanaga, M., 2008. Wheat genetic resources enhancement by the international maize and wheat improvement center (CIMMYT). Genetic Resources and Crop Evolution 55: 1095–1140.

Ortiz, R., Madsen, S., and Vuylsteke, D., 1998. Classification of African plantain landraces and banana cultivars using a phenotypic distance index of quantitative descriptors. Theoretical and Applied Genetics 96: 904–911.

Ray, D.K., Mueller, N.D., West, P.C., and Foley, J.A., 2013. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. PLOS ONE 8: e66428.

Rencher, A.C., and Christensen, W.F., 2012. Methods of Multivariate Analysis. 3rd edition. New Jersey, USA: John Wiley and Sons.

Shannon, C.E., 1948. A mathematical theory of communication. The Bell System Technical Journal 27: 379–423.

Shukla, S., Bhargava, A., Chatterjee, A., Srivastava, A., and Singh, S.P., 2006. Genotypic variability in vegetable amaranth (*Amaranthus tricolor* L.) for foliage yield and its contributing traits over successive cuttings and years. Euphytica 151: 103–110.

Singh, S.P., Nodari, R., and Gepts, P., 1991. Genetic diversity in cultivated common bean: I. Allozymes. Crop Science 31: 19–23.

Taehoon, K., 2015. T test as a parametric statistic. Korean Journal of Anesthesiology 68: 540–546.

Tambussi, E.A., Nogues, S., and Araus, J.L., 2005. Ear of durum wheat under water stress: Water relations and photosynthetic metabolism. Planta 221: 446–458.

Tesemma, T., Tsegaye, S., Belay, G., Bechere, E., and Mitiku, D., 1998. Stability of performance of tetraploid wheat landraces in the Ethiopian highland. Euphytica 102: 301–308.

Van Hintum, T.H.L.J., Brown, A.H.D., Spillane, C., and Hodgkin, T., 2000. Core collections of plant genetic resources. Ipgri Technical Bulletin 3: 1-48.

Vidya, C., Oommen, S.K., and Kumar, V., 2002. Genetic variability and heritability of yield and related characters in yard-long bean. Journal of Tropical Agriculture 40: 11–13.

Villa, T.C.C., Maxted, N., Scholten, M.A., and Ford-Lloyd, B.V., 2005. Defining and identifying crop landraces. Plant Genetic Resources 3: 373–384.

William, G.H., and Mackay, T.F.C., 2004. D.S. falconer and introduction to quantitative genetics. Genetics 167(4): 1529-1536.

Yan, W., and Rajcan, I., 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. Crop Science 42: 11–20.

Yan, W., and Frégeau-Reid, J., 2008. Breeding line selection based on multiple traits. Crop Science 48: 417–423.

Zhang, H., Zhang, D., Wang, M., Sun, J., Qi, Y., Li, J., Wei, X., Han, L., Qiu, Z., Tang, S., and Li, Z., 2011. A core collection and mini core collection of *Oryza sativa* L in China. Theoretical and Applied Genetics 122: 49–61.

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 653-668

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۶۶۸-۶۵۳

Study on Relationships among Bread Wheat Landraces from Geographical Origins across Iran under Supplemental Irrigation and Rain-Fed Conditions

H. Hatamzadeh[1], S. Golkari[2*], I. Bernousi[3], and R. Mohammadi[4] and S. W. Singh[5]

Submitted: 07-09-2020
Accepted: 30-12-2020

Hatamzadeh, H., Golkari, S., Bernousi, I., Mohammadi, R., and Singh, S. W., 2022. Study on relationships among bread wheat landraces from geographical origins across Iran under supplemental irrigation and rain-fed conditions. Journal of Agroecology 13(4):653-668.

Introduction

Wheat is one of the most important crops worldwide and one of the most essential commodity in the global market. Many studies showed that it is necessary to increase global wheat production double before 2050 in order to meet the growing demands of the population, changing diets and consuming biofuels. In recent decades, climate changes have complicated the prediction of drought frequency and extent in the Mediterranean Basins. Therefore, more genetic sources are needed to identify lines carrying genes for tolerance and adaptation to drought conditions. One of the most important factors limiting growth, development, and productivity of crops is drought. Landraces breeds have become particularly important as genetic resources adapted to local conditions. An appropriate level of genetic variability in breeding materials and parental germplasm is vital for generating improved germplasm with desired traits that help to increase crop production and thus improve human nutrition. Landraces may facilitate to capture genetic recombination required for creating new genotypes tolerant to biotic and abiotic stresses. It is necessary to comprehend well the available genetic variation in primitive wheat, wild species, and landraces.

Materials and Methods

A core collection of 249 bread wheat landraces throughout Iran which belong to six different geographic origins were studied under supplemental irrigation and rainfed conditions at Sararood Agricultural Research Station in Kermanshah during 2016-17 growing seasons. Phonological, morphological and physiological traits were scored including days to heading (DTH), days to maturity (DTM), plant height (PH), peduncle length (PL), relative water content (RWC), number of seed per spike (NSPS), 1000 kernel weight (TKW), harvest index (HI), and grain yield (GY). Phonological, morphological and physiological traits were analyzed based on unbalanced combined completely randomization design. Two environments of supplemental irrigation and rain-fed were compared based on Hotelling T square test for the measured traits and multivariate analysis was also used to compare geographic origins in each environment separately. Shannon's index is employed to investigate diversity in germplasm and was utilized GT-bi-plot technique in order to depict relationships among diversity pattern for investigated traits and geographical origins of Iranian landraces.

Results and Discussion

1- Ph.D. Student in Biometrical Genetic, Shirvan Dryland Agricultural Research Station, North Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shirvan, Iran.
2- Associate Professor, System Biology Department, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran, AREEO, Karaj, Iran.
3- Associate Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
4- Associate Professor, Cereal Research Department, Dryland Agricultural Research Institute, AREEO, Kermanshah, Iran.
5- Wheat scientist, Genetic Resources program, CIMMYT.
(* Corresponding author: S.golkari@abrii.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v13i4.88501

The results of unbalanced analysis of combined variation and multivariate analyses revealed significant differences among geographical origins of Iran. Multivariate analysis showed significant differences among genotypes with different geographic origins in terms of Wilks' lambda (0.69, 0.39), Pillai's trace (0.33, 0.81), Hotelling-Lawley trace (0.41, 1.1), and Roy's greatest root (0.32, 0.57) for all traits at 1% probability level in supplemental irrigation and rainfed conditions, respectively. It means that the present population had high variegation. The results of bi-plot depicted significant differences between south geographic origins landraces and other geographic origins landraces for GY, HI, and TKW under the both supplemental irrigation and rainfed conditions. GT bi-plots revealed that the south landraces were early in flowering with high GY potential and also they indicated more compatibility to unpredictable situations in medium drought (supplemental irrigation) and severe drought (rainfed) conditions. The results indicated earliness (short DTM) as the most important phonologic trait affecting GY under rainfed conditions. South landraces can be suggested as highly valuable resources for using in breeding programs to develop new high yielding cultivars under unpredictable harsh environmental conditions. The examined Iranian wheat landraces showed high variations for important traits including GY, HI, TKW and earliness.

Conclusion

Our finding indicated that the explored variation play an important role in developing new cultivars and may be used in breeding programs aiming for adaptation to drought conditions. It is necessary to use a wide range of breeding strategies in order to gain present diversity in bread wheat which will lead to the expansion of the genetic basis of current cultivars and improvement of new wheat cultivars adapted to dryland conditions.

Keywords: Bi-plot analysis, Breeding, Genetic resources

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 669-687

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۶۸۷-۶۶۹

مقاله پژوهشی

تعیین شاخص‌های ارزیابی ظرفیت توسعه گردشگری کشاورزی ایران

مجتبی زارع[۱]، عبدالمجید مهدوی دامغانی[۲*]، حسین محمودی[۳]، فاطمه آقامیر[۳] و فائزه اسدیان اردکانی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۵

زارع، م.، مهدوی دامغانی، ع.، محمودی، ح.، آقامیر، ف.، و اسدیان اردکانی، ف.، ۱۴۰۰. تعیین شاخص‌های ارزیابی ظرفیت توسعه گردشگری کشاورزی ایران. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۴): ۶۸۷-۶۶۹.

چکیده

هدف اصلی این مطالعه تعیین شاخص‌های ارزیابی ظرفیت توسعه گردشگری کشاورزی ایران به‌منظور کمک به سرمایه‌گذاران و برنامه‌ریزان برای شناسایی مناطق دارای استعداد توسعه گردشگری کشاورزی می‌باشد، بدین منظور از روش دلفی فازی برای شناسایی این شاخص‌ها استفاده شد. برای شناسایی شاخص‌ها ابتدا به‌وسیله روش نمونه‌گیری زنجیره‌ای یا همان گلوله برفی اعضای پانل یا همان متخصصان فعال در بخش گردشگری کشاورزی ایران شناسایی شدند و سپس با استفاده از مصاحبه با این متخصصان و روش دلفی فازی شاخص‌های مورد نظر انتخاب شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که هشت شاخص و ۳۸ زیر شاخص برای ارزیابی ظرفیت توسعه گردشگری کشاورزی ایران باید مورد توجه قرار گیرند.این هشت شاخص عبارتند از "هزینه"، "مزرعه و محیط"، "زیر ساخت"، "قوانین، مقررات و سیاست‌گذاری"، "توانایی و دیدگاه جامعه میزبان"، "سرگرمی و خرید"، "امنیت و ایمنی" و "جاذبه‌های گردشگری".

واژه‌های کلیدی :توسعه روستایی، جشنواره کشاورزی، دلفی فازی، گردشگری روستایی

مقدمه

گردشگری به رغم پیشرفت‌های فناورانه در جهان، همچنان بر محور نقش قابل توجه نیروی انسانی استوار است، به‌طوری‌که این صنعت موجب اشتغال مستقیم در زیر بخش‌های صنعت و اشتغال غیرمستقیم در بسیاری از فعالیت‌های مالی، تبلیغاتی، فنی، حقوقی، حمل‌ونقل مواد غذایی، خدمات اداری، فروش، پزشکی و بهداشتی، هتلداری و نظایر آن می‌شود. این ویژگی برای کشورهایی که با مشکل بیکاری روبرو هستند و از توانایی‌های لازم (طبیعی، فرهنگی، تاریخی و اجتماعی) برای توسعه گردشگری برخوردارند، اهمیت خاصی دارد. بنابراین، توسعه صنعت گردشگری به یکی از اساسی‌ترین برنامه‌ها برای بسیاری از مناطق تبدیل شده است (Boz & Sercek, 2016). گردشگری یکی از بالنده‌ترین صنعت‌های جهان معاصر است. گردش مالی این صنعت در سال ۲۰۱۶ معادل ۱۲۵۰ میلیارد دلار بوده است؛ برآوردها نشان می‌دهد گردش مالی صنعت

۱- دانشجوی دکترای گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران.
۲- دانشیار گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران.
۳- استادیار گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران.
۴- استادیار گروه مدیریت جهانگردی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email:Mmd323@yahoo.com)
Doi:10.22067/jag.v13i4.87833

گردشگری در سال ۲۰۲۰ معادل ۲۰۰۰ میلیارد دلار خواهد بود (Statista, 2017). این صنعت همواره یکی از منابع مهم درآمدی کشورهایی بوده است که از ظرفیت‌ها و زیرساخت‌های مناسبی برای آن برخوردار بوده‌اند.

برخلاف رشد گردشگری، صنعت کشاورزی در طی سال‌های اخیر با چالش‌های فزاینده‌ای، از جمله تشدید رقابت بازار، محدودیت دسترسی زمین و افزایش هزینه نهاده‌ها وکاهش قیمت محصولات مواجه است و این موارد باعث کاهش درآمد مزارع خرده مالکی در سراسر جهان شده است (Jayne et al., 2014; OECD-FAO, 2016). بنابراین، کشاورزی برای ادامه حیات خود مجبور به یافتن راه حلی برای اضافه کردن ارزش به محصولات خود و ایجاد منابع درآمدی قابل اعتماد می‌باشد. سازمان آمار کشاورزی آمریکا گزارش می‌دهد که ایالات متحده از سال ۱۹۹۷ میلادی شاهد کاهش تعداد مزارع و همچنین کوچک شدن مزارع کشاورزی زیر کشت بوده است. هزاران هکتار از زمین‌های کشاورزی تبدیل به مسکن یا کارخانه شده‌اند. با این حال، کشاورزی ایالت ویرجینیا هنوز به‌عنوان صنعت شماره یک این ایالت رتبه‌بندی می‌شود و بر روی اقتصاد منطقه تأثیر زیادی می‌گذارد. یکی از دلایل موفقیت کشاورزی در این ایالت توسعه جاذبه‌های کشاورزی مانند گردشگری کشاورزی می‌باشد که باعث شده ساکنان محلی و گردشگران به‌منظور تجربه محیطی صلح‌آمیز امّا پر انرژی به بازدید مزارع روی آورند (Walker, 2009).

گردشگری کشاورزی مزایای اقتصادی، آموزشی و اجتماعی زیادی برای تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان (گردشگران) و جامعه فراهم می‌کند. علاوه‌براین، گردشگری کشاورزی انگیزه کشاورزان را برای باقی ماندن در این شغل افزایش می‌دهد. محققان گردشگری کشاورزی را ابزاری بالقوه برای حفظ ارزش‌ها و شیوه زندگی روستایی و توسعه مناطق روستایی می‌دانند (Veljković, 2017).

گردشگری کشاورزی به‌گونه‌ای از گردشگری اطلاق می‌شود که هدف از سفر، بازدید (تفریحی یا علمی) از مزارع، باغ‌ها، دامپروری‌ها و نظام‌های تولید و طبیعت و آیین‌های خاص محلی و صنایع تولید مرتبط با کشاورزی است که فرد بازدیدکننده از نزدیک از تمامی مراحل تولید تا فرآوری محصولات دانش کسب کرده یا به‌صورت فعال در بخشی از فعالیت مشارکت می‌کند. علاوه‌براین، گردشگری کشاورزی شغلی است که کشاورزان و دامداران حین فعالیت های کشاورزی، باغی یا کسب‌وکار کشاورزی، با هدف ایجاد تفریح، فراغت و کسب تجربه برای بازدیدکنندگان و آموزش آنان انجام می‌دهند، بی آن که فعالیت خدماتی جای فعالیت تولیدی را بگیرد، بلکه درآمد کشاورزان را تکمیل کند و آنان را در همان سبک زندگی کشاورزی‌شان ارتقا دهد. تاریخچه گردشگری کشاورزی به اواخر دهه ۱۸۰۰ زمانی که مردم شروع به ترک شهر برای رفتن به مزارع برای دیدن اقوام برای اقامت کوتاه‌مدت و فرار از زندگی شهری کردند، باز می‌گردد. پس از اختراع خودرو در دهه ۱۹۲۰ سفر به مناطق روستایی آسان‌تر شد. در دهه ۱۹۳۰ و ۱۹۴۰، رکود و جنگ جهانی دوم باعث افزایش علاقه‌مندی به تفریحات روستایی شد، همچنین در دهه‌های ۱۹۶۰ و۱۹۷۰ اسب‌سواری و باغ وحش‌های حیوانات خانگی مزارع محبوب شدند و در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ گذراندن تعطیلات در مزرعه، اقامت شبانه در مزارع، و تورهای تجاری مزرعه محبوبیت زیادی پیدا کردند. امروزه نیز تقاضا برای گردشگری کشاورزی در حال افزایش می‌باشد (Hatch, 2008).

تعاریف مختلفی از گردشگری کشاورزی ارائه شده است به‌عنوان مثال، بازبی و رندل (Busby & Rendle, 2000) ۱۳ تعریف مختلف از صنعت گردشگری کشاورزی شناسایی کردند. دانشگاه "California Small Farm Program" تعریف جامعی از گردشگری کشاورزی ارائه داده است: گردشگری کشاورزی یک اقدام اقتصادی در یک مزرعه فعال، دامداری یا یک باغ می‌باشد که به‌منظور لذت بردن یا آموزش بازدیدکنندگان انجام می‌شود، به‌نحوی که این امر باعث درآمد مکمل برای مالک شود (Small Farm Center, 2012). این تعریف در بسیاری از مطالعات گردشگری کشاورزی استفاده شده است به‌عنوان مثال برناردو و همکاران (Bernardo et al, 2004) و براون و ریدر (Brown & Reeder, 2007).

مطالعات مفیدی در زمینه گردشگری روستایی و نقش آن در توسعه مناطق روستایی ایران انجام شده است. صیدلی و همکاران (Seidali et al. 2012) در مطالعه‌ای به بررسی اثرات گردشگری در توسعه روستایی پرداختند و نتیجه گرفتند که صنعت گردشگری تا به امروز نوعی از تنوع شغلی را به‌ویژه در بخش خدمات روستا ایجاد نموده است، ضمن اینکه دگرگونی‌هایی را در فعالیت‌های اقتصادی-اجتماعی خصوصاً در بخش‌های کشاورزی و دامداری، اجتماعی و درآمد روستائیان در پی داشته است. اعظمی (Azami (2016 در مطالعه خود به تبیین اثرات گردشگری بر توسعه پایدار روستایی

پرداخت. نتایج این مطالعه نشان داد که گردشگری روستایی در بعد اقتصادی، به‌ترتیب از جهت افزایش درآمد، افزایش قیمت زمین و مسکن، کاهش اختلاف طبقاتی، و اشتغال‌زایی دارای بیشترین تأثیر بوده و در بعد اجتماعی از نظر بهبود زمینه تعامل و مشارکت روستاییان، تغییر در نوع پوشش اهالی روستا، جذب حداکثری مهاجران نوروزی و تابستانی و گسترش روابط بیرونی روستا با روستاهای هم‌جوار و همچنین در بعد زیست‌محیطی از لحاظ جلوگیری از گسترش آلودگی در منطقه، ممانعت از اتلاف گونه‌های گیاهی و گسترش خدمات زیربنایی دارای بیشترین تأثیر بوده است. در ایران، گردشگری روستایی پیشینه‌ای کهن و مواردی آشنا و متعدد دارد مراسم آیینی و جشنواره‌های فرهنگی کشاورزی مانند آیین گلاب‌گیری در کاشان، جشن خرمن‌کوبی در استان‌های شمالی در زمان برداشت شالی، جشن برداشت گندم، جشنواره انار در بهشهر، جشنواره زردآلو در بسطام، جشنواره طلای سرخ (زعفران) در خراسان جنوبی و دیگر رویدادهای آیینی کشاورزی نیز از دیگر قابلیت‌هایی است که لزوم توجه به گردشگری کشاورزی را نشان می‌دهد. همین نشانه‌ها و موارد برای اثبات این ادعا کافی است که ظرفیت‌های متعددی (البته عمدتاً شناخته نشده) برای توسعه گردشگری کشاورزی در ایران وجود دارد که هنوز به آن‌ها در قالب یک صنعت و متضمّن به‌کارگیری فناوری‌های مناسب نگاه نشده و مورد بی‌توجهی بوده است. به‌عنوان مثال، دهه‌هاست که در اردیبهشت ماه تورهای گردشگری گلاب‌گیری کاشان و قمصر، دشت شقایق‌های واژگون خوانسار، چهارمحال و بختیاری و تورهای مزارع چای گیلان برقرار و علاقمندان خاص خود را دارد. با این حال، موارد بسیار زیادی وجود دارد که با وجود پتانسیل‌های قابل‌توجه، حتی برای جذب گردشگران خارجی، مغفول مانده است که از آن جمله می‌توان به برداشت زعفران در خراسان جنوبی، شالی‌کاری در استان‌های شمالی و خرماچینی در جنوب اشاره کرد که فعالیت‌های کشاورزی پیش‌گفته در این مناطق گاه به مثابه آداب و مراسمی می‌ماند که از ارزش فوق‌العاده‌ای برای جذب گردشگر برخوردار است. بنابراین، این نیاز احساس می‌شود که پتانسیل مناطق مختلف ایران برای توسعه گردشگری کشاورزی بررسی شود و بر اساس این پتانسیل بر روی مناطق دارای پتانسیل بالاتر تمرکز کرد و این صنعت را در آن مناطق گسترش داد. بنابراین، در مطالعه حاضر سعی بر آن است که شاخص‌های مورد نیاز برای بررسی پتانسیل توسعه گردشگری کشاورزی ایران با استفاده از نظرات کارشناسان این بخش و با به‌کارگیری روش دلفی فازی شناسایی شوند.

روش تحقیق

مراحل روش دلفی فازی:

۱- بیان مساله پژوهش و امکان‌سنجی انجام پژوهش به‌روش دلفی: مسئله مورد پژوهش در این مطالعه "شناسایی شاخص‌های مهم برای ارزیابی ظرفیت توسعه گردشگری کشاورزی ایران" می‌باشد که پس از بررسی‌های انجام شده امکان انجام پژوهش توسط روش دلفی تأیید شد.

۲- تشکیل تیم اجرا، هدایت و نظارت: در این مطالعه نویسندگان مقاله اجرا، هدایت و نظارت بر مراحل روش دلفی فازی را بر عهده داشتند.

۳- استخراج شاخص‌های اولیه به‌منظور تدوین پرسش‌نامه اولیه: در این مرحله ابتدا با استفاده از مطالعه ادبیات پژوهش و مصاحبه با خبرگان لیستی از عوامل یا شاخص‌هایی را که در ارزیابی ظرفیت توسعه گردشگری کشاورزی مؤثر بودند را شناسایی کرده سپس یک غربال اولیه انجام داده و شاخص‌های تکراری یا مترادف حذف شدند که در نهایت، هشت شاخص و ۴۳ زیرشاخص مشخص شد. پس از شناسایی شاخص‌های و زیرشاخص‌های پژوهش به طراحی پرسش‌نامه و سؤالات پژوهش بر اساس زیر شاخص‌ها اقدام شد. پرسش‌نامه طراحی شده در این مرحله را پرسش‌نامه اولیه یا پرسش‌نامه دور اول روش دلفی می‌نامند. همچنین برای تست اولیه پرسش‌نامه، پرسش‌نامه طراحی شده در اختیار چند نفر از خبرگان که در دسترس بوند قرار گرفت تا با پاسخ به سؤالات بتوان عیب‌ها و همچنین سوء تعبیرهای احتمالی در مورد سؤالات را شناسایی و اصلاح نمود.

۴- بررسی روایی (اعتبار) پرسش‌نامه:

در این مطالعه به شیوه‌های متداول به بررسی روایی پرسش‌نامه پرداخته شد. همان‌طور که بیان شد پس از طراحی اولیه پرسش‌نامه آن را در اختیار برخی از خبرگان در دسترس قرار دادیم تا به تست اولیه پرسش‌نامه بپردازیم. نتایج به‌دست آمده نشان داد که خبرگان درک مشترکی از موضوع و سؤالات پرسش‌نامه دارند که این خود نشان از روایی سازه پرسش‌نامه دارد. همچنین هنگام طراحی سؤالات

پرسش‌نامه سعی شد یا مطالعه ادبیات پژوهش و مقالات مرتبط به شناسایی شاخص‌های مؤثر و مرتبط در ارزیابی ظرفیت گردشگری کشاورزی پرداخته شود و سپس بر اساس نظر خبرگان گروه به غربال اولیه آن‌ها پرداخته شد و سپس سؤالات بر اساس شاخص‌های تأیید شده توسط خبرگان گروه (اساتید راهنما و مشاور) طراحی شد. بنابراین، سؤالات از تأیید خبرگان برخوردار شدند که این خود بر روایی یا اعتبار محتوای پرسش‌نامه دلالت دارد.

شناسایی و انتخاب اعضای پانل: اعضای پانل یا همان متخصصان و خبرگانی که قرار است پرسش‌نامه‌های دلفی بین آن‌ها توزیع شود کسانی هستند که در حوزه گردشگری کشاورزی تسلط کامل دارند که به‌وسیله روش نمونه‌گیری زنجیره‌ای یا همان گلوله برفی شناسایی شده‌اند. روش نمونه‌گیری گلوله برفی نه تنها زمان کمتری را می‌طلبد، بلکه این امکان را به محقق می‌دهد تا با نمونه‌ها ارتباط بهتری داشته باشند. نادری فر و همکاران (Naderifar et al. 2017). در این پژوهش با توجه به اصول روش گلوله برفی ابتدا دو نفر از خبرگان حوزه شناسایی شدند و سپس از آن‌ها خواسته شد تا متخصصان و خبرگان دیگر که به حوزه پژوهش اشراف دارند را معرفی کنند. با استفاده از نظرات آن‌ها لیستی از ۳۲ خبره که در زمینه مورد مطالعه تخصص داشتند تهیه شد. در گام بعدی فرمی طراحی شد که شامل موضوع پژوهش، هدف پژوهش و مدت زمان و تعداد دورهای تقریبی پژوهش بود و این فرم در اختیار ۳۲ خبره شناسایی شده قرار داده شد و از آنان خواسته شد تا تمایل و موافقت خود را با مشارکت در پانل (مشارکت کنندگان) اعلام کنند. در مجموع تعداد ۲۱ نفر از خبرگان تمایل و موافقت خود را برای شرکت در پژوهش اعلام کردند و در نهایت، از بین این ۲۱ نفر، تعداد ۱۵ پرسش‌نامه تکمیل شده برگشت داده شد که ترکیب متخصصانی که در تکمیل پرسش‌نامه شرکت کردند در جدول ۱ ارائه شده است. مشارکت ۱۰ نفر متخصص در روش دلفی فازی کافی می‌باشد و باعث کاهش خطای گروه می‌شود (Dalkey, 1969).

جدول ۱- ترکیب متخصصان شرکت کننده در روش دلفی فازی

Table 1- Composition and panel size of the Fuzzy Delphi Technique

نوع فعالیت خبرگان The job of experts	تعداد Number	سابقه فعالیت در حوزه گردشگری کشاورزی (سال) History of activity in the field of agritourism (year)		
		کمتر از ۲ سال Less than 2 years	۲ تا ۵ سال 2 to 5 years	بیشتر از ۵ سال More than 5 years
اعضای هیات علمی متخصص در زمینه گردشگری کشاورزی Faculty members specializing in agritourism	12	3	9	0
افراد شاغل در زمینه گردشگری کشاورزی با تحصیلات مربوط به گردشگری کشاورزی People working in the field of agritourism with education related to agritourism	3	1	2	0

برای جلوگیری از کاهش تعداد خبرگان به رتبه‌بندی خبرگان در این پژوهش پرداخته نشده است. امّا در صورتی که در پژوهشی تعداد خبرگان زیاد باشد، می‌توان بر اساس معیارهای مورد نظر به رتبه‌بندی خبرگان پرداخت و خبرگانی که از رتبه بالاتری برخوردار هستند را به‌عنوان شرکت‌کنندگان پژوهش انتخاب کرد.

ارسال پرسش‌نامه برای خبرگان: همان‌طور که پیش از این بیان شد در این پژوهش بر اساس روش گلوله برفی تعداد ۲۱ خبره که از تخصص و دانش لازم برخوردار هستند، شناسایی و انتخاب شد. در این مرحله پرسش‌نامه اولیه یا همان پرسش‌نامه گام قبل که به‌عنوان پرسش‌نامه دور اول نام‌گذاری شد از طریق پست الکترونیکی برای خبرگان ارسال شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از روش دلفی فازی

به‌علت ضعف‌های روش دلفی معمولی یا سنتی از قبیل احتمال حذف نظرات برخی از خبرگان در پژوهش و هم‌گرایی پایین آن و همچنین به‌علت اینکه روش دلفی متکی بر قضاوت ترجیحی خبرگان است و قضاوت‌های خبرگان نیز از قطعیت کامل برخوردار نیستند، بنابراین، نیاز به روش دیگری احساس شد که اولاً بتواند قضاوت همه خبرگان را در برگیرد و از طرف دیگر قضاوت‌های ترجیحی خبرگان را نیز به‌طور مناسب‌تری لحاظ کند. بنابراین، با توجه به ضعف‌های روش سنتی دلفی پژوهشگران به دنبال ارائه روشی بودند که بتواند از کارآیی بهتری برخوردار باشد. بر همین اساس اولین بار در سال ۱۹۸۸ روش دلفی فازی توسط کافمن و گوپتا معرفی شد. در روش دلفی

فازی سعی شده است روش دلفی سنتی با مفاهیم تئوری فازی ترکیب شود. کافمن و گوپتا. (Kaufman & Gupta, 1988).

بعدها پژوهشگران دیگر روش‌های متعددی را برای روش دلفی فازی ارائه کردند که هر یک ویژگی‌های خاص خود را دارا می‌باشد. بنابراین، با مطالعه منابع مختلف ممکن است با روش‌های متعددی برخورد کرد که به‌عنوان روش دلفی فازی معرفی شده‌اند. مراحل روش دلفی فازی در همه روش‌های مختلفی که ارائه شده است شباهت زیادی با روش دلفی معمولی دارد. در حقیقت، تفاوت اصلی روش دلفی فازی با روش دلفی معمولی در بخش تجزیه و تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده است. در ادامه سعی شده است یکی از متداول‌ترین روش‌های ارائه شده برای دلفی فازی به‌صورت گام به گام توضیح داده شود. در حقیقت، تمام مراحل روش دلفی فازی استفاده شده دقیقاً همانند روش دلفی معمولی است و تنها در بخش تجزیه و تحلیل داده‌ها تفاوت دارند. در ادامه، تنها به توضیح گام تجزیه و تحلیه داده‌های پرسش‌نامه در روش دلفی فازی پرداخته شده است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از روش دلفی فازی خود شامل چندین مرحله است که در زیر به‌ترتیب ارائه شده است (Hsu et al., 2010).

۷,۱ جمع‌آوری نظرات خبرگان: در این مرحله همانند روش دلفی سنتی به جمع‌آوری نظرات خبرگان پرداخته می‌شود. در این روش از متغیرهای زبانی برای طراحی پرسش‌نامه و جمع‌آوری نظرات خبرگان استفاده می‌شود.

۷,۲ محاسبه ارزش فازی هر سؤال: پس از جمع‌آوری نظرات خبرگان در این مرحله بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده به محاسبه ارزش فازی هر یک از سؤالات (شاخص‌ها) می‌پردازیم. برای محاسبه ارزش فازی هر یک از سؤالات به‌ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

با فرض اینکه ارزش فازی هر یک از سؤالات به‌صورت $\tilde{A}_j = (L_j \,.\, M_j \,.\, U_j)$ نمایش داده شود، به‌طوری که، L_j: حد پایین، M_j: حد وسط و U_j: حد بالای این عدد فازی باشد، خواهیم داشت:

$$L_j = Min(x_{ij}) \qquad i = 1.2.\dots.n \quad j = 1.2.\dots.m$$

$$M_j = \left(\prod_{i=1}^{n.m} x_{ij}\right)^{\frac{1}{n}} \qquad i = 1.2.\dots.n \quad j = 1.2.\dots.m$$

$$U_j = Max(x_{ij}) \qquad i = 1.2.\dots.n \quad j = 1.2.\dots.m$$

که مفهوم هر یک از متغیرها و پارامترهای ارائه شده در روابط بالا به‌صورت زیر می‌باشد:

- L_j: حد پایین ارزش فازی سؤال یا شاخص j ام پرسش‌نامه، که برابر است با کوچک‌ترین مقداری که خبرگان به سؤال (شاخص) j ام تخصیص داده‌اند.
- M_j: حد وسط ارزش فازی سؤال یا شاخص j ام پرسش‌نامه، که برابر است با میانگین هندسی کلیه نظرات خبرگان برای سؤال(شاخص) j ام.
- U_j: حد بالای ارزش فازی سؤال یا شاخص j ام پرسش‌نامه، که برابر است با بزرگ‌ترین مقداری که توسط خبرگان به سؤال (شاخص) j ام تخصیص داده شده است.
- x_{ij}: مقدار تخصیص داده شده توسط خبره i ام به شاخص j ام.
- $\tilde{A}_j$: ارزش فازی مثلثی سؤال یا شاخص j ام.

همان‌طور که مشاهده می‌شود در روش فازی همه نظرات خبرگان در محاسبه ارزش فازی هر سؤال مشارکت داده می‌شوند.

۷,۳ تبدیل ارزش فازی به‌دست آمده برای هر یک از سؤالات به مقدار دی فازی شده (S_j): پس از محاسبه ارزش فازی هر یک از سؤالات پژوهش برای اینکه بتوانیم نسبت به هر یک از سؤالات قضاوت کنیم باید ابتدا ارزش فازی به‌دست آمده برای هر یک از سؤالات را دی فازی نمود تا امکان مقایسه و ارزیابی به‌وجود آید. برای دی فازی کردن ارزش فازی هر سؤال روش‌ها و روابط متعددی ارائه شده است که در جدول ۲ دو نمونه از آن ارائه شده است.

ارزیابی سؤالات بر اساس حد آستانه‌ای (r): پس از محاسبه مقدار دی فازی (قطعی) شده هر یک از سؤالات (شاخص‌ها) باید به ارزیابی میزان اهمیت آن‌ها پرداخت. برای ارزیابی اهمیت هر یک از سؤالات یک قاعده مشخص و ثابتی وجود ندارد. امّا متداول است که از یک حد آستانه‌ای (r) برای ارزیابی اهمیت هر یک از سؤالات استفاده می‌شود. بنابراین، براساس مقدار حد آستانه‌ای دو حالت ایجاد می‌شود:

- اگر $S_j \geq r$ باشد به این مفهوم است که سؤال (شاخص) j ام از اهمیت بالایی برخوردار است.
- اگر $S_j < r$ باشد به این مفهوم است که سؤال (شاخص) j ام از اهمیت کمی برخوردار است. که به‌علت اهمیت کم این سؤالات می‌توان آن‌ها را حذف کرد.

ادامه دورهای دلفی تا رسیدن به شروط توقف دلفی

شرط توقف دلفی در این پژوهش این است که سه شرط زیر برقرار شود (Sadeghi et al., 2018)

۱) همه شاخص‌ها یا سؤالات مهم شناخته شوند.

۲) شاخص جدیدی توسط متخصصان ارائه نشود.

۳) توافق نظر (اجماع) در مورد سؤالات حاصل شود.

در این پژوهش به دنبال شناسایی شاخص‌های مهم در ارزیابی ظرفیت توسعه گردشگری کشاورزی ایران می‌باشیم، به همین منظور بر اساس نظر گروه تحقیق برای شناسایی شاخص‌های مهم از مقدار دی فازی شده سؤالات به همراه میانگین طیف پرسش‌نامه (به‌عنوان شاخص آستانه) استفاده می‌شود. به عبارت دیگر، شاخص‌ها یا سؤالاتی که مقدار دی فازی شده آن‌ها بزرگ‌تر مساوی میانگین طیف پرسش‌نامه باشد، به‌عنوان شاخص‌های مهم و تأثیرگذار شناخته می‌شوند و شاخص‌ها یا سؤال‌هایی که مقدار دی فازی شده آن‌ها کمتر از مقدار میانگین طیف باشد به‌عنوان شاخص کم اثر یا کم اهمیت شناخته می‌شوند (Sadeghi et al., 2018). هدف تحقیق در مرحله دلفی فازی شناسایی شاخص‌های مهم و اثرگذار است به همین منظور در پژوهش شاخص‌های کم اهمیت حذف می‌شوند. برای دستیابی به اجماع در روش دلفی قاعده مشخصی وجود ندارد و شرایط دستیابی به اجماع توسط محققین تعیین می‌شود (Zarei & Chaqoei, 2014). بنابراین، بر اساس نظرات تیم تحقیق قرار شد زمانی که ۵۰ یا بیشتر از ۵۰ درصد پاسخ‌دهندگان جواب یکسانی به یکی از گزینه‌های پاسخ برای هر سؤال بدهند، بپذیریم که توافق نظر (اجماع) در مورد آن سؤال حاصل شده است. آنالیز آماری با استفاده از SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص‌های استخراج شده با استفاده از مطالعه ادبیات پژوهش و مصاحبه با خبرگان در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۲- روش‌ها و روابط دی فازی کردن ارزش فازی سؤالات پرسش‌نامه

Table 2- Methods and functions of Defuzzification of questionnaire's questions

روش Method	منبع References
$S_j = \frac{L_j + M_j + U_j}{3}$	کاربرد روش دلفی فازی و فرایند سلسله مراتبی فازی تحلیلی برای اجزای مدیریتی شرکت‌های چندملیتی (ونگ‌کون لیو، ۲۰۱۳) کاربرد روش دلفی فازی و فرایند سلسله مراتبی فازی تحلیلی در گزینش فناوری تولید روان‌کننده (هسو و همکاران، ۲۰۱۰) application of the Fuzzy Delphi Method and the FuzzyAnalytic Hierarchy Process for the Managerial Competence of Multinational Corporation Executives (weng- kun Liu, 2013) The application of Fuzzy Delphi Method and Fuzzy AHP in lubricantregenerative technology selection (Hsu et al., 2010)
$S_j = \frac{L_j + 2 \times M_j + U_j}{4}$	روش دلفی فازی برای ارزیابی فناوری‌های تولید هیدروژن (چانگ و همکاران، ۲۰۱۱) Fuzzy Delphi method for evaluating hydrogen productionTechnologies (Chang et al., 2011)

جدول ۳- شاخص‌ها و زیر شاخص‌های استخراج شده برای ارزیابی ظرفیت گردشگری کشاورزی ایران

Table 3- Indicators and sub-indicators for evaluating agritourism development potential in Iran

	شاخص و زیر شاخص Indicators and sub-indicators	منابع References
C_1	هزینه Cost	
C_{11}	هزینه حمل و نقل Transport cost	(Ochterski & Roth, 2008)
C_{12}	هزینه خرید محصولات کشاورزی The cost of buying agricultural products	(Ochterski & Roth, 2008)
C_{13}	هزینه اسکان Accommodation cost	(Ochterski & Roth, 2008)
C_{14}	هزینه غذا Feed cost	(Ochterski & Roth, 2008)
C_2	مزرعه و محیط Farm and environment	
C_{21}	تعداد گونه‌های بومی Endemic species	اضافه شده توسط تیم اجرا Added by the research group
C_{22}	تعداد مزارع ارگانیک Number of organic farms	(Santucci, 2015)

	Continuation of Table 3	ادامه جدول ۳
C_{23}	تعداد باغ کشت‌ها Number of home garden	اضافه شده توسط تیم اجرا Added by the research group
C_{24}	تعداد مزارع فعال Number of active farms	(Santucci, 2015)
C_{25}	تعداد مزارع محصولات زینتی Number of ornamental orchard	اضافه شده توسط تیم اجرا Added by the research group
C_{26}	چشم انداز Landscape	(Miandehi & Masrouri, 2013)
C_{27}	اقلیم Climate	(Kidd, 2011; Bakhtiari & Bakhtiari, 2013)
C_3	زیر ساخت Infrastructure	
C_{31}	مراکز درمانی Health centers	(Blancas et al., 2011)
C_{32}	مراکز اقامتی و محل کمپ Camping site	Added by the research group
C_{33}	دسترسی به هتل Hotel	(Maruti, 2009)
C_{34}	دسترسی به سرویس بهداشتی و حمام WC and bathroom	(Srikatanyoo & Campiranon, 2010; Park & Yoon, 2011)
C_{35}	دسترسی به اتاق خواب Bedroom	(Srikatanyoo & Campiranon, 2010; Park & Yoon, 2011)
C_{36}	دسترسی به حمل و نقل عمومی Access to the public transportation	(Blancas et al., 2011)
C_{37}	سیستم مدیریت پسماند Waste management system	(Page & Getz, 1997; Tsaur & Wang, 2007)
C_{38}	تسهیلات ارتباطی از قبیل اینترنت Communication facilities like the Internet	(Blancas et al., 2011; Kidd, 2011)
C_{39}	دسترسی به آب و برق Water and electricity	(Page & Getz, 1997, Blancas et al., 2011)
C_4	قوانین، مقررات و سیاست‌گذاری Rules, regulations and policies	
C_{41}	وجود مقررات گردشگری کشاورزی Existence of agritourism regulations	اضافه شده توسط تیم اجرا Added by the research group
C_{42}	وام‌های در دسترس برای توسعه گردشگری مزرعه Government loan	اضافه شده توسط تیم اجرا Added by the research group
C_{43}	برنامه‌های ترویجی گردشگری کشاورزی Agritourism promotion programs	اضافه شده توسط تیم اجرا Added by the research group
C_{44}	سرمایه‌گذاری دولتی برای توسعه گردشگری کشاورزی Government investment for the development of agritourism	(Miandehi & Masrouri, 2013)
C_5	توانایی و دیدگاه جامعه میزبان Attitude and ability of the host community	
C_{51}	جمعیت فعال بخش کشاورزی Active agricultural sector population	اضافه شده توسط تیم اجرا Added by the research group
C_{52}	تعداد جوانان منطقه The number of young people in the village	(Blancas et al., 2011)
C_{53}	نیاز کشاورزان به منابع درآمدی مازاد Need for surplus income sources	(Santucci, 2015)
C_{54}	سطح تحصیلات بخش کشاورزی Education level	(Mearns, 2012)
C_{55}	مهمان‌نوازی و تمایل به قبول گردشگر Hospitality and willingness to accept the tourist	اضافه شده توسط تیم اجرا Added by the research group
C_{56}	نیروی کار آموزش دیده برای بخش گردشگری کشاورزی Trained workforce	(Mearns, 2012; Miandehi & Masrouri, 2013)

	Continuation of Table 3	ادامه جدول ۳
C_{57}	سازمان‌های مردم نهاد فعال در بخش گردشگری NGOs active in the agricultural tourism sector	اضافه شده توسط پانل خبرگان در دور اولی دلفی Added by the experts panel in the first round of Delphi method
C_{58}	انگیزه‌های اجتماعی Social motives	اضافه شده توسط پانل خبرگان در دور اولی دلفی Added by the experts panel in the first round of Delphi method
C_6	سرگرمی و خرید Fun and shopping	
C_{61}	امکان مشارکت در فعالیت‌های کشاورزی Ability to participate in agricultural activities	(Artuğer & Kendir, 2013)
C_{62}	امکان مشارکت در فعالیت‌هایی که مشارکت خانواده در آن امکان‌پذیر است Participation in Activities that allow for family participation	(Srikatanyoo & Campiranon, 2010)
C_{63}	فرصت آموزش فعالیت‌های کشاورزی Opportunity to train agricultural activities	(Maruti, 2009; Srikatanyoo & Campiranon, 2010)
C_{64}	امکان خرید کالاهای کشاورزی Agricultural goods purchasing opportunities	(Dubois et al., 2017)
C_{65}	امکان مشارکت در فعالیت‌های تفریحی غیر مرتبط با کشاورزی مانند اسب‌سواری Participation in non-agricultural activities such as horseback riding	(Srikatanyoo & Campiranon, 2010)
C_7	امنیت و ایمنی Security and safety	
C_{71}	امنیت منطقه Area security	(Tsaur & Wang, 2007)
C_{72}	ایمنی مزارع Safety of farms	(Maruti, 2009, Srikatanyoo & Campiranon, 2010)
C_8	جاذبه‌های گردشگری Tourist attractions	
C_{81}	تعداد گردشگرانی که سالانه از منطقه بازدید می‌کنند Number of tourists who visited the village	(Blancas et al., 2011)
C_{82}	جشنواره‌های کشاورزی و محلی Agricultural and local festivals	(Maruti, 2009; Park & Yoon, 2011)
C_{83}	پارک‌های طبیعی Natural parks	(Blancas et al., 2011)
C_{84}	جاذبه‌های فرهنگی و تاریخی Cultural and historical attractions	(Miandehi & Masrouri, 2013)
C_{85}	فعالیت‌های سنتی کشاورزی مانند گلاب‌گیری Traditional farming activities like catching rosewood	(Miandehi & Masrouri, 2013)
C_{86}	جاذبه‌های طبیعی منطقه Natural attractions	(Srikatanyoo & Campiranon, 2010)

همان‌طور که پیش از این بیان شد در این پژوهش بر اساس روش گلوله برفی تعداد ۲۱ خبره که از تخصص و دانش لازم برخوردار هستند، شناسایی و انتخاب شد. در این مرحله پرسش‌نامه اولیه یا همان پرسش‌نامه گام قبل که به‌عنوان پرسش‌نامه دور اول نام‌گذاری شد برای خبرگان ارسال شد. در دور اول دلفی با استفاده از نظرات خبرگان و پس از جمع‌آوری پرسش‌نامه‌های تکمیل شده دور اول دلفی با استفاده از نرم‌افزار Excel مقدار فازی هر یک از سؤالات پژوهش محاسبه شد. پس از محاسبه مقدار فازی تمام سؤالات پرسش‌نامه برای ارزیابی میزان اهمیت هریک از سؤالات ابتدا مقادیر فازی به مقادیر دی فازی تبدیل شد. بعد از محاسبه مقدار دی فازی سؤالات پرسش‌نامه، می‌توانیم با مقایسه مقدار دی فازی شده هر سؤال با مقدار میانگین طیف (مقدار ۳) به شناسایی میزان اهمیت هر یک از شاخص‌ها بپردازیم. در این پژوهش بر اساس نظرات خبرگان، سؤالاتی که مقدار دی فازی آن‌ها بیشتر از مقدار میانگین طیف (۳) باشد به‌عنوان سؤالات با اهمیت شناخته می‌شوند و سؤالاتی که مقدار دی فازی آن‌ها کمتر از سه باشد به‌عنوان سؤالات کم اهمیت شناخته شده و حذف می‌شوند بنابراین، با توجه به جدول ۴ زیر شاخص‌های تعداد گونه‌های بومی، تعداد هتل، وام‌های در دسترس برای توسعه گردشگری مزرعه، تعداد جوانان منطقه، تعداد گردشگرانی که سالانه از منطقه بازدید می‌کنند، پارک‌های طبیعی و جاذبه‌های طبیعی منطقه امتیاز لازم را کسب نکردند و در دور اول دلفی این هفت زیر شاخص حذف شدند. همچنین در این مرحله دو زیر شاخص سازمان‌های مردم

نهاد فعال در بخش گردشگری و انگیزه‌های اجتماعی کشاورزان برای قبول گردشگر توسط بعضی از خبرگان به شاخص‌های استخراج شده اضافه شدند.

جدول ٤- نتایج دور اول دلفی فازی

Table 4- Results of the first round of Fuzzy Delphi method

	مقدار دی فازی Defuzzify value	وضعیت Status	درصد اجماع Consensus percentage
C_{11}	3.35	تأیید شده Accepted	53
C_{12}	3.04	تأیید شده Accepted	27
C_{13}	3.75	تأیید شده Accepted	47
C_{14}	3.36	تأیید شده Accepted	40
C_{21}	2.78	عدم تأیید Rejected	47
C_{22}	4.20	تأیید شده Accepted	60
C_{23}	4.17	تأیید شده Accepted	53
C_{24}	4.23	تأیید شده Accepted	67
C_{25}	3.79	تأیید شده Accepted	47
C_{26}	3.55	تأیید شده Accepted	33
C_{27}	3.66	تأیید شده Accepted	47
C_{31}	3.42	تأیید شده Accepted	60
C_{32}	3.07	تأیید شده Accepted	53
C_{33}	2.70	عدم تأیید Rejected	27
C_{34}	3.05	تأیید شده Accepted	40
C_{35}	3.64	تأیید شده Accepted	40
C_{36}	4.13	تأیید شده Accepted	53
C_{37}	3.31	تأیید شده Accepted	40
C_{38}	3.02	تأیید شده Accepted	47
C_{39}	3.41	تأیید شده Accepted	53
C_{41}	3.10	تأیید شده Accepted	40
C_{42}	2.68	عدم تأیید Rejected	27
C_{43}	3.31	تأیید شده Accepted	33

C_{44}	3.00	تأیید شده Accepted	40
C_{51}	3.96	تأیید شده Accepted	33
C_{52}	2.32	عدم تأیید Rejected	40
C_{53}	3.40	تأیید شده Accepted	53
C_{54}	3.75	تأیید شده Accepted	47
C_{55}	4.19	تأیید شده Accepted	67
C_{56}	4.05	تأیید شده Accepted	53
C_{61}	3.05	تأیید شده Accepted	40
C_{62}	3.09	تأیید شده Accepted	47
C_{63}	3.02	تأیید شده Accepted	53
C_{64}	3.04	تأیید شده Accepted	53
C_{65}	3.05	تأیید شده Accepted	47
C_{71}	3.46	تأیید شده Accepted	53
C_{72}	3.02	تأیید شده Accepted	47
C_{81}	2.67	عدم تأیید Rejected	60
C_{82}	4.10	تأیید شده Accepted	47
C_{83}	2.72	عدم تأیید Rejected	27
C_{84}	3.25	تأیید شده Accepted	53
C_{85}	3.15	تأیید شده Accepted	53
C_{86}	2.82	عدم تأیید Rejected	33

دور دوم دلفی: پس از تحلیل پرسش‌نامه دور دوم دلفی و با توجه به جدول ۵ دو زیر شاخص، سازمان‌های مردم نهاد فعال در بخش گردشگری و انگیزه‌های اجتماعی کشاورزان برای قبول گردشگر که در دور اول دلفی توسط خبرگان معرفی شدند دارای مقادیر دی‌فازی ۳,۵۵ و ۳,۲۸ بودند و با توجه به اینکه مقادیر دی فازشان بالاتر از مقدار میانگین طیف پرسش‌نامه بود این دو زیر شاخص به زیر شاخص‌های استخراج شده اضافه شدند. در پایان دور دوم دلفی تعداد ۳۸ زیر شاخص دارای مقادیر دی فازی بالاتر از طیف میانگین بودند. در این مرحله زیر شاخصی حذف و یا اضافه نشد، امّا از آنجایی که در برخی از سؤالات تجمیع نظرات خبرگان حاصل نشده است (سطح توافق ۵۰ درصدی) بنابراین، هنوز به سطح توقف نرسیده‌ایم و باید به فرأیند روش دلفی ادامه دهیم.

دور سوم دلفی: در این مرحله به طراحی پرسش‌نامه دور سوم با توجه به نتایج به‌دست آمده از پرسش‌نامه دور دوم پرداخته شده است. در دور دوم سؤال کم اهمیتی نداشتیم همچنین شاخص جدیدی توسط خبرگان معرفی نشده بود که این نشان‌دهنده این است که زیر شاخص‌های ارائه شده در پرسش‌نامه تمام ابعاد پژوهش را در بر گرفته اند. در این مرحله پرسش‌نامه طراحی شده در گام قبل را به

همراه نتایج کلی به‌دست آمـده از دور دوم (تجمیـع نظـر خبرگـان و مقدار دی فازی سؤالات پرسش‌نامه دور دوم) را در اختیار خبرگان قرار می‌دهیم و سپس به جمع‌آوری پرسش‌نامه و تجزیه و تحلیل پاسـخ‌های به‌دست آمده می‌پردازیم.

جدول ۵- نتایج دور دوم دلفی فازی

Table 5- Results of the second round of Fuzzy Delphi method

	مقدار دی فازی Defuzzify value	وضعیت Status	درصد اجماع Consensus percentage
C_{11}	3.42	تأیید شده Accepted	53
C_{12}	3.4	تأیید شده Accepted	33
C_{13}	4.16	تأیید شده Accepted	60
C_{14}	3.51	تأیید شده Accepted	53
C_{22}	4.2	تأیید شده Accepted	60
C_{23}	4.13	تأیید شده Accepted	53
C_{24}	4.23	تأیید شده Accepted	67
C_{25}	3.85	تأیید شده Accepted	60
C_{26}	3.69	تأیید شده Accepted	40
C_{27}	3.69	تأیید شده Accepted	53
C_{31}	4.31	تأیید شده Accepted	73
C_{32}	3.07	تأیید شده Accepted	53
C_{34}	3.46	تأیید شده Accepted	53
C_{35}	3.64	تأیید شده Accepted	40
C_{36}	4.09	تأیید شده Accepted	53
C_{37}	3.42	تأیید شده Accepted	53
C_{38}	3.38	تأیید شده Accepted	60
C_{39}	3.41	تأیید شده Accepted	53
C_{41}	3.02	تأیید شده Accepted	47
C_{43}	3.44	تأیید شده Accepted	53
C_{44}	3.02	تأیید شده Accepted	53
C_{51}	3.49	تأیید شده Accepted	53
C_{53}	3.78	تأیید شده Accepted	53

C_{54}	3.48	تأیید شده Accepted	53
C_{55}	4.19	تأیید شده Accepted	67
C_{56}	3.82	تأیید شده Accepted	53
C_{61}	3.47	تأیید شده Accepted	53
C_{62}	3.09	تأیید شده Accepted	47
C_{63}	3.03	تأیید شده Accepted	60
C_{64}	3.08	تأیید شده Accepted	67
C_{65}	3.11	تأیید شده Accepted	60
C_{71}	3.52	تأیید شده Accepted	53
C_{72}	3.09	تأیید شده Accepted	53
C_{82}	3.74	تأیید شده Accepted	53
C_{84}	3.24	تأیید شده Accepted	60
C_{85}	3.48	تأیید شده Accepted	53
C_{57}	3.55	تأیید شده Accepted	60
C_{58}	3.28	تأیید شده Accepted	53

نتایج حاصل از محاسبات دور سوم در جدول ۶ ارائه شده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود مقدار دی فازی تمام سؤالات پژوهش بیشتر از مقدار میانگین طیف می‌باشد. بنابراین، همه شاخص‌ها پرسش‌نامه سوم مهم هستند. از طرف دیگر، همانند دور قبل هیچ شاخص جدیدی توسط خبرگان پیشنهاد نشده است. بنابراین، بر اساس این نتایج ما به هدف پژوهش یعنی شناسایی شاخص‌های مؤثر در فرایند ارزیابی ظرفیت گردشگری کشاورزی ایران رسیده‌ایم. امّا هنوز باید شرط اجماع یا توافق را نیز بررسی کنیم تا ببینیم آیا نسبت به همه شاخص‌ها تجمیع حاصل شده است یا خیر. برای بررسی شرط اجماع همان‌طور که در ابتدای کار توافق شد باید حداقل ۵۰ درصد خبرگان جواب یکسانی به یکی از گزینه‌های پاسخ برای هر سؤال داده باشند. با توجه به جدول بالا این شرط برای اکثر شاخص‌ها برقرار است، جز چند مورد از سؤالات که به توافق ۴۷ درصد رسیده‌اند که با توجه به نظر تیم تحقیق و با توجه به نزدیک بودن این مقدار به سطح توافق ۵۰ درصد نیاز به طراحی دور جدید نمی‌باشد و دورهای دلفی به پایان می‌رسد.

همان‌طور که در جدول ۶ نشان داده شده است، پس از اتمام مراحل دلفی تعداد ۳۸ زیر شاخص به‌منظور ارزیابی ظرفیت توسعه گردشگری کشاورزی ایران معرفی شد. شاخص هزینه شامل چهار زیر شاخص پذیرفته شده می‌باشد که عبارتند از: هزینه حمل و نقل، هزینه خرید محصولات کشاورزی، هزینه اسکان، هزینه غذا. شاخص مزرعه و محیط شامل شش زیر شاخص پذیرفته شده تعداد مزارع ارگانیک، تعداد باغ کشت‌ها، تعداد مزارع فعال، تعداد مزارع محصولات زینتی، چشم انداز و اقلیم می‌باشد و زیر شاخص، تعداد گونه‌های بومی با مقدار دی‌فازی شده ۲/۷۸ جزو زیر شاخص‌های تأیید شده نبود و حذف شد. شاخص زیر ساخت از بین شاخص‌های این پژوهش با تعداد هشت زیر شاخص پذیرفته شده، بیشترین زیر شاخص پذیرفته شده را دارا می‌باشد که این هشت زیر شاخص عبارتند از: مراکز درمانی، مراکز اقامتی و محل کمپ، دسترسی به سرویس بهداشتی و حمام، دسترسی به اتاق خواب، دسترسی به حمل و نقل عمومی،

سیستم مدیریت پسماند، تسهیلات ارتباطی از قبیل اینترنت، دسترسی به آب و برق.

جدول ٦- نتایج دور سوم دلفی فازی

Table 6- Results of the third round of Fuzzy Delphi method

	مقدار دی فازی Defuzzify value	وضعیت Status	درصد اجماع Consensus percentage
C_{11}	3.42	تأیید شده Accepted	53
C_{12}	3.39	تأیید شده Accepted	53
C_{13}	4.16	تأیید شده Accepted	60
C_{14}	3.51	تأیید شده Accepted	53
C_{22}	4.2	تأیید شده Accepted	60
C_{23}	4.13	تأیید شده Accepted	53
C_{24}	4.23	تأیید شده Accepted	67
C_{25}	3.85	تأیید شده Accepted	60
C_{26}	3.73	تأیید شده Accepted	53
C_{27}	3.69	تأیید شده Accepted	73
C_{31}	4.31	تأیید شده Accepted	67
C_{32}	3.07	تأیید شده Accepted	53
C_{34}	3.46	تأیید شده Accepted	53
C_{35}	3.68	تأیید شده Accepted	47
C_{36}	4.09	تأیید شده Accepted	53
C_{37}	3.42	تأیید شده Accepted	53
C_{38}	3.38	تأیید شده Accepted	60
C_{39}	3.41	تأیید شده Accepted	53
C_{41}	3.02	تأیید شده Accepted	47
C_{43}	3.44	تأیید شده Accepted	53
C_{44}	3.02	تأیید شده Accepted	53
C_{51}	3.49	تأیید شده Accepted	53
C_{53}	3.78	تأیید شده Accepted	53
C_{54}	3.48	تأیید شده Accepted	53

C_{55}	4.19	تأیید شده Accepted	67
C_{56}	3.82	تأیید شده Accepted	53
C_{61}	3.47	تأیید شده Accepted	53
C_{62}	3.09	تأیید شده Accepted	47
C_{63}	3.03	تأیید شده Accepted	60
C_{64}	3.08	تأیید شده Accepted	67
C_{65}	3.11	تأیید شده Accepted	60
C_{71}	3.52	تأیید شده Accepted	53
C_{72}	3.09	تأیید شده Accepted	53
C_{82}	3.74	تأیید شده Accepted	53
C_{84}	3.24	تأیید شده Accepted	60
C_{85}	3.48	تأیید شده Accepted	53
C_{57}	3.58	تأیید شده Accepted	60
C_{58}	3.62	تأیید شده Accepted	53

در مورد شاخص زیر ساخت، زیر شاخص دسترسی به هتل با مقدار دی فازی ۲/۷ در دور اول دلفی، از پرسش‌نامه دور دوم حذف شد و در بین زیر شاخص‌های پذیرفته شده قرار نگرفت. شاخص قوانین، مقررات و سیاست‌گذاری دارای سه زیر شاخص پذیرفته شده وجود مقررات گردشگری کشاورزی، برنامه های ترویجی گردشگری کشاورزی و سرمایه‌گذاری دولتی برای توسعه گردشگری کشاورزی می‌باشد و در مورد این شاخص، زیر شاخص "وام‌های در دسترس برای توسعه گردشگری مزرعه" با مقدار دی فازی ۲/۶۸ نتوانست امتیاز لازم را کسب کند و حذف شد. شاخص توانایی و دیدگاه جامعه میزبان شامل هفت زیر شاخص پذیرفته شده می‌باشد که این هفت زیر شاخص عبارتند از: جمعیت فعال بخش کشاورزی، نیاز کشاورزان به منابع درآمدی مازاد، سطح تحصیلات بخش کشاورزی، مهمان‌نوازی و تمایل به قبول گردشگر، نیروی کار آموزش‌دیده برای بخش گردشگری کشاورزی، سازمان‌های مردم‌نهاد فعال در بخش گردشگری و انگیزه‌های اجتماعی کشاورزان. از بین این هفت زیر شاخص دو زیر شاخص سازمان‌های مردم نهاد فعال در بخش گردشگری و انگیزه‌های اجتماعی کشاورزان توسط پانل خبرگان در دور اول دلفی معرفی شدند و توانستند با مقادیر دی فازی ۳/۵۸ و ۳/۶۲ جزو زیر شاخص‌های پذیرفته شده قرار گیرند همچنین زیر شاخص تعداد جوانان منطقه با مقدار دی‌فازی ۲/۳۲ در دور اول دلفی حذف شده بود. شاخص سرگرمی و خرید شامل پنج زیر شاخص پذیرفته شده امکان مشارکت در فعالیت‌های کشاورزی، امکان مشارکت در فعالیت‌هایی که مشارکت خانواده در آن امکان‌پذیر است، فرصت آموزش فعالیت‌های کشاورزی، امکان خرید کالاهای کشاورزی و امکان مشارکت در فعالیت‌های تفریحی غیر مرتبط با کشاورزی مانند اسب سواری می‌باشد، در مورد این شاخص هیچ زیر شاخص حذف شده‌ای نداشتیم و تمام زیر شاخص‌های استخراج شده توانستند امتیاز لازم را کسب کنند. شاخص امنیت و ایمنی با دو زیر شاخص امنیت منطقه و ایمنی مزارع دارای کمترین زیر شاخص بود که هر دو این زیر شاخص‌ها به‌ترتیب با مقادیر دی‌فازی شده ۳/۵۲ و ۳/۰۹ جزو زیرشاخص‌های پذیرفته شده می‌باشند. شاخص جاذبه‌های گردشگری منطقه شامل شش زیر شاخص استخراج شده بود که از

بین این سه زیر شاخص تنها سه زیر شاخص جشنواره‌های کشاورزی و محلی، جاذبه‌های فرهنگی و تاریخی و فعالیت‌های سنتی مربوط به کشاورزی مانند گلاب‌گیری مقدار دی‌فازی بالاتر از عدد سه داشتند و پذیرفته شدند و سه زیر شاخص تعداد گردشگرانی که سالانه از منطقه بازدید می‌کنند، پارک‌های طبیعی و جاذبه‌های طبیعی منطقه از این شاخص، حذف شدند.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این مطالعه تعیین شاخص‌های ارزیابی ظرفیت توسعه گردشگری کشاورزی ایران به‌منظور کمک به سرمایه‌گذاران و برنامه‌ریزان برای شناسایی مناطق دارای استعداد توسعه گردشگری کشاورزی می‌باشد. توسعه گردشگری کشاورزی سبب می‌شود تا کشاورزان انگیزه و درآمد جدید برای باقی ماندن در شغلشان کسب کنند و این امر سبب توسعه مناطق روستایی می‌شود. برای ارزیابی ظرفیت توسعه گردشگری کشاورزی و مقایسه توانایی مناطق مختلف در توسعه این صنعت به شاخص‌هایی برای ارزیابی ظرفیت توسعه گردشگری نیاز است و از آنجا که تا به حال در ایران مطالعه‌ای به این منظور انجام نشده است، مطالعه حاضر با هدف شناسایی این شاخص-ها انجام گرفت. برای شناسایی شاخص‌ها ابتدا به‌وسیله روش نمونه‌گیری زنجیره‌ای یا همان گلوله برفی اعضای پانل یا همان متخصصان فعال در بخش گردشگری کشاورزی ایران شناسایی شدند و سپس با استفاده از مصاحبه با این متخصصان و روش دلفی فازی شاخص‌های مورد نظر انتخاب شدند.

نتایج این مطالعه نشان داد که هشت شاخص و ۳۸ زیر شاخص برای ارزیابی ظرفیت توسعه گردشگری کشاورزی ایران باید مورد توجه قرار گیرند. این هشت شاخص عبارتند از "هزینه"، "مزرعه و محیط"، "زیر ساخت"، "قوانین، مقررات و سیاست‌گذاری"، "توانایی و دیدگاه جامعه میزبان"، "سرگرمی و خرید"، "امنیت و ایمنی" و "جاذبه‌های گردشگری". شاخص هزینه شامل چهار زیر شاخص پذیرفته شده هزینه حمل و نقل، هزینه خرید محصولات کشاورزی، هزینه اسکان و هزینه غذا می‌باشد. شاخص مزرعه و محیط شامل شش زیر شاخص پذیرفته شده تعداد مزارع ارگانیک، تعداد باغ کشت‌ها، تعداد مزارع فعال، تعداد مزارع محصولات زینتی، چشم‌انداز و اقلیم می‌باشد. شاخص زیر ساخت شامل هشت زیر شاخص پذیرفته شده می‌باشد که عبارتند از مراکز درمانی، مراکز اقامتی و محل کمپ، دسترسی به سرویس بهداشتی و حمام، دسترسی به اتاق خواب، دسترسی به حمل و نقل عمومی، سیستم مدیریت پسماند، تسهیلات ارتباطی از قبیل اینترنت و دسترسی به آب و برق. شاخص قوانین، مقررات و سیاست‌گذاری دارای سه زیر شاخص پذیرفته شده وجود مقررات گردشگری کشاورزی، برنامه‌های ترویجی گردشگری کشاورزی و سرمایه‌گذاری دولتی برای توسعه گردشگری کشاورزی می‌باشد. شاخص توانایی و دیدگاه جامعه میزبان دارای هفت زیر شاخص جمعیت فعال بخش کشاورزی، نیاز کشاورزان به منابع درآمدی مازاد، سطح تحصیلات بخش کشاورزی، مهمان‌نوازی و تمایل به قبول گردشگر، نیروی کار آموزش دیده برای بخش گردشگری کشاورزی، سازمان‌های مردم نهاد فعال در بخش گردشگری و انگیزه‌های اجتماعی می‌باشد. شاخص سرگرمی و خرید دارای پنج زیر شاخص امکان مشارکت در فعالیت‌های کشاورزی، امکان مشارکت در فعالیت‌هایی که مشارکت خانواده در آن امکان‌پذیر است، فرصت آموزش فعالیت های کشاورزی، امکان خرید کالاهای کشاورزی و امکان مشارکت در فعالیت‌های تفریحی غیر مرتبط با کشاورزی می‌باشد. شاخص امنیت و ایمنی دارای دو زیر شاخص امنیت منطقه و ایمنی مزارع می‌باشد و در نهایت، شاخص جاذبه‌های گردشگری منطقه شامل سه زیر شاخص پذیرفته شده جشنواره‌های کشاورزی و محلی، جاذبه‌های فرهنگی و تاریخی و فعالیت‌های سنتی کشاورزی می‌باشد.

در ایران مطالعات کمی در مورد گردشگری کشاورزی مخصوصاً در زمینه شناسایی شاخص‌های ارزیابی ظرفیت توسعه این صنعت وجود دارد و از آنجا که صنعت گردشگری کشاورزی در دنیا به‌سرعت در حال توسعه است و نقش مهمی در توسعه روستایی داشته نیاز است در ایران بیشتر مورد توجه قرار گیرد و قدم اول در این راه شناسایی مناطق مستعد برای توسعه این صنعت می‌باشد. بنابراین، توصیه می-شود در مطالعات آینده به وزن‌دهی این شاخص‌ها و مطالعه و مقایسه پتانسیل روستاهای کشور ایران بر اساس شاخص‌های استخراج شده در این مطالعه و وزن اختصاص یافته به هر شاخص پرداخته شود. امید است که این مطالعه در آینده برای افرادی که در مورد این موضوع تحقیق می‌کنند، مفید باشد.

References

Artuğer, S., and Kendir, H., 2013. Agritourist motivations: The case of Turke. International Journal of Business and Management 8(21): 63-69.

Bakhtiari, B., and Bakhtiari, A., 2013. Determination of tourism climate index in Kerman province. Desert 18(2): 113-126.

Bernardo, D., Valentin, L., and Leatherman, J., 2004. Agritourism: if we build it, will they come. In Risk and Profit Conference, Manhattan, KS, pp. 19-20.

Blancas, F., Lozano-Oyola, M., González, M., Guerrero, F.M., and Caballero, R., 2011. How to use sustainability indicators for tourism planning: The case of rural tourism in Andalusia (Spain). Science of the Total Environment 412: 28-45.

Brown, D.M., and Reeder, R.J., 2007. Farm-based recreation: A statistical profile. USDA; Economic Research Report Number 53, Washington. D.C.

Busby, G., and Rendle, S., 2000. The transition from tourism on farms to farm tourism. Tourism management 21(6): 635-642.

Chang, P., Hsu, C.W., and Chang, P.C., 2011. Fuzzy Delphi method for evaluating hydrogen production technologies. International Journal of Hydrogen Energy 36(21): 14172-14179.

Dalkey, N.C., 1969. The Delphi method: An experimental study of group opinion. No. RM-5888-PR. RAND CORP SANTA MONICA CALIF.

Dubois, C., Cawley, M., and Schmitz, S., 2017. The tourist on the farm: A 'muddled'image. Tourism management 59: 298-311.

Hatch, A.D., 2008. Agri-tourism: A new agricultural business enterprise. LSU Ag Center Research and Extension.

Hsu, Y., Lee, C.H., and Kreng, V.B., 2010. The application of fuzzy delphi method and fuzzy AHP in lubricant regenerative technology selection. Expert Systems with Applications 37(1): 419-425.

Statistica. 2021. Total contribution of travel and tourism to gross domestic product (GDP) worldwide from 2006 to 2020. Available online at: https://www.statista.com/search/?q=tourism+2017&qKat=search

Kaufman, A., and Gupta, M.M., 1988. Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Application, Van no Strand Reinhold. New York.

Kidd, J., 2011. Hospitality on the farm: The development of a systems Model of farm tourism. Asean Journal on Hospitality and Tourism 10(1): 17-26.

Rural tourism in Europe: experiences, development and perspectives, Belgrade, Serbia and Montenegro 24-25 June 2002, Kielce, Poland, 6-7 June 2003, Yaremcha, Ukraine, 25-26 September 2003 (2004): 195-199.

Liu, Weng-Kun., 2013. Application of the fuzzy delphi method and the fuzzy analytic hierarchy process for the managerial competence of multinational corporation executives. International Journal of e-Education, e-Business, e-Management and e-Learning 3(4): 313.

Maruti, K.V., 2009. Agro-tourism: Scope and opportunities for the farmers in Maharashtra. IndiaStat; Sept-Oct, 1-11.

Mearns, K.F., 2012. Lessons from the application of sustainability indicators to community-based ecotourism ventures in Southern Africa. African Journal of Business Management 6(26): 7851-7860.

Miandehi, P.M., and Masrouri, M.Y., 2013. Assessment of SWOT model on tourism industry in sustainable development of rural areas: Case study on Bandar-E Anzali. World Applied Sciences Journal 21(3): 455-464.

Naderifar, M., Goli, H., and Ghaljaie, F., 2017. Snowball sampling: A purposeful method of sampling in qualitative research. Strides in Development of Medical Education 14(3): e67670.

Ochterski, J., and Roth, M., 2008. Getting started in agritourism. Cornell Cooperative Extension; The University of Vermont, Publication Number 825; 34 Pp.

Oh, Chi-Ok., 2005. The contribution of tourism development to economic growth in the Korean economy. Tourism Management 26(1): 39-44.

Page, S., and Getz, D., 1997. The business of rural tourism: International perspectives. Cengage Learning EMEA, 1st Edition; 240 pp.

Park, D.B., and Yoon, Y.S., 2011. Developing sustainable rural tourism evaluation indicators. International Journal of Tourism Research 13(5): 401-415.

Santucci, F.M., 2015. Agritourism for rural development in Italy, evolution, situation and perspectives. Fundamental

and Applied Studies in the Modern World pp. 315.

Srikatanyoo, N., and Campiranon, K., 2010. Agritourist needs and motivations: The Chiang Mai case. Journal of Travel and Tourism Marketing 27(2): 166-178.

Tsaur, S.H., and Wang, C.H., 2007. The evaluation of sustainable tourism development by analytic hierarchy process and fuzzy set theory: An empirical study on the Green Island in Taiwan. Asia Pacific Journal of Tourism Research 12(2): 127-145.

Walker, M.A., 2009. Agritourism: Ideas and resources. Virginia Cooperative Extension. Publication 310-004.

Zarei, B., and Chaqoei, Y., 2014. Organizational pathology of project-oriented companies: Iran Water and Power Resources Development Company. Development and Evolution Management 16: 41-49. (In Persian with English Summary)

Sadeghi, A., Azar, A., Valmohammadi, C., 2018. Designing a performance evaluation model for service supply chain using neural-fuzzy networks to increase service quality and productivity (Case study: home appliance companies in Iran). Scientific Journal of Engineering and Quality Management. (In Persian with English Summary)

Seidali, M., Soleimangoli, R., and Gharaghozloo, H., 2012. Investigation tourism consquencese on rural development: The case of Chehel Chay rural district in Minodasht city. Geographical Journal of Tourism Space 1(3): 69-88. (In Persian with English Summary)

Azami, A., Heshmati, J.M., Sulaimany, A. and Alibaygi, A., 2016. Explanation of tourism effects to sustainable rural development: (Case study: Ryjab village in Dalahoo city, Kermanshah province). Heritage and Tourism; 1(1): 1-21 (In Persian with English Summary).

Jayne, T.S., Chamberlin, J., and Headey, D.D., 2014. Land pressures, the evolution of farming systems, and development strategies in Africa: A synthesis. Food Policy 48: 1-17.

OECD., 2016. Agriculture in Sub-Saharan Africa: Prospects and challenges for the next decade. In: OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025, OECD Publishing, Paris. https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2016-5-en.

Boz, A., and Sercek, S., 2016. The Role of Tourism in Regional Development and Its Effects on Economic Development. PROCEEDINGS E-BOOK II, p. 41.

Veljković, B., and Broćić, Z., 2017, June. Agritourism and Rural Development. In: TISC-Tourism International Scientific Conference Vrnjačka Banja 2(2): 480-499.

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 669-687

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۶۸۷-۶۶۹

Determining Indicators for Agritourism Development Potential Evaluation in Iran

M. Zare[1], A. Mahdavi Damghani[2*], H. Mahmoudi[3], F. Aghamir[3] and F. Asadian Ardakani[4]

Submitted: 20-07-2020
Accepted: 26-07-2020

Zare, M., Mahdavi Damghani, A., Mahmoudi, H., Aghamir, F., and Asadian Ardakani, F., 2022. Determining indicators for agritourism development potential evaluation in Iran. Journal of Agroecology 13(4):669-687.

Introduction

Tourism is still based on the significant role of human resources, regardless of technological development in the world, so that this industry leads to direct employment in sub-sectors of industry and indirect employment in many activities. Tourism is one of the most important industries in the contemporary world. Despite the growth of tourism, the agriculture industry is facing a growing number of challenges, such as intensifying market competition, limited access to lands, increasing cost of inputs and lower commodity prices, which has led to lower incomes for small-scale farms around the world. Therefore, in order to survive, agriculture has to find a way to add value to its products and create reliable sources of income. Agritourism provides many economic, educational, and social benefits to producers, consumers (tourists) and society. Besides, agritourism motivates farmers to stay in this job. Agritourism is a job that farmers and ranchers do during agricultural, horticultural or agricultural business activities, intending to create entertainment, leisure and gain experience for visitors and educate them, without replacing service activities with productive activities, this also raises farmers' incomes.

Materials and Methods

After choosing the Fuzzy Delphi method, we formed the implementation, guidance, and monitoring teams. Then, the initial indicators and sub-indicators were extracted to develop a preliminary questionnaire. In the next step, the questionnaire, whose questions were based on those sub-indicators, was designed. Then, the questionnaires were validated and sent to the elected specialists in different Delphi rounds. After the experts' answers were collected, the desired indicators were selected. For picking the indicators, the fuzzy value of each question was calculated and converted to a defuzzification value and later compared to the threshold value.

Results and Discussion

After three rounds of Fuzzy Delphi method, indicators and sub-indicators were chosen. In the first round of the Fuzzy Delphi method, seven sub-indicators were removed from 43 extracted ones. In addition, at this stage, two sub-indicators of non-governmental organizations active in the tourism sector and farmers' social incentives to accept tourists were added to the extracted indicators. At the end of the second round, 38 sub-indicators had defuzzification value above the mean range. At this stage, these indicators were not removed or added, but since some of the questions did not include the consensus of experts' opinions, Fuzzy Delphi process entered the third round. After the third round of Fuzzy Delphi and reviewing its results, we found that the defuzzification values of all research questions in this round are greater than the mean range. Therefore, all the indicators of the third questionnaire are valuable. On the other hand, in the previous round, no new indicators have been proposed by experts, therefore, based on these results, we have reached the research goal to identify effective indicators in the

1- Ph.D. Student of Agroecology Department, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
2- Associate Professor, Agroecology Department, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
3- Assistant Professor, Agroecology Department, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
4- Assistant Professor, Economic, Management, and Accounting Department - Tourism Management. Yazd University, Iran.
(* Corresponding author: Mmd323@yahoo.com)
Doi:10.22067/jag.v13i4.87833

process of assessing the capacity of agritourism in Iran. There is also a condition of consensus or agreement for all questions, which represents the Fuzzy Delphi method completion and the indicators' selection.

Conclusion

The results of this study represent that eight indicators and 38 sub-indicators should be considered to evaluate the development potential of agritourism in Iran. The indicators are as follows: cost, farm and environment, infrastructure, rules and regulations and policy, attitude and ability of the host community, fun and shopping, security and safety and last but not least, tourist attractions. There are few studies on agritourism in Iran, and since the agritourism industry plays an important role in rural development in the world, it needs to be given more attention in Iran. Therefore, in future studies, it is recommended to weigh these indicators and study and compare the potential of Iranian villages based on the indicators extracted in this study and the weight assigned to each indicator.

Keywords: Agricultural festival, Fuzzy Delphi, Rural development, Rural tourism

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 689-704

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۷۰۴-۶۸۹

مقاله پژوهشی

تأثیر تاریخ کاشت بر ویژگی‌های کمّی و کیفی یونجه حلزونی (*Medicago scutellata* L.) تحت تأثیر عمق کشت و میزان بذر مصرفی

سعید شرفی[1*] و محمود رمرودی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۰۹

شرفی، س.، و رمرودی، م.، ۱۴۰۰. تأثیر تاریخ کاشت بر ویژگی‌های کمّی و کیفی یونجه حلزونی (*Medicago scutellata* L.) تحت تأثیر عمق کشت و میزان بذر مصرفی. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۴): ۷۰۴-۶۸۹.

چکیده

با توجه به سازگاری یونجه حلزونی (*Medicago scutellata* L.) به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک کشور، تأمین علوفه با کیفیت، تثبیت نیترو ن و جلوگیری از فرسایش خاک جایگاه مهمی در تناوب زراعی یافته است، بنابراین، بررسی عوامل مدیریت زراعی در بهبود عملکرد کمّی و کیفی آن اهمیت بسیاری دارد. هدف از این پژوهش، ارزیابی تأثیر عوامل مدیریت زراعی تاریخ کاشت (۱۵ و ۳۱ تیر ماه ۱۳۹۶)، عمق کاشت (۱ و ۲ سانتی‌متر) و میزان بذر مصرفی (۲/۵، ۷/۵، ۱۲/۵ و ۱۷/۵ کیلوگرم در هکتار معادل ۲۰، ۵۰، ۸۵ و ۱۲۵ بوته در مترمربع) بر ویژگی‌های کمّی و کیفی علوفه یونجه حلزونی در شرایط اقلیمی اراک بود. آزمایش به‌صورت اسپیلت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد، که تاریخ کاشت در کرت اصلی، عمق کاشت و میزان بذر در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین وزن علوفه خشک و وزن خشک ساقه (به‌ترتیب ۲۸۸۴/۱۳ و ۱۶۳۱/۷۱ کیلوگرم در هکتار) در تیمار میزان بذر مصرفی ۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار، در عمق کاشت یک سانتی‌متر و در تاریخ کاشت ۳۱ تیر مشاهده شد. بر همین اساس میزان علوفه خشک حاصل از تاریخ کاشت ۳۱ تیر ۱۰/۷۷ درصد و عمق کاشت یک سانتی‌متر ۱۹/۸۴ درصد به‌ترتیب بیشتر از تاریخ کاشت ۱۵ تیر و عمق کاشت دو سانتی‌متر گزارش گردید. سهم وزن خشک ساقه در تاریخ کاشت ۳۱ تیر و عمق کاشت یک سانتی‌متر به‌ترتیب ۵۳/۹۶ و ۵۵/۲۴ درصد از کل علوفه خشک بود. هم‌چنین سهم وزن خشک غلاف و برگ از علوفه خشک برای تاریخ کاشت ۳۱ تیر به‌ترتیب ۳۴/۱۳ و ۱۱/۹۱ درصد و برای عمق کاشت یک سانتی‌متر به‌ترتیب ۳۳/۵۶ و ۱۱/۱۸ درصد گزارش گردید. با افزایش مقدار بذر مصرفی، درصد الیاف افزایش و درصد پروتئین خام رو به کاهش نهاد. با در نظر گرفتن قدرمطلق مقدار شیب (ضریب x) معادلات مربوط به این دو ویژگی مشخص گردید که تأثیرپذیری درصد الیاف از تراکم بیشتر از اثرپذیری درصد پروتئین خام از این تیمار است. با توجه به نتایج به‌دست آمده تاریخ کاشت ۳۱ تیر، عمق کاشت یک سانتی‌متر و میزان بذر مصرفی ۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار، عملکرد کمّی و کیفی بهتری را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: درصد الیاف، درصد پروتئین، شاخص سطح برگ، عملکرد علوفه، کشت تابستانه

مقدمه

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی محیطزیست، دانشکده کشاورزی و محیطزیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران.
۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
(*- نویسنده مسئول
(Corresponding author: s-sharafi@araku.ac.ir
Doi:10.22067/jag.v13i4.85812

با توجه به روند صعودی افـزایش جمعیـت و در نتیجـه، اعمـال شیوه‌های مدیریت زراعی نامناسب در دهه‌های گذشته، استفاده بهینه اراضی یکی از موضوعات مهم در کشاورزی است. بنـابراین، افـزایش تولید محصولات متنوع در راستای کشاورزی پایداری و حفـظ منـابع اراضی اهمیت بسیاری دارد (Bidadi et al., 2014). یونجه حلزونـی (*Medicago scutellata* Var. Robinson) به لحاظ خوش‌خوراکی، مواد معدنی و ویتامین‌ها می‌تواند نقـش مهمـی در تغذیـه دام داشـته باشد. علاوه‌براین، مـی‌توانـد در حفـظ خـاک در مقابـل فرسـایش و هم‌چنین افزایش نیتروژن خاک مؤثر باشـد (Yousfi et al., 2010; Shabani et al., 2015). هر چند گونه‌هـای تیـره بقـولات توانـایی مقابله با خشکی را دارند و این موضوع بر پراکنش آن‌هـا در منـاطق خشک تأثیر گذاشته اسـت (Eric et al., 2010)، امّـا در ایـن میـان یونجه حلزونی یکی از گیاهان مهم برای تغذیه دام‌ها می‌باشد، که از وسعت پراکندگی آن می‌توان نتیجـه گرفـت کـه ایـن گیـاه قابلیـت محصول‌دهی بالا در دامنه‌ی وسیعی از نظر خاک و شرایط اقلیمی را دارا می‌باشد و حتی در شرایط سخت آب‌وهوایی می‌تواند علوفه‌ای بـا کیفیت بالا تولید کند (Esfandiari et al., 2008; Sharafi, 2020).

یکی از روش‌های موجود جهـت افـزایش حاصـلخیزی خـاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک وارد کردن بقولات یـک‌سـاله (بـه‌ویـژه یونجه حلزونی) در سیستم تناوب زراعی غله–لگوم می‌باشـد. یونجـه حلزونی یکی از مهم‌ترین گیاهان علوفه‌ای یک‌ساله در جهان به‌شمار می‌رود (Bagheri & Asadi, 2019)، که علاوه‌بر کاهش مشـکلات ناشی از آیش (جایگزین آیش)، افـزایش عملکـرد غـلات در تنـاوب زراعی را نیـز در پـی دارد (Bauchan, 1993). از بـین واریتـه‌هـای مختلف یونجه حلزونی، واریته رابینسون می‌تواند یکی از ظرفیت‌های بالقوه اصلی در کشاورزی پایدار باشد، زیرا قادر است در شرایط زراعت آبی، با یک چین طی ۶۰ تا ۷۰ روز پس از کاشت، حدود پنج تا شش تن علوفه خشک در هکتار تولید نماید (Shabani et al., 2015). بـر اساس نتایج مطلعات سندگل و همکاران (Sandgoul et al., 2006)، دری و همکـاران (Dorri et al., 2007) و شـعبانی و همکـاران (Shabani et al., 2015) در مقایسه گونه‌های یونجه حلزونی، گونه *scutellata* مقاوم به خشکی بوده و مناسب‌ترین مقدار بـذر مصـرفی برای آن در مناطق خشک از ۱۰ تا ۲۰ کیلوگرم در هکتار (بسـته بـه زراعت دیم یا آبی) متغیر است و عملکرد علوفه‌تر آن نیز بین ۹–۶ تن در هکتار می‌باشد. در کشت بهاره یونجه حلزونی، میزان علوفه خشک تولیدی در بذر مصرفی ۱۴ کیلوگرم در هکتار و در شرایط آب‌وهوایی نیمه‌خشک، سه تا پنج تن در هکتار گزارش شد (Qeisarian, 2007). در مطالعه شرفی و همکاران (Sharafi et al., 2008) میزان عملکرد ماده خشک یونجه حلزونی در کشت تابستانه (به‌عنوان جایگزین آیش تابسـتانه) و تـراکم ۸۵ بوتـه در مترمربـع ۲۶۳۲ کیلـوگرم در هکتـار به‌دست آمد.

با اینکه یونجه‌های حلزونی به‌طور بالقوه، از خوشـخوراکی بـالا، مواد معدنی مختلـف از جملـه کلسـیم، پـروتئین و هـم‌چنـین انـواع ویتامین‌ها به‌ویژه ویتامین‌های A وC برخوردارند، مـدیریت زراعـی و عوامل اقلیمی و خاکی می‌توانند کیفیت آن را تحت تأثیر قرار دهنـد. علی‌رغم برخورداری این گیاه از ویژگی‌های کیفی زیـاد و هـم‌چنـین تحمل خوب نسبت به شرایط تنش خشکی (Walsh et al., 2001; Sharafi et al., 2012)، انتخـاب تـاریخ کاشـت مناسـب مـی‌توانـد پتانسیل گیاه را برای مقابله با شرایط محیطی بهبود ببخشد (Hamidi & Safarnejad, 2010). علاوه‌براین، عوامل دیگری از جملـه عمـق کاشت و میزان بذر مصرفی می‌توانند نقش به‌سزایی در رشد و عملکرد علوفه این گیاه داشته باشند. حساسیت بالای یونجه حلزونی به تراکم توسـط سـایر محققـین تأییـد شـده اسـت (Sandgoul, 2006; Qeisarian, 2007). بنابراین، انطباق شرایط محیطی (اعم از میـزان بذر مصرفی، دمای خاک و هوا، رطوبت خاک، میزان امـلاح خـاک و شرایط خشکی) در چارچوب انتخاب تاریخ کاشت مناسـب بـرای هـر منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است. هم‌چنین تحقیقات نشـان داد که عمق قرار گرفتن بـذر نقـش مهمـی در سـبز شـدن گیـاه دارد و بنابراین، کشت عمیق بذرها منجر به استقرار ضعیف گیاهچه‌ها خواهد شد. از طرف دیگر، انتخاب دقیق عمق کاشت، گیاهچه‌های قوی‌تـر، تسریع در گل‌دهی، افزایش عملکرد دانه و در نهایت، ایجاد بانک بذر غنی‌تری را در پی خواهد داشت (Otroshi et al., 2009; Delpozo & Ovalle, 2009; Shabani et al., 2012).

مطالعات انجام شده روی این گیاه به‌منظور بررسـی تأثیرپـذیری ویژگی‌های کیفی و کمّی علوفه از عوامل مختلف زراعی بسیار محدود است. نکته قابل ذکر دیگر این گیاه سـختی بـذر آن اسـت کـه روی تاریخ کاشت، عمق کشت و مقدار بذر مصرفی تأثیر می‌گذارد. اصـولاً تأثیر عمق کاشت بر یونجه‌های حلزونی از اهمیت خاصـی برخـوردار است، زیرا از یک طرف، درصـد قابـل تـوجهی از یـک تـوده بـذری، اصطلاحاً "بذر سخت" وجود دارد و از طرف دیگر، کشت عمیق باعث

ایجاد محور زیرلپه کوچک شده و به‌خاطر پایین بودن وزن هزاردانه این گیاه، سبزشدن با مشکل روبه‌رو می‌شود. بنابراین، هدف از این پژوهش از یک سو، معرفی یک گیاه سریع‌الرشد تحت عنوان گیاه پوششی و جایگزین آیش تابستانه به تناوب زراعی جهت بهره‌وری بیشتر از منابع آب و زمین و از سوی دیگر، ارزیابی تأثیر مدیریت زراعی شامل؛ تاریخ کاشت، عمق کاشت و میزان مصرف بذر، بر عملکرد کمّی و کیفی علوفه حاصل از یونجه حلزونی در شرایط آب و هوایی شهر اراک بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه اراک با موقعیت طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۶۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۳ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۷۴۹ متر از سطح دریا اجرا شد. بر اساس اطلاعات سازمان هواشناسی، میانگین دمای سالانه ۱۳/۳۶ درجه سانتی‌گراد (دمای حداکثر و حداقل به‌ترتیب ۲۰/۱۱ و ۶/۶ درجه سانتی‌گراد)، میانگین رطوبت نسبی ۴۵/۷۳ درصد و میزان تبخیر و تعرق پتانسیل ۱۳۳۳/۰۲ میلی‌متر در سال بود. علاوه‌بر آن، متوسط بارندگی در این منطقه ۳۱۱/۲ میلی‌متر بود، که بر اساس نتایج مطالعات اقلیمی درازمدت، بیش از ۹۰ درصد بارش‌ها در ماه‌های مهر تا اردیبهشت رخ می‌دهد. از تقسیم مقدار بارندگی بر میزان تبخیر و تعرق پتانسیل شاخص خشکسالی یونسکو تعیین می‌گردد. بر اساس این شاخص مقادیر بین ۰/۲ تا ۰/۵ معادل اقلیم نیمه‌خشک در نظر گرفته می‌شود (Sharafi et al., 2017). با توجه مقادیر بارندگی و تبخیر و تعرق شهر اراک، میزان شاخص خشکی یونسکو به‌میزان ۰/۲۲۸ تعیین گردید. برخی خصوصیات فیزیکی و وضعیت عناصر غذایی خاک محل آزمایش در جدول ۱، آمده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1- The climatic, physical and chemical attributes of experimental farm

خاک Soil									
عمق Depth (cm)	اسیدیته pH	شوری EC (ds.cm-3)	وزن مخصوص ظاهری Bulk density (g.cm-3)	کربن‌آلی O.C (%)	ماده‌آلی O.M	رس Clay	شن Sand	سیلت Silt	بافت Texture
0-30	7.14	2.2	1.56	1.12	0.65	34.11	31.2	34.69	رسی-لومی Clay-Loam
30-60	7.3	2.5	1.51	1.1	0.63	31.18	36.12	32.7	
عناصر غذایی Nutrients									
عمق Depth (cm)	نیتروژن کل T.N (%)	فسفر قابل جذب P available (mg.kg-1)	پتاسیم قابل جذب K available (mg.kg-1)	گوگرد قابل جذب S available (mg.kg-1)	کلسیم قابل‌جذب Ca available (mg.kg-1)	منیزیم قابل جذب Mg available (mg.kg-1)	آهن قابل جذب Fe available (mg.kg-1)	روی قابل جذب Zn available (mg.kg-1)	مس قابل جذب Cu available (mg.kg-1)
0-30	0.12	22	314	0.1	524	253	6.91	1.17	1.45
30-60	0.16	70	159	0.1	403	139	3.3	6.1	2.3

آزمایش به‌صورت اسپیلت پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد، که تاریخ کاشت در کرت‌های اصلی، عمق کاشت و میزان بذر مصرفی در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. در این پژوهش اثرات دو تاریخ کاشت (۱۵ و ۳۱ تیر ماه ۱۳۹۶)، دو عمق کاشت (۱ و ۲ سانتی‌متر) و چهار سطح بذر مصرفی (۲/۵، ۷/۵، ۱۲/۵ و ۱۷/۵ کیلوگرم در هکتار معادل۲۰، ۵۰، ۸۵ و ۱۲۵ بوته در مترمربع) بررسی گردید. مراحل عملیات آماده‌سازی زمین شامل؛ شخم، دیسک و ماله به نحو مطلوب بافاصله پس از برداشت گندم پاییزه در ۱۲ تیر ماه صورت گرفت. پس از در آوردن شیارها، نقشه آزمایش روی زمین پیاده شد. مساحت هر کرت آزمایشی شش مترمربع (۳×۲ مترمربع) که شامل؛ شش ردیف کاشت به فاصله ۲۵ سانتی‌متر بود. فاصله بین هر تکرار سه متر و بین هر کرت دو متر تعیین گردید. در این طرح از هیچ گونه کود شیمیایی استفاده نشد. متوسط وزن هزاردانه یونجه حلزونی ۱۸/۱ گرم بود. شایان توجه است که به‌علت سختی بذر، متوسط تعداد بذرهای جوانه زده کم می‌باشد (Sharafi et al., 2019). به‌دلیل اینکه بذر مورد استفاده از محل کشت سال قبل جمع‌آوری شده بود، مقادیر بذر مصرفی بر اساس میزان درصد جوانه‌زنی و در شرایط آزمایشگاهی تعیین شد. در همین

راستا تعداد ۴۰۰ بذر در چهار تکرار در شرایط آزمایشگاهی جهت آزمون جوانه‌زنی انتخاب گردید. بر اساس نتایج اولیه، متوسط درصد جوانه‌زنی ۶۵/۶۴ درصد گزارش گردید. به‌همین منظور جهت افزایش درصد جوانه‌زنی قبل کاشت بذرها را با استفاده از مالش با ماسه خراش داده، سپس اقدام به کشت آن‌ها شد.

با توجه به محدودیت منابع آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک نظیر شهر اراک، پایش توزیع رطوبت در نیم‌رخ خاک جهت اجرای برنامه صحیح در مدیریت آبیاری حائز اهمیّت بسیاری است. جهت تعیین مقادیر رطوبت خاک برای هر یک از تاریخ‌های کاشت از کلیه ۴۸ کرت آزمایشی در مراحل؛ یک روز قبل از کاشت[۱]، ۲۰ روز پس از کاشت و ۴۱ روز پس از کاشت[۲] نمونه‌برداری صورت گرفت. از کلیه کرت‌ها تا عمق یک متری به‌ازای هر ۲۰ سانتی‌متر یک نمونه برداشت و میانگین رطوبت حجمی عصاره اشباع برای سه تکرار محاسبه شد. اندازه‌گیری میزان رطوبت حجمی نیز با استفاده از روش انعکاس‌سنجی حوزه زمانی[۳] و توسط دستگاه انعکاس انجام گرفت. بر اساس این روش، با تعیین سرعت حرکت امواج الکترومغناطیسی در خاک، میزان رطوبت حجمی آن تخمین زده می‌شود. به‌منظور حصول یکنواختی از روش آبیاری کرتی استفاده شد. میزان آب مصرفی به‌منظور انجام اولین آبیاری، به‌میزان۱۰۰ میلی‌متر، برای دومین آبیاری به‌میزان ۹۰ میلی‌متر و برای سومین آبیاری به‌میزان ۷۶ میلی‌متر معادل تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی یونجه حلزونی در نظر گرفته شد.

جهت نمونه‌برداری در مرحله غلاف‌دهی مساحتی معادل یک مترمربع به‌طور تصادفی و با حذف نیم متر از حاشیه هر کرت برداشت و به آزمایشگاه منتقل گردید. ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در این بررسی شامل؛ اجزای کمّی عملکرد شامل؛ علوفه خشک، وزن خشک ساقه، وزن خشک غلاف، وزن خشک برگ، تعداد غلاف در مترمربع و شاخص سطح برگ) و اجزای کیفی علوفه شامل؛ ماده خشک قابل هضم[۴]، پروتئین خام[۵]، الیاف خام[۶]، الیاف غیر محلول در شوینده اسیدی[۷]، الیاف محلول در شوینده خنثی[۸] و خاکستر خام[۹] در مرحله غلاف‌دهی بودند. برای اندازه‌گیری درصد پروتئین خام ابتدا ۰/۵ گرم نمونه را با دو گرم کاتالیزور (سولفات مس و سولفات پتاسیم به نسبت یک به ۱۰) و ۱۰ میلی لیتر اسید سولفوریک ۹۷ درصد مخلوط شد تا رنگ محلول به سبز تغییر رنگ دهد. برای تقطیر، از دستگاه کجلدال استفاده شد. به‌ازای هر پنج سی‌سی اسید سولفوریک که به نمونه اضافه شد، ۲۰ سی‌سی سود سوزآور ۳۲ درصد مخلوط کرده، سپس نمونه‌ها درون دستگاه قرار داده شدند. طرف دیگر دستگاه ارلن قرار گرفت که حاوی ۷۰ سی‌سی اسید اوریک دو درصد بود. در این مرحله اسید اوریک قرمز رنگ به سبز تغییر رنگ داد. در مرحله تقطیر معرف به‌کار رفته شامل اسید بوریک، بروموکروزول و متیل قرمز بود. در انتها با استفاده از محلول اسید کلریدریک یک درصد نرمال، اقدام به تیتراسیون (حجم‌سنجی) گردید و درصد پروتئین خام محاسبه شد. در نهایت، به‌منظور سنجش درصد الیاف، ۱۵۰ سی‌سی اسید سولفوریک ۰/۲۵ نرمال به ۰/۵ گرم نمونه گیاهی خشک شده در آون اضافه گردید و به‌مدت ۲۰ دقیقه جوشانده شد. بعد از شست‌وشوی کافی با آب مقطر، ۱۵۰ سی‌سی هیدروکسید پتاسیم با نرمالیته ۰/۲۲۵ اضافه و دوباره ۲۰ دقیقه جوشانده شد. بعد از شست‌وشو، چند قطره استون به آن اضافه گردید. در انتهای دوره ۲۴ ساعته قرارگیری در انکوباتور، در دسیکاتور قرار داده شد و بعد از آن توزین شد. درصد الیاف از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\text{درصد الیاف} = 100 \times [\frac{(a-b)}{w}]$$ معادله (۱)

که در این معادله، a: وزن نمونه بعد از خارج شدن از اندیکاتور، b: وزن نمونه بعد از خارج شدن از کوره الکتریکی و w: وزن نمونه قبل از قرار دادن در کوره می‌باشد (Dubois et al., 1956). علاوه‌بر شاخص‌های فوق، سایر ویژگی‌های کیفی شامل؛ ماده خشک قابل هضم، میزان الیاف غیر محلول در شوینده اسیدی، الیاف محلول در شوینده خنثی و میزان خاکستر خام در زمان برداشت علوفه مورد سنجش قرار گرفتند. بدین منظور ابتدا نمونه‌ها با آسیاب ۱۰ و با استفاده از غربال یک میلی‌متری آسیاب شدند. الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی با روش ون‌سوئت و همکاران (Van Soest et al., 1991) و با استفاده از دستگاه تجزیه

۱- یک روز قبل از آبیاری اول

۲- فاصله زمانی بین آبیاری دوم و سوم

3- Time Domain Reflectometry (TDR)

4- Dry Matter Digestibility (DMD)

5- Crude Protein (CP)

6- Crude Fiber (CF)

7- Acid Detergent Fiber (ADF)

8- Neutral Detergent Fiber (NDF)

9- Crude Ash (CA)

10- Arthur H. Thomas, Philadelphia, PA

فیبر آنکوم[11] در کیسه‌های آنکوم[12] و همراه با آلفاآمیلاز مقاوم به دما اندازه‌گیری شدند. خاکستر خام نمونه‌ها به‌مدت ۱۲ ساعت در کوره الکتریکی با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد (AOAC, 2000). در جهت تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌های حاصل از نمونه‌برداری از برنامه آماری SAS نسخه ۹/۲ استفاده شد. مقایسه میانگین ویژگی‌های مورد نظر با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. سپس جهت تجزیه و تحلیل همبستگی ساده بین کلیه ویژگی‌های مورد بررسی و با استفاده از داده‌های خام آزمایش از روش پیرسون ارزیابی گردید.

نتایج و بحث

ویژگی‌های کمّی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تاریخ کاشت بر علوفه خشک، وزن خشک ساقه، وزن خشک غلاف و وزن خشک برگ ($p<$ ۰/۰۵) و تعداد غلاف در مترمربع و شاخص سطح برگ ($p<$ ۰/۰۱) تأثیر معنی‌داری داشته است. اثر عمق کاشت بر علوفه خشک، وزن خشک ساقه، وزن خشک غلاف، وزن خشک برگ و شاخص سطح برگ ($p<$ ۰/۰۱) معنی‌دار شد. اثر میزان بذر مصرفی برای کلیه ویژگی‌های کمّی مورد بررسی در این آزمایش شامل؛ علوفه خشک، وزن خشک ساقه، وزن خشک غلاف، وزن خشک برگ، تعداد غلاف در مترمربع و شاخص سطح برگ در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

برهم‌کنش تاریخ کاشت × عمق کاشت بر علوفه خشک (۰/۰۵ >p)، وزن خشک ساقه و شاخص سطح برگ ($p<$ ۰/۰۱) معنی‌دار بود. اثر متقابل تاریخ کاشت× بذر مصرفی برای علوفه خشک، وزن خشک غلاف، وزن خشک برگ، تعداد غلاف در مترمربع و شاخص سطح برگ در سطح یک درصد معنی‌دار شد. هم‌چنین اثرات دوگانه عمق کاشت × بذر مصرفی و اثرات سه‌گانه تاریخ‌کاشت × عمق‌کاشت × بذرمصرفی برای علوفه خشک، وزن خشک ساقه، تعداد غلاف در مترمربع و شاخص سطح برگ در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

به لحاظ اینکه تیمارهای تاریخ کشت و عمق کشت از دو سطح برخوردار بودند، به‌جای روند تغییرات، فقط میانگین‌های آن‌ها در جدول ۳، ارایه گردید. نتایج نشان داد که در تاریخ کشت ۳۱ تیر، علوفه خشک، وزن خشک ساقه، وزن خشک غلاف، وزن خشک برگ و شاخص سطح برگ بیشتر از تاریخ کشت ۱۵ تیر بود. میزان علوفه خشک حاصل از تاریخ کاشت ۳۱ تیر ۱۰/۷۷ درصد و عمق کاشت یک سانتی‌متر ۱۹/۸۴ درصد به‌ترتیب بیشتر از تاریخ کاشت ۱۵ تیر و عمق کاشت دو سانتی‌متر گزارش گردید. هم‌چنین سهم وزن خشک ساقه از تاریخ کاشت ۳۱ تیر و عمق کاشت یک سانتی‌متر از کل علوفه خشک به‌ترتیب ۵۳/۹۶ و ۵۵/۲۴ درصد بود. بر همین اساس سهم وزن خشک غلاف و وزن خشک برگ از علوفه خشک برای تاریخ کاشت ۳۱ تیر به‌ترتیب ۳۴/۱۳ و ۱۱/۹۱ درصد و برای عمق کاشت یک سانتی‌متر به‌ترتیب ۳۳/۵۶ و ۱۱/۱۸ درصد تعیین گردید (جدول ۳). بنابراین، با توجه به نتایج جدول ۳، بیشترین تغییرات عملکرد علوفه خشک در اثر تیمارهای مورد بررسی، به‌ترتیب وزن خشک ساقه، شاخص سطح برگ و پس از آن، وزن خشک برگ بود. به بیان دیگر، تغییرات عملکرد علوفه بیشتر تحت تأثیر تغییرات آن‌ها بوده و افزایش تعداد غلاف در مترمربع منجر به کاهش عملکرد علوفه گردید. این مورد اخیر می‌تواند بر حساسیت زیاد این گیاه به تراکم بالا و متعاقب آن رقابت باشد. در نتایج میرمیران و همکاران (Mirmiran et al., 2008)، مشخص گردید که با افزایش عمق کاشت از یک تا ۱۰ سانتی‌متر منجر به کاهش علوفه خشک گردید، به‌گونه‌ای که اختلاف عملکرد علوفه خشک بین عمق یک و ۱۰ سانتی‌متر ۸۷/۸ درصد گزارش گردید. هم‌چنین بر اساس نتایج آن‌ها بیشترین میزان علوفه خشک در عمق کاشت دو سانتی‌متر (۲۲۴۳/۴ کیلوگرم در هکتار) در شرایط کشت گلخانه‌ای بود.

بر اساس نتایج شکل ۱، وزن علوفه خشک و وزن خشک ساقه (به‌ترتیب ۲۸۸۴/۱۳ و ۱۶۳۱/۷۱ کیلوگرم در هکتار) در تیمار میزان بذر مصرفی ۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار، در عمق کاشت یک سانتی‌متر و در تاریخ کاشت ۳۱ تیر بالاترین مقدار بود. نکته جالب توجه اینکه در هر دو تیمار افزایش و کاهش میزان بذر مصرفی وزن علوفه خشک و وزن خشک ساقه کاهش چشم‌گیری از خود نشان داد و این روند کاهش در میزان بذر مصرفی ۲/۵ کیلوگرم در هکتار بیشتر بود (شکل ۱-A و ۱-B).

1- Fiber Analyzer, Ankom 200, Ankom Technology Crop, Fairprt, NY, USA
2- ANKOM F57

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ویژگی‌های کمّی یونجه حلزونی

Table 2- The results of ANOVA testing for quantity traits of snail medic

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	علوفه خشک Dry matter	وزن خشک ساقه Stem dry weight	وزن‌خشک غلاف Pod dry weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	تعداد غلاف No. pods	شاخص سطح برگ Leaf area index
بلوک Block	2	145086.47	50315.89	14091.83	1565.63	71.65	0.089
تاریخ کاشت Sowing date (S)	1	156480.26*	61964.16*	12097.7*	1344.08*	6.02**	0.001**
خطای a Main error	2	15633.03	1618.59	4257.49	472.93	420.15	0.001
عمق کاشت Sowing depth (D)	1	1771557.64**	548305.07**	196153.88**	21794.17**	1912.69n.s	0.98**
تاریخ کاشت× عمق کاشت S×D	1	76157.34*	29576.02**	6082.43n.s	675.9n.s	4820.02n.s	2.28**
بذر مصرفی Seeding rate (R)	3	5364527**	1565750.55**	639341.61**	71038.33**	4197.41**	8.08**
تاریخ کاشت× بذرمصرفی S×R	3	7214.29**	2593.52n.s	1722.57**	191.37**	234.69**	0.09**
عمق کاشت× بذرمصرفی D×R	3	133723.33**	52922.43**	11981.41n.s	1331.43n.s	1083.35**	0.42**
تاریخ× عمق× بذرمصرفی S×D×R	3	108266.3**	35242.89**	11579.13n.s	1286.67n.s	385.69**	0.07**
خطای b Minor error	28	11223.27	962.97	4534.36	503.84	1604.49	0.001
ضریب تغییرات C.V (%)	-	16.07	13.22	11.49	11.49	10.83	1.65

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

n.s: not significant; (*) and (**): represent significant difference over control at $p<0.05$ and $p<0.01$, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تاریخ کشت و عمق کشت بر برخی از ویژگی‌های زراعی یونجه یک‌ساله

Table 3- The effect of sowing date and sowing depth on the some traits of snail medic

ویژگی‌های مورد بررسی Surveyed traits	تاریخ کاشت Sowing date		عمق کاشت Sowing depth	
	۱۵ تیر 5 July	۳۱ تیر 21 July	۱ (cm)	۲ (cm)
علوفه خشک Dry matter (kg.ha^{-1})	1588.5b*	1851.7a	1936.9a	1552.6b
وزن خشک ساقه Stem dry weight (kg.ha^{-1})	827.3b	999.2a	1070.1a	856.4b
وزن خشک غلاف Pod dry weight (kg.ha^{-1})	570.2b	632a	650.05a	522.2b
وزن خشک برگ Pod dry weight (kg.ha^{-1})	191.08b	220.6a	216.7a	174..06b
شاخص سطح برگ Leaf area index	3.65b	3.96a	4.1a	3.8b

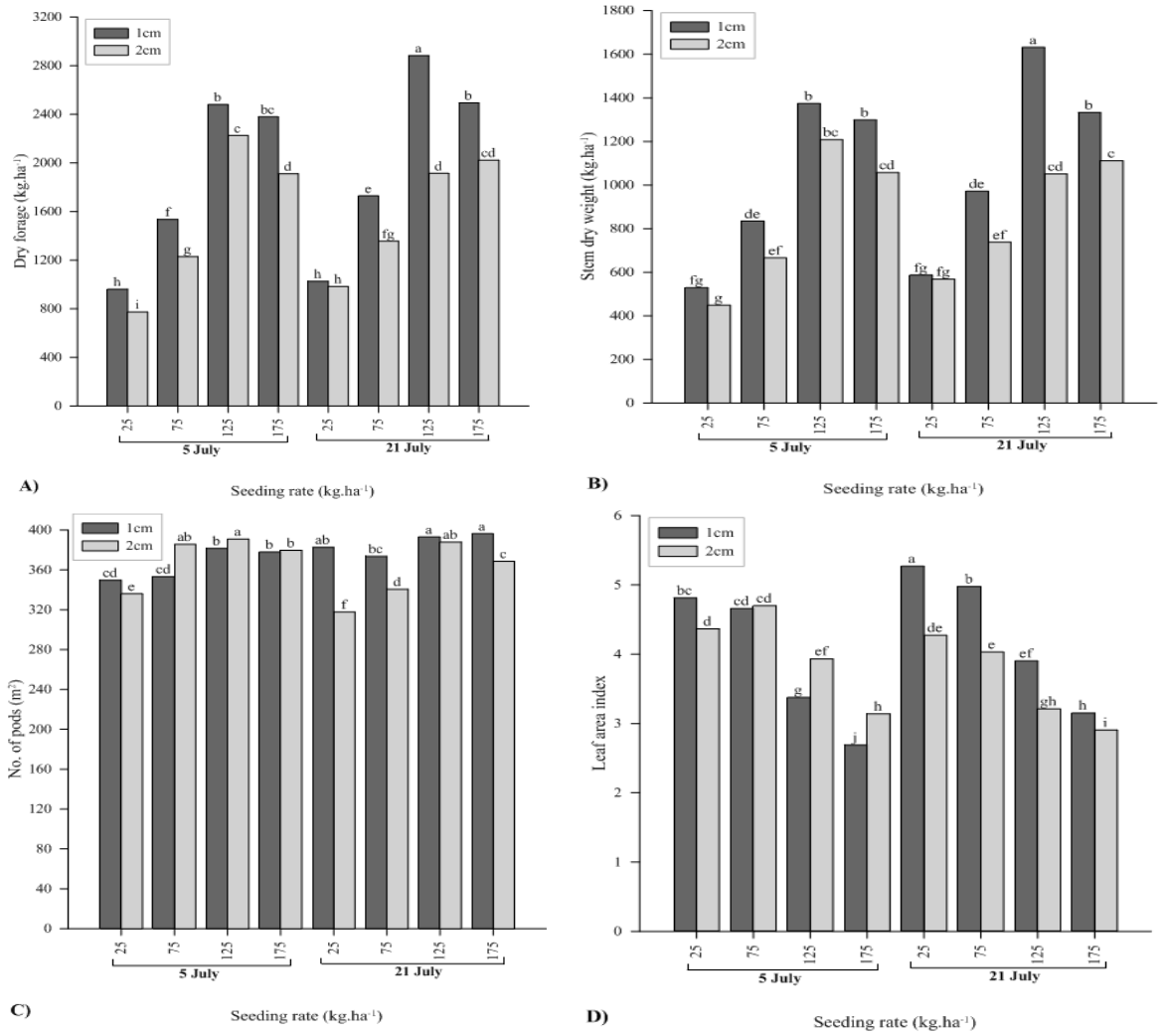
* در هر ردیف اعدادی که حروف مشترک ردیف دارند از نظر آزمون دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

* In each row, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test at <0.05.

بیشترین تعداد غلاف در مترمربع در تیمار بذر مصرفی ۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار، عمق کاشت یک سانتی‌متر و تاریخ کاشت ۳۱ تیر مشاهده شد (۳۹۶)، هرچند که از نظر آماری به‌ترتیب با تیمارهای بذر مصرفی ۱۷/۵ کیلوگرم در هکتار، عمق کاشت دو سانتی‌متر و تاریخ کاشت ۳۱ تیر (۳۹۳)، بذر مصرفی ۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار، عمق کاشت دو سانتی‌متر و تاریخ کاشت ۱۵ تیر (۳۹۱)، بذر مصرفی ۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار، عمق کاشت دو سانتی‌متر و تاریخ کاشت ۳۱ تیر (۳۸۸) و بذر مصرفی ۷/۵ کیلوگرم در هکتار، عمق کاشت دو سانتی‌متر و تاریخ کاشت ۱۵ تیر (۳۸۵) اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱-C). هر چند تعداد غلاف در مترمربع تحت تأثیر ژنتیک قرار

دارد، امّا تراکم (به‌عنوان یک اثر محیطی) می‌تواند آن را تحت تـأثیر قرار دهد (Sharafi et al., 2008).

با توجه نتایج، شاخص سطح برگ در مرحله غـلاف‌دهـی رابطـه معکوسی با میزان بذر مصرفی نشان داد. به‌طوری که با افزایش تراکم شاخص سطح برگ رونـد کاهشـی نشـان داد، بیشـترین و کمتـرین شاخص سطح برگ به‌ترتیب در تیمارهـای بـذر مصـرفی ۲۵ و ۱۷۵ کیلـوگرم در هکتـار (۵/۲۷ و ۲/۶۹) مشـاهده شـد (شـکل ۱-D). به‌عبارت دیگر، افزایش ۱۵ کیلوگرم بذر مصـرفی منجـر بـه کـاهش ۴۸/۹۵ درصد در شاخص سطح برگ خواهد شد. بنابراین، با توجه بـه ایجاد رقابت در تراکم‌های بیشتر از حد مجاز بر اثر آللوپـاتی گیاهـان ضعیف‌تر از بین می‌روند (Wu, 2005).



شکل ۱- اثرات سه‌گانه تاریخ‌کاشت × عمق کاشت× بذر مصرفی بر؛ A) علوفه خشک، B) وزن خشک ساقه C) تعداد غلاف در مترمربع و D) شاخص سطح برگ در مرحله غلاف‌دهی یونجه حلزونی

Fig. 1- The triple effects of sowing date×sowing depth×seeding rate on A) dry forage, B) stem dry weight, C) number of pod and D) leaf area index of snail medic

ویژگی‌های کیفی

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس ویژگی‌های کیفـی علوفـه یونجه حلزونی مشخص گردید که اثر تاریخ کاشت بر پروتئین خـام، خاکستر خام، الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی و الیاف محلـول در

شوینده خنثی در سطح پنج درصد و بر الیاف خام و ماده خشک قابل هضم در سطح یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۴). اثر عمق کاشت برای پروتئین خام، خاکستر خام و ماده خشک قابل هضم در سطح یک درصد و برای الیاف خام، الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی و الیاف محلول در شوینده خنثی در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر میزان بذر مصرفی نیز برای پروتئین خام در سطح پنج درصد و برای خاکستر خام، ماده خشک قابل هضم، الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی و الیاف محلول در شوینده خنثی در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴).

اثرات دوگانه تاریخ‌کاشت × عمق‌کاشت تنها برای صفت ماده خشک قابل هضم (p< ۰/۰۱) معنی‌دار گردید. اثرات دوگانه تاریخ‌کاشت × بذرمصرفی برای الیاف خام، خاکستر خام و ماده خشک قابل هضم، الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی و الیاف محلول در شوینده خنثی در سطح یک درصد معنی‌دار شد. همچنین اثرات دوگانه عمق‌کاشت × بذرمصرفی برای کلیه ویژگی‌های کیفی علوفه حاصل از یونجه حلزونی در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. در نهایت، اثرات سه‌گانه تاریخ‌کاشت × عمق‌کاشت × بذرمصرفی برای الیاف خام، ماده خشک قابل هضم، الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی و الیاف محلول در شوینده خنثی در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). قلعه‌نویی و همکاران (Ghalenoee et al., 2017) دریافتند که در تراکم‌های بالاتر و پایین‌تر از حد مطلوب در گیاه یونجه چندساله، درصد الیاف خام به‌شدت کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده وجود رقابت گیاهان بر سر منابع بوده و هر گونه در شرایط رقابت سهم بیشتری از مواد غذایی را صرف رشد و نمو خود نموده است.

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ویژگی‌های کیفی یونجه حلزونی

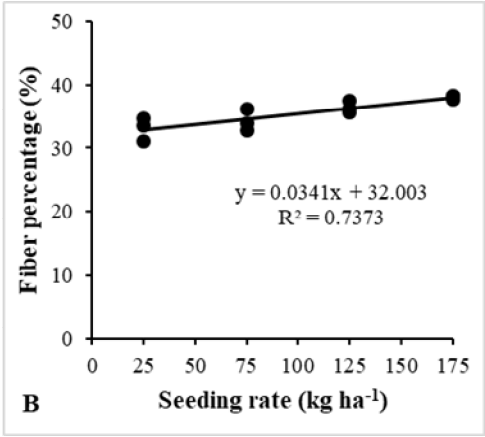
Table 4- The results of ANOVA (mean of squares) testing for quality traits of snail medic

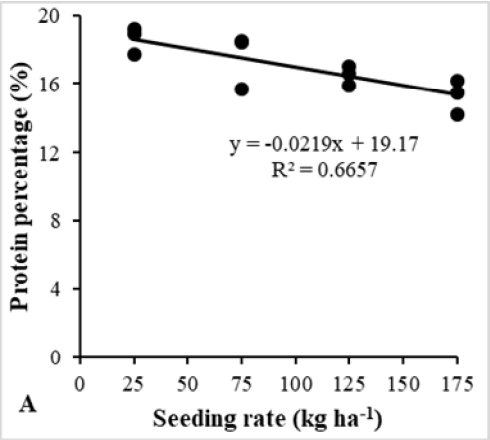
منابع تغییر S.O.V.	درجه‌آزادی d.f	پروتئین خام Crude protein (CP)	الیاف خام Crude fiber (CF)	خاکسترخام Crude ash (CA)	ماده خشک قابل هضم Dry mater digestibility (DMD)	الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی Acid detergent fiber (ADF)	الیاف محلول در شوینده خنثی Neutral detergent fiber (NDF)
بلوک Block	2	13.21	21.14	1.4	3.28	0.97	0.92
تاریخ کاشت Sowing date (S)	1	17.64*	1.06**	1.3*	0.07**	0.07*	0.06*
خطای a Main error	2	9.54	83.5	0.11	0.13	0.99	0.98
عمق کاشت Sowing depth (D)	1	0.83**	7.14*	0.49**	13.01**	2.39*	2.4*
تاریخ‌کاشت× عمق کاشت S×D	1	1.59n.s	16.9n.s	1.01n.s	0.01**	10.12n.s	10.1n.s
بذر مصرفی Seeding rate (R)	3	3.26*	8.57n.s	41.6**	59.5**	44.06**	44.03**
تاریخ‌کاشت× بذرمصرفی S×R	3	2.07n.s	2.2**	0.008**	0.09**	1.08**	1.08**
عمق‌کاشت× بذرمصرفی D×R	3	0.73**	1.13**	0.47**	0.86**	0.73**	0.77**
تاریخ× عمق× بذرمصرفی S×D×R	3	1.02n.s	3.52**	1.003n.s	0.97**	2.17**	2.14**
خطایb Minor error	28	0.94	5.41	0.59	1.13	4.53	4.49
ضریب تغییرات C.V (%)	-	5.72	7.13	7.06	3.22	6.67	3.52

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

n.s: not significant; (*) and (**): represent significant difference over control at $p<0.05$ and $p<0.01$, respectively.

به لحاظ عدم وجود تأثیر متقابل بین تیمارهای تاریخ کاشت و عمق کاشت برای درصد پروتئین خام و درصد الیاف خام علوفه، در اینجا تنها اثرات اصلی تیمارها مورد بحث قرار گرفت. به موازات افزایش مقدار بذر مصرفی، درصد پروتئین خام علوفه به‌طور چشمگیری کاهش یافت (شکل ۲-A). این در حالی است که درصد الیاف رو به فزونی گذاشت (شکل ۲-B). با توجه به قدرمطلق مقدار شیب (ضریب X) مندرج در معادلات ارائه شده در شکل ۲، مشخص گردید که به‌ازای یک واحد افزایش در مقدار بذر مصرفی، تغییر (افزایش) درصد الیاف به‌مراتب بیشتر از تغییر (کاهش) درصد پروتئین خام علوفه بوده است. به بیان دیگر، تأثیرپذیری درصد الیاف خام از تراکم، شدیدتر از اثر پذیری درصد پروتئین خام از این تیمار است. بر اساس نتایج محققین با افزایش تراکم، بهره‌برداری از منابع و شرایط محیطی به‌علت رقابت کاهش یافته و درصد پروتئین گیاه نیز در اثر رقابت درون گونه‌ای کاهش می‌یابد (Bingol et al., 2007; Bedoussac & Justes, 2011; Pellicano et al., 2015). بنابراین، انتظار می‌رفت همراه با افزایش تراکم (در اثر تثبیت نیتروژن) درصد پروتئین خام نیز افزایش یابد، امّا با افزایش تراکم، درصد پروتئین خام نیز کاهش یافت. این نتایج در مطالعه براتی و همکاران (Barati et al., 2015) روی یونجه چند ساله نیز مشاهده شده بود. بر اساس مشاهدات آن‌ها افزایش تراکم در کشت خالص یونجه یک‌ساله منجر به کاهش درصد پروتئین شده و آن را به کاهش تثبیت نیتروژن نسبت دادند.





شکل ۲- تأثیر سطوح مختلف بذر مصرفی بر A) درصد پروتئین و B) درصد الیاف یونجه حلزونی

Fig. 2- The effect of seeding rate on A) protein percentage and B) fiber percentage of snail medic

به لحاظ اینکه دو عمق کشت و تاریخ کشت تنها از دو سطح برخوردار بودند، تنها به ارائه میانگین‌ها اکتفا شد. بیشترین درصد ماده خشک قابل هضم در تیمار عمق کاشت یک سانتی‌متر (۳۳/۵۵ درصد) بود (جدول ۵). با توجه به رابطه خطی بین درصد پروتئین خام و درصد ماده خشک قابل هضم (Ghalenoee et al., 2017)، وجود اختلاف بین دو عمق کاشت نیز قابل تصور بود. بر اثر عمیق‌تر کشت نمودن، درصد پروتئین خام به‌میزان یک درصد تقلیل یافت در مقابل، بیشترین درصد الیاف در عمق کشت دو سانتی‌متر به‌دست آمد. با توجه به عدم تغییر درصد پروتئین در دو تاریخ کشت مورد بررسی به‌نظر می‌رسد حدود ۱۵ روز تأخیر در کشت به حدی نیست که افزایش معنی‌داری را در درصد پروتئین علوفه ایجاد نماید. این مسئله در خصوص درصد الیاف علوفه نیز صادق است (جدول ۵). از این نتایج می‌توان چنین استنباط نمود که گیاهان خانواده بقولات (به‌دلیل بالاتر بودن میزان پروتئین خام) علاوه‌بر افزایش میزان پروتئین خام، در قابلیت هضم علوفه توسط دام نیز مؤثر هستند. همچنین درصد خاکستر علوفه نشان‌دهنده حضور مواد معدنی در بافت‌های گیاهی است، بنابراین، هر قدر درصد خاکستر بیشتر باشد، مواد معدنی بیشتری در اختیار دام قرار خواهد گرفت و در نهایت، ارزش غذایی علوفه برای دام بیشتر خواهد بود. از طرف دیگر، رابطه مستقیمی بین درصد الیاف خام و درصد خاکستر وجود دارد؛ یعنی با افزایش حجم

بافت‌های گیاهی انتظار می‌رود درصد الیاف خام و به دنبال آن درصد خاکستر نیز افزایش یابد (Nakhzari Moghadam, 2017). بنابراین، درصد خاکستر خام مشابه درصد الیاف خام در تیمار کشت عمیق‌تر (۱۱/۱۸ درصد) بیشتر بود (جدول ۵).

الیاف قابل حل در محلول اسیدی نشان‌دهنده سهم دیواره سلولی شامل؛ سلولز و لیگنین (به‌استثنای همی‌سلولز) در جیره‌ی دام بوده و بیان‌گر قابلیت هضم علوفه توسط دام است، که با افزایش این شاخص از قابلیت هضم علوفه کاسته می‌شود، از سوی دیگر، الیاف قابل حل در محلول خنثی نشان‌دهنده پتانسیل مصرف علوفه توسط دام بوده و هر قدر مقدار آن افزایش یابد مصرف ماده خشک به‌دلیل افزایش میزان ماده سیرکنندگی علوفه، کاهش می‌یابد (Poor Amir et al., 2010). بنابراین، با توجه به نتایج به‌دست آمده، بیشترین درصد الیاف قابل حل در محلول‌های اسیدی و خنثی در تیمار عمق کاشت بیشتر مشاهده شد (به‌ترتیب ۳۲/۳ و ۴۴/۱۳ درصد) و این نتیجه بر تاریخ کشت نیز تأثیر مستقیم داشت به‌گونه‌ای که در تاریخ کشت دوم، یعنی ۳۱ تیرماه (به‌ترتیب ۳۲/۹۴ و ۴۶/۵۱ درصد) نیز تکرار گردید (جدول ۵).

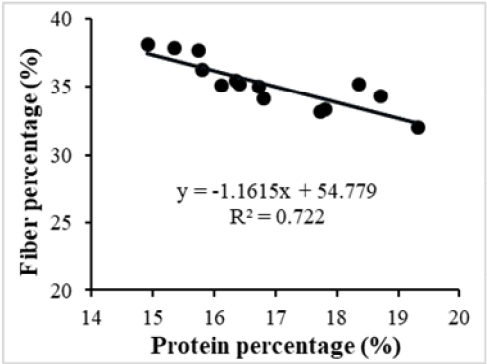
جدول ۵- تأثیرپذیری خصوصیات کیفی علوفه یونجه حلزونی از عمق و تاریخ کاشت

Table 5- The quality traits of forage of snail medic affected by sowing date and sowing depth

ویژگی‌های مورد بررسی Surveyed traits	تاریخ کاشت Sowing date		عمق کاشت Sowing depth (cm)	
	۱۵ تیر 5 July	۳۱ تیر 21 July	1	2
ماده خشک قابل هضم Dry mater digestibility (DMD)	32.06[b*]	33.09[a]	33.55[a]	32.5[b]
پروتئین خام Crude protein (CP)	17.57[a]	17.36[a]	17.39[a]	16.83[b]
الیاف خام Crude fiber (CF)	31.41[b]	32.78[a]	32.02[b]	33.25[a]
خاکستر خام Crude ash (CA)	10.72[b]	11.55[a]	10.07[b]	11.18[a]
الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی Acid detergent fiber (ADF)	31.17[b]	32.94[a]	31.08[b]	32.3[a]
الیاف محلول در شوینده خنثی Neutral detergent fiber (NDF)	43.46[b]	46.51[a]	42.5[b]	44.13[a]

* اعدادی که حروف مشترک در هر ردیف دارند از نظر آزمون دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

* In each row, there is no significant difference between treatments with common letters according to Duncan test at <0.05.



شکل ۳- رابطه بین درصد پروتئین با الیاف در یونجه حلزونی

Fig. 3- The relation between protein percentage and fiber percentage in snail medic

هم‌چنین بر اساس نتایج به‌دست آمده بین درصد پروتئین و درصد الیاف رابطه منفی و معنی‌داری به‌دست آمد (شکل ۳). در نهایت، می‌توان گفت که تأثیر تراکم کشت بر این دو ویژگی بیشتر از اثر عمق کاشت بوده و این ویژگی‌های تحت تأثیر تاریخ کاشت (مورد بررسی در این آزمایش) قرار نگرفتند.

تجزیه و تحلیل آزمون همبستگی

با توجه به نتایج آزمون همبستگی مشخص شد که، علوفه خشک تولید شده همبستگی مثبت و معنی‌داری با وزن خشک ساقه (۰/۹۹)، وزن خشک غلاف (۰/۹۹)، وزن خشک برگ (۰/۹۸)، تعداد غلاف در مترمربع (۰/۴۳)، درصد خاکستر خام (۰/۷۱)، ماده خشک قابل هضم (۰/۷۸) و الیاف محلول در شوینده خنثی و از طرفی، همبستگی منفی معنی‌داری با شاخص سطح برگ (۰/۶۶-) و الیاف محلول در شوینده اسیدی (۰/۵۳-) در سطح یک درصد داشت، ولیکن با بقیه ویژگی‌های همبستگی معنی‌داری نشان نداد. هم‌چنین وزن خشک ساقه با وزن خشک غلاف، وزن خشک برگ، تعداد غلاف در مترمربع و الیاف محلول در شوینده خنثی همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد داشت، هرچند که رابطه آن با شاخص سطح برگ (۰/۶۵-) الیاف محلول در شوینده اسیدی (۰/۵۲-) گزارش گردید (جدول ۶).

با افزایش تراکم بوته رقابت گیاهان بر سر کسب منابع افزایش یافته و گیاهان در شرایط رقابت سهم بیشتری از مواد غذایی را صرف رشد و نمو خود نموده می‌نمایند (Ghalenoee et al., 2017). بنابراین، از آنجایی که رابطه درصد پروتئین و درصد الیاف معکوس است، در تراکم بیشتر با افزایش درصد الیاف، درصد پروتئین افت قابل چشمگیری نشان داد که از نظر آماری نیز معنی‌دار بود (۰/۵۹-). این نتیجه در مورد آزمون رگرسیون رابطه بین پروتئین خام و الیاف خام نیز حاصل شده بود. علاوه‌بر آن، خاکستر خام با ماده خشک قابل هضم همبستگی مثبت (۰/۸۵) و هر دوی آن‌ها با الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی و الیاف محلول در شوینده خنثی همبستگی منفی نشان دادند. الیاف قابل حل در محلول اسیدی نشان‌دهنده سهم دیواره سلولی شامل؛ سلولز و لیگنین (به‌استثنای همی‌سلولز) در جیره‌ی دام بوده و بیانگر قابلیت هضم علوفه توسط دام است، که با افزایش این شاخص از قابلیت هضم علوفه کاسته می‌شود، از سوی دیگر، الیاف محلول در شوینده خنثی نشان‌دهنده پتانسیل مصرف علوفه توسط دام بوده و هر قدر مقدار آن افزایش یابد، مصرف ماده خشک به‌دلیل افزایش میزان ماده سیرکنندگی علوفه، کاهش می‌یابد (Poor Amir et al., 2010). بر همین اساس همبستگی علوفه خشک با الیاف محلول در شوینده خنثی در این آزمایش منفی گزارش گردید (جدول ۶).

جدول ٦- ضرایب همبستگی پیرسون برای علوفه خشک (TDM)، وزن خشک ساقه (SDW)، وزن خشک غلاف (PDW)، وزن خشک برگ (LDW)، تعداد غلاف در مترمربع (NOP)، شاخص سطح برگ (LAI)، درصد پروتئین (CP)، درصد الیاف (CF)، خاکستر خام (CA)، ماده خشک قابل هضم (DMD)، الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی (ADF) و الیاف محلول در شوینده خنثی (NDF) در یونجه حلزونی

Table 6- Pearson's correlation coefficients among measured traits: dry forage (TDM), stem dry weight (SDW), pod dry weight (PDW), leaf dry weight (LDW), number of pod (NOP), leaf area index (LAI), crude protein (CP), crude fiber (CF), crude ash (CA), dry mater digestibility (DMD), acid detergent fiber (ADF) and neutral detergent fiber (NDF) of medicago scutellata

ویژگی‌ها Traits	TDM	SDW	PDW	LDW	NOP	LAI	CP	CF	CA	DMD	ADF	NDF
TDM	1											
SDW	0.99**	1										
PDW	0.99**	0.96**	1									
LDW	0.98**	0.96**	0.98**	1								
NOP	0.43*	0.39*	0.46*	0.47*	1							
LAI	-0.66**	-0.65**	-0.66**	-0.66**	-0.18n.s	1						
CP	-0.11n.s	-0.14n.s	-0.08n.s	-0.08n.s	-0.05n.s	0.15n.s	1					
CF	0.13n.s	0.13n.s	0.14n.s	0.13n.s	-0.12n.s	-0.19n.s	-0.59**	1				
CA	0.71**	0.7**	0.71**	0.74**	0.37*	-0.73**	-0.12n.s	0.08n.s	1			
DMD	0.78**	0.76**	0.79**	0.79**	0.49*	-0.72**	-0.15n.s	0.22n.s	0.85**	1		
ADF	-0.53**	-0.52**	-0.54**	-0.54**	-0.33*	0.51**	0.09n.s	-0.08n.s	-0.81**	-0.77**	1	
NDF	0.53**	0.52**	0.54**	0.54**	0.33*	-0.54**	-0.09n.s	0.08n.s	-0.87**	-0.71**	-0.92**	1

ns: غیر معنی‌دار * و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح کمتر از پنج و یک درصد

n.s: not significant; (*) and (**): represent significant difference over control at $p<0.05$ and $p<0.01$, respectively.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج در این آزمایش و شرایط اقلیمی نیمه‌خشک منطقه، گیاه یونجه حلزونی توانایی تحمل شرایط محیطی شهر اراک را دارد. بر اساس نتایج عملکرد علوفه گیاه یونجه حلزونی تابعی از وزن خشک ساقه، وزن خشک برگ، تعداد غلاف و شاخص سطح برگ است و از طرف دیگر، وزن خشک غلاف تأثیر منفی بر عملکرد ماده خشک آن می‌گذارند. بدین معنی که در کشت عمیق وزن خشک ساقه و وزن خشک غلاف و در تاریخ کشت دیرتر وزن خشک غلاف و شاخص سطح برگ اثرات منفی بر عملکرد ماده خشک خواهند داشت. هم‌چنین هر قدر گیاه دیرتر و در عمق کم کشت شود وزن خشک ساقه افزایش نشان داده، در حالی‌که همین شرایط در تیمار تاریخ کاشت برای وزن خشک غلاف برعکس بود. شایان ذکر است که شاخص سطح برگ رابطه مستقیمی با طول دوره رشد نشان داد، به این معنی که هر قدر طول دوره رشد گیاه و دمای محیط کمتر بوده شاخص سطح برگ نیز افزایش یافت. هم‌چنین این صفت تحت تأثیر عمق کاشت قرار گرفت و همچنان که انتظار می‌رفت با افزایش میزان بذر مصرفی در هکتار شاخص سطح برگ روند نزولی (اختلاف معنی-دار در سطح یک درصد) نشان داد.

در رابطه با اثر میزان بذر مصرفی باید اشاره نمود این گیاه حساسیت بالایی به تراکم بالا نشان می‌دهد، به این معنی که تراکم مناسب در تولید ماده خشک توسط گیاه یونجه حلزونی بسیار مهم می‌باشد. تراکم متعادل بوته رابطه مستقیمی با تولید علوفه خشک دارد و از طرفی، رقابت برون گونه‌ای و درون گونه‌ای و حاصلخیزی خاک در مدیریت این گیاه بسیار مهم هستند. اعمال تراکم نامناسب در این گیاه می‌تواند موجب افزایش رقابت میان بوته‌ها در جذب نور، آب و مواد غذایی گردد و در نهایت، منجر به کاهش علوفه خواهد گردید. بیشترین وزن علوفه خشک و وزن خشک ساقه (۲۸۸۴/۱۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار میزان بذر مصرفی ۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار، در عمق کاشت یک سانتی‌متر و در تاریخ کاشت ۳۱ تیر مشاهده شد. بنابراین، با توجه به نتایج به‌دست آمده میزان بذر مصرفی ۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار (معادل ۸۵ بوته در مترمربع) عملکرد کمّی و کیفی بهتری را نشان داد. میزان خوش‌خوراکی علوفه تولید شده در زمان غلاف‌دهی، رابطه مستقیمی با درصد پروتئین تولیدی دارد و رابطه درصد پروتئین و درصد الیاف معکوس بوده، چرا که با افزایش درصد الیاف درصد پروتئین افت قابل چشمگیری نشان می‌دهد که از نظر آماری نیز معنی‌دار گشته است. هم‌چنین با توجه به نتایج آزمایش از بین تیمارهای مورد بررسی تراکم بیشترین تأثیر را بر کیفیت علوفه داشت. با افزایش تراکم درصد پروتئین کاهش معنی‌داری داشت و این نتیجه برای درصد الیاف معکوس بوده است.

با توجه به اتمام بارندگی‌های فصل بهار در اردیبهشت ماه و عدم انطباق دمای هوا با دمای خاک، کشت دیم یونجه حلزونی در شرایط اقلیمی شهر اراک امکان‌پذیر نمی‌باشد. هم‌چنین با توجه به اختصاص اراضی مرغوب شهر اراک به کشت محصولاتی نظیر چغندرقند، لوبیا و ذرت، کشت یونجه حلزونی در فصل بهار صرفه اقتصادی ندارد. علاوه‌بر موارد مذکور، در سال‌های اخیر به‌دلیل عدم وجود بازار مناسب برای فروش سایر محصولات در مقایسه با گندم و کلزا، کشت مداوم آن‌ها رونق بیشتری یافته است. بنابراین هدف از این پژوهش از یک سو، معرفی یک گیاه سریع‌الرشد تحت عنوان گیاه پوششی و جایگزین آیش تابستانه به تناوب زراعی (گندم-یونجه حلزونی-کلزا-یونجه حلزونی) جهت بهره‌وری بیشتر از منابع آب و زمین در شرایط آب و هوایی شهر اراک بود. در نهایت، پیشنهاد می‌گردد نقش این گیاه در کنترل فرسایش و فروسایش، کشت مخلوط با سایر گیاهان و تأثیر سطوح کود دامی بررسی گردد.

References

AOAC., 2000. Association of official analytical chemists. Official methods of analysis, 17th Ed., Arlington, VA.

Bagheri, A.R., and Asadi, S., 2019. Determination of suitable areas to cultivating snail medic (*Medicago scutellata* L.) using the Analytical Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information System (GIS) in the province of Kermanshah. Journal of Agroecology 11(2): 467-482.

Barati, S., Bassiri, M., Vahabi, M.R., Mosaddeghi, M.R., and Tarkesh, M., 2015. Yield evaluation of *Medicago sativa* L. and *Bromus tomentellus* Boiss. in mono-cropping and intercropping. Journal of Rangeland 8(4): 318-327. (In Persian with English Summary)

Bauchan, G.R., Diwan, N., and McIntosh, M., 1993. Development and evaluation of a core germplasm collection of annual Medicago species in the United States. pp. 265-266. In: Proceedings of the XVII International Grassland Congress. New Zealand.

Bedoussac, L., and 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.

Bidadi, M.J., Kamkar, B., and Abdi, O., 2014. Suitable areas zoning of soybean cropping in Qarasoo basin by geographical information systems (GIS). Journal of Crop Protection 7(1): 175-187. (In Persian with English Summary)

Bingol, N.T., Karsli, M.A., Yilmaz, I.H., and Bolat, D., 2007. The effects of planting time and combination on the nutrient composition and digestible dry matter yield of four mixtures of vetch varieties intercropped with barley. Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences 31(5): 297-302.

Delpozo, A., and Ovalle, C., 2009. Productivity and persistion of yellow serradella (*Ornithopus compressus* L.) and *(Biserradella pelecinus* L.) in mediterranean climate region of central Chile. Journal of Agriculture Research 69(3): 340-349.

Dorri, M., Naseri, G., and Akbarzadeh, H., 2007. Annual production of alfalfa cultivars under rainfed conditions in Gorgan. Journal of Research of Grassland and Desert 4: 455-463. (In Persian with English Summary)

Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebes, P.A., and Smith, F., 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Annual Chemistry 28: 350-356.

Esfandiari, S., Morad-Hasanloo, A., Farshadfar, M., and Safari, H., 2008. Comparison of performance and physiological characteristics of 5 drylands annual alfalfa in Kermanshah province. Research Journal of Genetics and Breeding of Pastures and Forests (16): 294-285. (In Persian with English Summary)

Eric, G., Louahlia, S., Irigoyen, J.J., Sanchez-Diaz, M., and Avice, J.C., 2010. Biomass partitioning, morphology and water status of four alfalfa genotypes submitted to progressive drought and subsequent recovery. Journal Plant Physiology 167: 114–120.

Ghalenoee, S., Koocheki, A., Poryazdi, M., and Jahan, M., 2017. Effect of different treatments on row crop and mixed of sesame and bean yield and yield components. Iranian Journal of Field Crops Research 15(3): 588-602. (In Persian with English Summary)

Hamidi, H., and Safarnejad, A., 2010. Effect of drought stress on alfalfa cultivars (*Medicago sativa* L.) In germination stage. Journal of Agriculture and Environmental Science 8(6): 705-70.

Otroshi, M., Zamani, A., Khodambashi, M., Ebrahimi, M., and Struik, P.C., 2009. Effect of exogenous hormones and chilling on dormancy breaking of seeds of asafoetida (*Ferula assafoetida* L.). Research Journal of Seed Sciences 2: 9-15.

Mirmiran, M., Azizi, K., and Amini Dehaghi, M., 2008. Effect of some of agronomy factors (Sowing depth with pod and without pod and seeding rate) on quality and quantity yield of Snail Medic. Proceedings of the 9th National Congress on Agronomy and plant breeding, September 2008, Karaj, Iran. (In Persian)

Nakhzari Moghadam, A., 2017. Effect of nitrogen and row cropping pattern on the quantity and quality of forage and pea and equipotential equity. Journal of Crops Production 10(1): 54-39. (In Persian with English Summary)

Pellicano, A., Romeo, M., Pristeri, A., Preiti, G., and Monti, M., 2015. Cereal-pea intercrops to improve sustainability in bioethanol production. Agronomy for Sustainable Development 35: 827–835.

Poor Amir, F., Koocheki, A., Nassiri, M., and Ghorbani, R., 2010. Evaluation of yield and yield components in sesame and pea intercropping replacement series. Iranian Journal of Agricultural Research 8(5): 757-747. (In Persian with English Summary)

Qeisarian, F., 2007. Investigation of seeding rate on *Medicago scutellata* yield. Research project of Agri-jahad, 80/241. Agricultural Research, Education and Extension Organization. (In Persian with English Summary)

Sandgoul, A., Chaichi, M.R., and Kolagry Biyabani, A., 2006. Yield comparison of five annual medics in Gorgan. Journal of Research in Grassland and Desert 13(1): 63-68. (In Persian with English Summary)

Shabani, G., Chaichi, M.R., Ardakani, M.R., and Friedel, J.K., 2015. The effect of different nutritional systems, harvest management and post-harvest period on hard-seed breakdown trend in annual medic (*Medicago scutellata* cv. Robinson). Agronomy Journal (Pajohesh and Sazandegi) 108: 74-80. (In Persian with English Summary)

Shabani, GH., Shams, K., Chaichi, M.R., Salimi, G., Akhtyari, S., Ardekani, M.R., Khavazi, K., Eshghizadeh, H.R., and

Feridel, U., 2012. Effect of management seed production on handedness of annual medic (*Medicago scutellata* Var Robinson). Iranian Journal of Crop Science 42(4): 715-722. (In Persian with English Summary)

Sharafi, S., 2020. Effective methods for improving seed germination of *Medicago scutellata* affected by salinity and drought. Iranian Journal of Seed Research 6(1): 12-30. (In Persian with English Summary)

Sharafi, S., Ahmadi, M.R., Ghonji, N., and Nassiri, E., 2019. Effect of stratification on seed germination of annual Medic affected by salinity and drought stresses. 6th Scientific Research Congress on Development and Promotion of Agriculture and Natural Resources, Tehran, Iran. (In Persian)

Sharafi, S., Ghasemi, S., and Gholipoor, M., 2008. The effectiveness of yield and some attributes of *Medicago scutellata* var Rabinson from sowing date, sowing depth and seeding rate. Proceedings of the 9th National Congress on Agronomy and Plant Breeding, September 2008, Karaj, Iran. (In Persian)

Sharafi, S., Khaneh, Z., Akhlaghi, S., and Jouyban, Z., 2012. Germination, seed reserve utilization and seedling growth rate of five crop species as affected by salinity and drought stress. Life Science Journal 9(1): 94-101.

Sharafi, S., Ramroudi, M., Nassiri, M., Galavi, M., and Kamali, G.A., 2017. Assessment of moisture status and crop production in different climate of Iran. Journal of Agriculture Knowledge and Sustainable Production 7(1): 103-120. (In Persian with English Summary)

Van Soest, P.J., Robertson, J.B., and Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharide in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science 74(10): 3583-3597.

Walsh, M.J., Delancy, R.H., Groose, R.W., and Krall, J.M., 2001. Performance of annual medics species (*Medicago* spp.) in southeastern Wyoming. Agronomy Journal 93: 1249-1256.

Wu, H., 2005. Molecular approaches in improving wheat allelopathy. Proceedings of the 4th World Congress on Allelopathy, Aggust 2005, Wagga Wagga, Australia.

Yousfi, N., Slama, I., Ghnaya, T., Savoure, A., and Abdelly, C., 2010. Effects of water deficit stress on growth, water relations and osmolytes accumulation in *Medicago truncatula* and *M. laciniata* populations. Crop Research and Biology 333: 205–213.

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 689-704

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۷۰۴-۶۸۹

Evaluation of Quantitative and Qualitative of *Medicago scutellata* Affected by Sowing Date, Sowing Depth, and Seeding Rate

S. Sharafi[1*] and M. Ramroudi[2]
Submitted: 29-02-2020
Accepted: 30-09-2020

Sharafi, S., and Ramroudi, M., 2022. Evaluation of quantitative and qualitative of *Medicago scutellata* affected by sowing date, sowing depth, and seeding rate. Journal of Agroecology 13(4):689-704.

Introduction

Given recent droughts, *Medicago scutellata* Var. Rabinson has taken an important position in crop rotation, especially in semi-arid regions. Therefore, agronomy management factors play an important role in improving its growth. Also, regarding its short growth period length, its quantitative and qualitative forage yield has been high, and it can be sown through dry-farming in regions with 300-500 mm of rainfall. On the other hand, given the importance of forage cultivation in agriculture and water shortage in Iran, we can try to cultivate fallow lands. The aim of this study was to evaluate the effect of different agronomic management methods on the quantitative and qualitative snail medic forage yield and to compare the relative contribution of components to increasing it under the climate of Arak.

Materials and Methods

In this study, two sowing dates (July 15 and 22, 2017) as main plot, two sowing depths (1-2 and 2-4 cm), and four seeding rates (2.5, 7.5, 12.5, and 17.5 kg ha^{-1} equal to 20, 50, 80, and 125 plants m^{-2}) as subplots were investigated. The experiment conducted in split plot factorial based on randomized complete block design with three replications. It is noteworthy that due to seed hardness, the average number of germinated seeds was low. The measured traits in this study included forage dry weight, stem dry weight, pod dry weight, leaf dry weight, number of pods per m^2, leaf area index (LAI), dry mater digestibility (DMD), crude protein (CP), crude fiber (CF), crude ash (CA), acidic detergent insoluble fiber (ADF) and neutral detergent soluble fiber (NDF) in the final stages of forage harvesting. Finally, using the statistical software SAS, we performed analysis of variance, comparison of means using Duncan's multiple range test at 5% probability level and correlation analysis.

Results and Discussion

The results showed that the highest dry forage weight and dry stem weight (2884.13 and 1361.71 $kg.ha^{-1}$, respectively) were observed in the treatment of seeding rate of 12.5 kg ha^{-1}, at sowing depth 1cm and on the sowing date of July 21. Accordingly, the amount of dry forage obtained from the sowing date of July 21 and the sowing depth of 1 cm was 10.77 and 19.84% more than that of the sowing date of July 5 and the sowing depth of 2 cm, respectively. The portion of dry stem weight in the sowing date of July 21 and sowing depth of 1 cm was 53.96 and 55.24% of the dry forage weight, respectively. Furthermore, the portion of the pod and dry leaf weights from the dry forage for sowing date of July 21 were respectively reported as 34.13 and 11.91%, and for sowing depth of 1cm were, respectively, 33.56 and 11.18%. As the amount of seeding rate increased, the CF increased, and the percentage of CP decreased. By taking into account the absolute value of the slope value of the equations of these two traits, it was found that the effect of density on the CF is more than the effect of this treatment of CPP. According to the obtained results, the sowing date of July 21, the sowing depth of 1 cm, and the consumed seed of 12.5 kg ha^{-1} showed an appropriate quantitative and qualitative yield. Also, according to the results of the correlation test, it was determined that the dry forage produced had a positive correlation with the stem dry weight (0.99^{**}), the pod dry weight (0.99^{**}), the leaf dry weight (0.98), the number of pods per m^2

1- Assistant Professor, Department of Environment, and Science Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran.
2- Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran.
(* Corresponding author: s-sharafi@araku.ac.ir)
Doi: 10.22067/jag.v13i4.85812

(0.43*), the CA (0.71**), DMD (0.78) and NDF. On the other hand, a negative correlation was found with LAI (-0.66**) and ADF (-0.53**).

Conclusion

Regarding the absolute value of the slope in the equations pertaining to these two properties, it was found that the susceptibility of fiber percentage to density was higher than the susceptibility of crude protein percentage in this treatment. In deeper sowing, the obtained protein percentage was 1% lower, while the lowest fiber percentage occurred in shallow sowing. Generally, we can say that this crop has a high sensitivity to high densities. Based on the results, there were the relation between regression and correlation results.

Key words: Drought, Fiber percentage, Protein percentage, Summer sowing.

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 705-721

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۷۲۱-۷۰۵

مقاله پژوهشی

ارزیابی صفات ریخت‌شناسی، عملکرد و اسانس ریحان (*Ocimum basilicum* L.) تحت تأثیر کاربرد کودهای آلی

یوسف نصیری[1*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۳۰

نصیری، ی.، ۱۴۰۰. ارزیابی صفات ریخت‌شناسی، عملکرد و اسانس ریحان (*Ocimum basilicum* L.) تحت تأثیر کاربرد کودهای آلی. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۴): ۷۲۱-۷۰۵.

چکیده

مصرف کودهای آلی در سامانه‌های کشاورزی پایدار نقش مهمی در بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی دارد. به‌منظور بررسی اثر کاربرد کودهای آلی و اسید هیومیک بر بعضی ویژگی‌های ریخت‌شناسی، عملکرد و اسانس ریحان، آزمایشی در سال ۱۳۹۳ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان اشنویه استان آذربایجان غربی اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل عامل اول (۲۰ تن در هکتارکود گاوی، ۷/۵ و ۱۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و شاهد) و عامل دوم کاربرد اسید هیومیک در سطوح مصرف خاکی، محلول‌پاشی و عدم مصرف بودند. نتایج نشان داد که کاربرد کودهای آلی باعث افزایش معنی‌دار صفات ارتفاع بوته، تعداد ساقه‌های فرعی در بوته، طول ساقه‌های فرعی در بوته، تعداد سرشاخه‌های گلدار در بوته و تعداد برگ در بوته شد. بیشترین تعداد ساقه‌های فرعی (۱۳/۱ عدد) با محلول‌پاشی و مصرف خاکی اسید هیومیک و بیشترین تعداد سرشاخه‌های گلدار (۲۲/۹ عدد) با محلول‌پاشی اسید هیومیک به‌دست آمدند. شاخص سبزینگی برگ در تمامی تیمارهای مصرف کود آلی نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد. به‌طور متوسط بیشترین عملکرد ماده خشک (۵۳۸/۶ گرم در مترمربع) با کاربرد یا عدم کاربرد اسید هیومیک تحت تأثیر ۱۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به‌دست آمد. بیشترین عملکرد اسانس ریحان (۲/۹۴ گرم در مترمربع) با کاربرد ۱۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به‌دست آمد. کاربرد اسید هیومیک به‌صورت محلول‌پاشی و خاک‌مصرف به‌طور میانگین بیشترین عملکرد اسانس (۲/۷۲ گرم در مترمربع) و تیمار محلول‌پاشی اسید هیومیک بیشترین درصد اسانس (۰/۵۹ درصد) را به خود اختصاص دادند. به‌طور کلی، کاربرد تلفیقی ۱۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی یا مصرف خاکی اسید هیومیک منجر به تولید حداکثر ماده خشک ریحان گردید و کاربرد هر دو نوع کود آلی و اسید هیومیک بیشترین عملکرد اسانس را تولید کردند.

واژه‌های کلیدی: کود دامی، ماده خشک، ماده مؤثره، مواد هیومیکی، ورمی‌کمپوست

مقدمه

امروزه بروز عوارض جانبی ناشی از مصرف داروهای شیمیایی، گرایش عمومی به کاربرد داروهای گیاهی و محصولات طبیعی و اکولوژیک را افزایش داده است. این امر مستلزم توجه بیشتر به گیاهان دارویی و تغذیه غیرشیمیایی آن‌ها می‌باشد. ریحان با نام علمی *Ocimum basilicum* L. از گیاهان دارویی متعلق به تیره نعناعیان، گیاهی علفی و یک‌ساله می‌باشد که از زمان‌های بسیار قدیم برای درمان انواع مختلف اختلالات و بیماری‌ها استفاده می‌شود. منشأ این گیاه دارویی قاره آسیا بوده و با دارا بودن ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و ضدمیکروبی برای پیشگیری یا درمان اختلالات قلبی-عروقی، دیابت،

۱- دانشیار اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: ysf_nasiri@maragheh.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v13i4.85677

گرفتگی قاعدگی، اختلالات گوارشی و عصبی و غیره کاربرد دارد (Omidbeighi, 2008; Purushothaman, 2018).

کاربرد بلندمدت و بیش از اندازه کودهای شیمیایی رایج، علاوه‌بر افزایش آلودگی و صدمات زیست‌محیطی، پیامدهایی همچون بر هم خوردن واکنش خاک، انباشت عناصر سنگین در خاک، کاهش حلالیت عناصر ریزمغذی، تخریب ساختمان خاک، کاهش فعالیت زیستی خاک و کاهش مواد آلی آن را در پی خواهد داشت (Miao et al., 2011; Khan et al., 2018). علاوه‌بر آن، وابستگی بیش ازحد به نهاده‌های شیمیایی در کشاورزی رایج، اصول کشاورزی پایدار را نیز در معرض تهدید قرار داده است. بر این اساس به‌منظور رسیدن به تولید پایدار در کشاورزی، کاهش مصرف کودهای شیمیایی، تلفیق و یا جایگزینی آن‌ها با انواع کودهای آلی و بیولوژیک مورد توجه زیادی قرار گرفته است (Roussos et al., 2017).

کودهای آلی به‌دلیل فراهمی متعادل مواد غذایی از جمله ریزمغذی‌ها، افزایش دسترسی به مواد غذایی خاک به‌دلیل افزایش فعالیت میکروبی خاک، تجزیه عناصر مضر، بهبود ساختار خاک و توسعه ریشه و افزایش دسترسی به آب خاک، نسبت به کودهای شیمیایی از مزایای بیشتری برخوردار هستند (Han et al., 2016). لذا استفاده از کودهای آلی در سیستم‌های کشاورزی پایدار، نقش مهمی در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، حمایت و تحریک فعالیت ریزجانداران مفید خاک جهت تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم و درنتیجه، بهبود رشد و عملکرد گیاه دارد.

کودهای دامی و ورمی‌کمپوست از جمله انواع کودهای آلی هستند که در کشاورزی اکولوژیک کاربرد دارند. استفاده از کودهای دامی و ورمی‌کمپوست از جمله راهکارهایی می‌باشد که علاوه‌بر اصلاح ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، سبب بهبود حاصلخیزی آن شده و در نهایت، به تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه در درازمدت، افزایش تهویه خاک، کاهش تبخیر و سله بستن خاک و تنظیم اسیدیته آن منجر می‌گردد (Joshi et al., 2013; Silva et al., 2017; Aatif et al., 2017; Holik et al., 2018). نتایج پژوهش‌های مختلف نیز حاکی از تأثیر مثبت کودهای آلی ازجمله کود دامی و ورمی‌کمپوست بر افزایش عملکرد کمّی و کیفی گیاهان دارویی می‌باشد. در همین راستا، عزیزی و همکاران (Azizi et al., 2009) تأثیر مثبت کاربرد ورمی‌کمپوست بر درصد اسانس بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) را گزارش نمودند. افزایش عملکرد ماده خشک و بهبود صفات رشدی نعناع با کاربرد ۷/۵ تن در هکتار کمپوست گزارش شده است (Chand et al., 2012). اسیموییک و همکاران (Acimovic et al., 2015) افزایش محتوای اسانس سه گیاه دارویی انیسون (*Pimpinella anisum* L.)، زیره سیاه (*Carum carvi* L.) و گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) را با کاربرد ورمی‌کمپوست گزارش نمودند. کاربرد کودهای دامی، ورمی‌کمپوست و کمپوست زباله شهری تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک و تر بوته، مقدار اسانس و مواد مؤثره گیاه دارویی مورد تلخ (*Salvia mirzayanii* Rech. f. & Esfand) داشته است (Ghesmati & Moradinezhad, 2019). نعمتی و همکاران (Neamati et al., 2014) گزارش نمودند که کاربرد ورمی-کمپوست در گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) منجر به افزایش عملکرد اسانس گردید. در پژوهشی مشابه انور و همکاران (Anwar et al., 2005) افزایش کمیت و کیفیت اسانس ریحان با کاربرد مقادیر مختلف ورمی‌کمپوست را گزارش نمودند.

اسید هیومیک و کودهای آلی محتوی این ماده به‌عنوان کود آلی دوستدار طبیعت نام برده می‌شوند. کاربرد اسیدهیومیک در مقادیر بسیار کم آن اثرات مفیدی در افزایش و بهبود تولید محصولات کشاورزی دارد (Nasiri Dehsorkhi et al., 2018). مواد هیومیکی به‌عنوان عامل محرک رشد گیاه باعث افزایش کیفیت محصول و تقویت تحمل گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌شوند. اسید هیومیک که برای تغذیه گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرد، به‌دلیل نقش آن در فرآیندهای فیزیولوژیکی و متابولیکی، باعث تقویت ریشه، بهبود رشد و نمو گیاهان و افزایش عملکرد آن‌ها می‌شود. این مواد شبه‌هورمونی اثرات مثبتی بر کارکرد غشای سلولی از طریق بهبود جذب مواد غذایی، تنفس، بیوسنتز اسید نوکلئیک، جذب یون و غیره دارند (Eyheraguibel et al., 2008; Yang et al., 2006; Said-Al Ahl et al., 2016). عابدینی و همکاران (Abedini et al., 2015) گزارش کردند که کاربرد ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک منجر به افزایش ارتفاع بوته، تعداد گل در بوته، عملکرد گل، عملکرد دانه، عملکرد گلبرگ و وزن هزاردانه گیاه دارویی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) شد. ارتفاع بوته، وزن تر و خشک بوته، تعداد شاخه‌های جانبی، قطر ساقه، درصد اسانس و عملکرد اسانس بادرنجبویه با کاربرد اسید هیومیک افزایش نشان داد (Gorgini Shabankareh, 2017). گزارش شده است که کاربرد

اسید هیومیک با بهبود ساختار خاک و تغییر ویژگی‌های فیزیکی آن، بهبود کلاته شدن بسیاری از عناصر غذایی و در دسترس قرار دادن آن‌ها برای گیاهان، کمک به رفع کلروز گیاه، افزایش ظرفیت فتوسنتز و افزایش تنفس ریشه، باعث افزایش درصد اسانس گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) شده است (EL-Gohary et al., 2014).

با توجه به لزوم کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی در کشاورزی جهت کاهش اثرات کاربرد بی‌رویه این مواد بر محیط زیست و سلامت انسان و همچنین توجه جهانی به تولید محصولات در یک سیستم کشاورزی پایدار، کودها و مواد آلی می‌توانند جایگزینی برای کودهای شیمیایی باشند. لذا در این راستا، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر کود گاوی، ورمی‌کمپوست و اسید هیومیک بر برخی صفات ریخت‌شناسی، عملکرد ماده خشک و تولید اسانس ریحان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان اشنویه (طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۶ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲ دقیقه شمالی، ارتفاع ۱۵۲۴ متر از سطح دریا، میانگین بارش سالیانه ۴۰۰ میلی‌متر) از شهرهای استان آذربایجان غربی اجرا شد. اقلیم این شهرستان معتدل تا معتدل مایل به سرد و از نظر بارندگی جزو نواحی نیمه‌خشک ایران است. بعضی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) در جدول ۱ آمده است. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل عامل اول کود آلی در چهار سطح عدم مصرف (شاهد)، مصرف ۲۰ تن در هکتار کود دامی، مصرف ۷/۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و مصرف ۱۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و عامل دوم کاربرد اسید هیومیک در سه سطح عدم مصرف (شاهد)، مصرف خاکی (به‌صورت سرک ۱/۵درصد) و محلول‌پاشی (یک درصد) بود. ویژگی‌های شیمیایی کود دامی و ورمی‌کمپوست در جدول ۲ آورده شده‌اند. اسید هیومیک مورد استفاده نیز از منبع کود مایع هیومیکا تهیه شده از شرکت پارس فروغ آسیا با مشخصات موجود در جدول۳ بود.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری)
Table 1- Soil physical and chemical properties (0-30 cm soil depth)

بافت Texture	محتوی Content (%)			محتوی Content (mg.kg^{-1})		نیتروژن کل Total N (%)	ماده آلی Organic matter (%)	شاخص واکنش pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})
	رس Clay	شن Sand	سیلت Silt	پتاسیم قابل جذب Available K	فسفر قابل جذب Available P				
لومی شنی Sand loam	14	62	24	142	14.1	0.04	0.4	7.1	0.6

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی کود دامی و ورمی کمپوست مورد استفاده در آزمایش
Table 2- Chemical properties of the farmyard and vermicompost used for the experiment

	نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	شاخص واکنش pH
کود دامی Farmyard	0.38	0.8	3.8	7.1	8.4
ورمی کمپوست Vermicompost	0.5	1.22	1.5	4.5	7

جدول ۳- درصد ترکیبات موجود در کود هیومیکای مورد استفاده در آزمایش
Table 3- Percentage of compounds in humic fertilizer used in the experiment

عناصر کمیاب Trace elements (%)	پتاسیم K_2O (%)	فسفر P_2O_5 (%)	نیتروژن کل Total N (%)	ماده آلی Organic mater (%)	اسید فولیک Fulic acid (%)	اسید هیومیک Humic acid (%)
1.4-1.5	10	2.5-3	2.5-3	20-25	4-5	10-12

بذور مورد استفاده ریحان از یک توده محلی شهرستان اشنویه تهیه شد. عملیات آماده‌سازی زمین در اردیبهشت‌ماه پس از مساعد شدن شرایط آب و هوایی و گاورو شدن خاک صورت گرفت و کاشت در ۱۰ اردیبهشت‌ماه انجام شد. به‌این ترتیب که پس از عملیات خاک‌ورزی کرت‌هایی با ابعاد ۳ × ۲ مترمربع در زمین آماده شده، احداث گردید. تیمارهای مربوط به کودهای دامی و ورمی‌کمپوست قبل از کاشت به کرت‌های مربوطه بر اساس نقشه کاشت اضافه گردید. مبنای تعیین مقادیر کود دامی و ورمی‌کمپوست جهت اضافه کردن به خاک بر مبنای درصد نیتروژن آن‌ها و مقدار نیتروژن خالص برای ریحان (Tahami Zarandi et al., 2010) بود.

هرکرت شامل شش ردیف با فواصل ۲۵ سانتی‌متر بود و کاشت بذور با فاصله ۲۰ سانتی‌متر روی ردیف‌ها (تراکم ۲۰ بوته در مترمربع) در عمق ۰/۵ سانتی‌متر صورت گرفت. جهت اطمینان از عدم آبشویی بذور و سبز شدن گیاهچه‌ها، پس از کاشت آبیاری، به‌صورت آب‌پاشی و بعد از حصول اطمینان از استقرار کامل بوته‌ها، آبیاری به‌صورت غرقابی انجام شد. از مراحل اولیه رشد گیاه تا قبل از برداشت کنترل علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی و به‌طور مستمر در تمام مراحل رشد و نمو انجام گرفت. مطابق دستورالعمل شرکت سازنده کود اسید هیومیک، مصرف سرک آن با غلظت ۱/۵ درصد در پای بوته‌ها و محلول‌پاشی با غلظت یک درصد بر روی بوته‌ها قبل از گل‌دهی (۱۵ تیرماه) صورت گرفت. در هر دو مورد برای کاستن از تبخیر محلول اسیدهیومیک، کاربرد آن هنگام غروب آفتاب صورت گرفت و سپس جهت دسترسی ریشه‌ها به محلول مورد استعمال بلافاصله آبیاری کرت‌ها انجام شد.

صفات مورد ارزیابی شامل ارتفاع بوته، تعداد ساقه‌های فرعی در بوته، طول‌های ساقه فرعی در بوته، تعداد سرشاخه‌های گلدار در بوته، تعداد برگ در بوته، شاخص سبزینگی برگ، عملکرد ماده خشک، درصد اسانس و عملکرد اسانس بودند. اندازه‌گیری صفات موفولوژیکی مورد نظر در مرحله گل‌دهی صورت گرفت بدین صورت که از هر کرت آزمایشی با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ها هفت بوته به‌طور تصادفی (از سطحی معادل یک مترمربع) انتخاب و صفات مورد نظر اندازه-گیری شدند و پس از میانگین‌گیری، داده‌های مربوطه ثبت شدند. شاخص سبزینگی برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج (SPAD) صورت گرفت.

برداشت در ۱۰ مردادماه در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی بوته‌ها انجام شد. برای تعیین عملکرد در واحد سطح، از هر کرت سطحی معادل یک مترمربع درنظر گرفته شد و تمام بوته‌های آن از سطح خاک برداشت گردید و پس از خشک کردن بوته‌های برداشت شده در سایه و توزین آن‌ها عملکرد ماده خشک به‌دست آمد و سپس بوته‌های خشک شده در پاکت‌های کاغذی در محلی مناسب تا زمان اسانس‌گیری نگهداری گردیدند. برای تعیین درصد اسانس از بوته‌های که از قبل برداشت شده بودند، استفاده شد. استخراج اسانس از اندام هوایی (ساقه، برگ و گل آذین) به‌روش تقطیر با آب با استفاده از دستگاه کلونجر (Tahami Zarandi et al., 2010) در دانشگاه مراغه صورت گرفت. روش کار به این صورت بود که مقدار ۴۰ گرم از بوته‌های خشک ریحان، خرده شده و در بالن دستگاه کلونجر ریخته شده و سپس ۴۰۰ سی‌سی آب مقطر به‌آن اضافه گردید و به‌مدت ۱۵۰ دقیقه در دمای ثابت در معرض جوش قرار گرفت. پس از مدت مذکور دستگاه خاموش و اسانس جدا شده از نمونه‌های گیاهی استخراج و با استفاده از ترازوی حساس با دقت بالا توزین و به‌صورت درصد برای هر نمونه ثبت شد. درصد و عملکرد اسانس نیز از رابطه‌های زیر محاسبه شدند:

$$EP= (EW)/40)\times 100 \quad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله، EP: درصد اسانس،EW: وزن اسانس استخراج شده (گرم) است.

$$EY= EP\times DMY \quad \text{معادله (۲)}$$

در این معادله، EY: عملکرد اسانس (گرم در مترمربع)، EP: درصد اسانس و DMY: عملکرد ماده خشک (گرم در مترمربع) است.

داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار آماری MSTAT-C مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند، مقایسه میانگین‌های صفات با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد برای هر صفت انجام شد و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

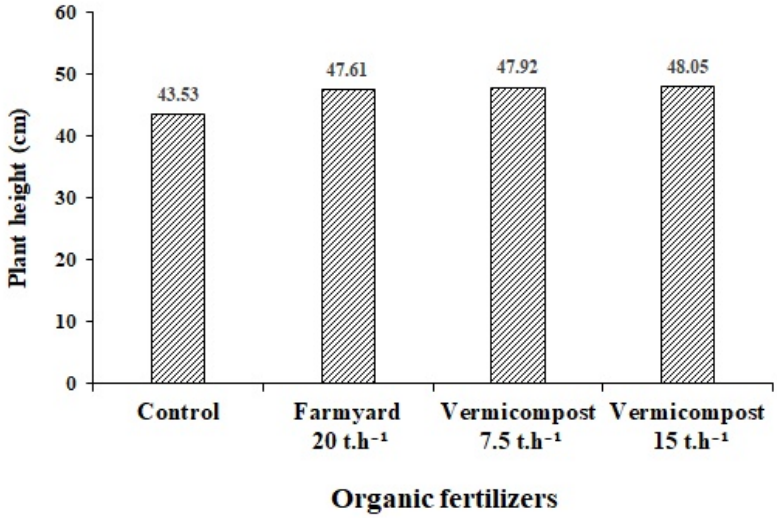
نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر کاربرد کودهای آلی بر ارتفاع بوته در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد، ولی اثر کاربرد اسید هیومیک و برهم‌کنش کود آلی و اسید هیومیک بر آن معنی‌دار

نشد (جدول ۴).

هر سه تیمار کاربرد کود آلی (۲۰ تن در هکتار کود دامی، ۷/۵ تن در هکتار ورمی کمپوست و ۱۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست) باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته ریحان نسبت به شاهد گردیدند و بیشترین افزایش را کاربرد ۱۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست (۱۰/۲۶ درصد) به خود اختصاص داد (شکل ۱). به نظر می‌رسد که دلیل افزایش ارتفاع بوته با کاربردهای کود آلی مورد استفاده تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از جمله نیتروژن باشد که در هر سه نوع کود آلی موجود می‌باشد و این عنصر در طول رشد گیاه در اختیار بوته قرار گرفته، لذا تأمین عناصر غذایی گیاه به‌خوبی انجام شده در نتیجه، باعث افزایش ارتفاع گیاه گردید (Kandeel et al., 2002). در واقع، چنین استنباط می‌شود که فراهمی عناصر غذایی از طریق افزایش طول میان‌گره‌ها باعث افزایش ارتفاع بوته گردید (Saidnezhad et al., 2010). از سوی دیگر، به‌نظر می‌رسد که مصرف مقادیر مناسبی از کودهای آلی از طریق بهبود فعالیت‌های میکروبی در خاک و تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه توسط ریزجانداران و نیز فراهمی جذب بیشتر عناصر غذایی، سبب افزایش میزان فتوسنتز و ماده خشک گیاهی شده که این مسئله در نهایت، به افزایش ارتفاع بوته می‌انجامد (Monaghash et al., 2015). همانند نتیجه پژوهش حاضر در گیاهان ریحان (Chezgi et al., 2018)، زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) (Yadollahi et al., 2015) و رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) (Mahfouz & Sharaf-Eldin, 2007) نیز افزایش ارتفاع بوته با کاربرد کودهای آلی ورمی‌کمپوست و کود دامی گزارش شده است.



شکل ۱- مقایسه میانگین‌های ارتفاع بوته ریحان تحت تأثیر کاربرد کودهای آلی
Fig. 1- Means compression of basil plant height under organic fertilizers application (LSD value = 3.05)

تعداد و طول ساقه‌های فرعی

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر کاربرد کودهای آلی و اسید هیومیک بر تعداد ساقه‌های فرعی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و اثر کاربرد کودهای آلی بر طول ساقه‌های فرعی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شدند. برهم‌کنش تیمارها بر هر دو صفت مذکور غیر معنی‌دار بود (جدول۴).

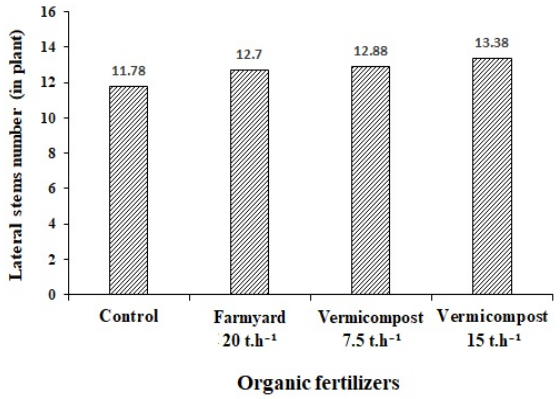
نتایج مقایسه میانگین‌ها نیز حاکی از آن است که هر سه تیمار کودی اعم از دامی، ورمی‌کمپوست ۷/۵ و ۱۵ تن در هکتار به‌ترتیب باعث افزایش ۱۳/۶، ۹/۳ و ۷/۸ درصدی تعداد ساقه‌های فرعی ریحان نسبت به شاهد شدند (شکل ۲). در رابطه با طول ساقه‌های فرعی، دو تیمار کاربرد ۲۰ تن در هکتار کود دامی و ۱۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به‌ترتیب ۳۳/۲ و ۳۱/۵ درصد طول ساقه‌های فرعی را نسبت به شاهد افزایش دادند (شکل ۳). به‌نظر می‌رسد که افزایش تعداد و طول ساقه‌های فرعی می‌تواند به‌دلیل تأمین تدریجی عناصر

غذایی آزاد شده از کودهای آلی در طول دوره رشدی گیاه باشد که به افزایش رشد رویشی از جمله افزایش شاخه‌دهی آن کمک کرده است. از طرف دیگر، کودهای آلی با ایجاد تعادل در عناصر غذایی و بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، سبب افزایش رشد و نمو اندام‌های هوایی گیاه شده است (Bachman & Metzger, 2008). نتایج مشابهی از افزایش تعداد ساقه‌های فرعی در گیاه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) با کاربرد کودهای آلی مانند ورمی-کمپوست گزارش شده است (Rezae & Baradaran, 2013).

کاربرد اسید هیومیک با هر دو روش خاک‌مصرف و محلول‌پاشی به‌ترتیب باعث افزایش ۹/۶ و ۱۱/۳ درصدی تعداد ساقه‌های فرعی نسبت به شاهد گردیدند (جدول ۵). در تحقیقی مشابه گزارش شده است که در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش تعداد ساقه‌های فرعی شد و علت آن چنین آورده شده است که با کاربرد اسید هیومیک جذب و انتقال مواد غذایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم) و آب توسط گیاه بیشتر شده و از این طریق سبب افزایش رشد رویشی گیاه و در پی آن افزایش تعداد ساقه فرعی می‌گردد (Karimi & Tadayyon, 2019).

تعداد سرشاخه‌های گلدار

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کاربرد کودهای آلی در سطح احتمال یک درصد و اسید هیومیک در سطح احتمال ۵ درصد بر تعداد سرشاخه‌های گلدار معنی‌دار شدند (جدول ۴). هر سه تیمار کاربرد کود آلی (کاربرد ۱۵ و ۷ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و ۲۰ تن در هکتار کود دامی) بدون تفاوت معنی‌دار با همدیگر به‌ترتیب باعث افزایش ۴۴/۹، ۴۶/۵ و ۲۷/۹ درصدی تعداد سرشاخه گلدار نسبت به شاهد شدند (شکل۴). در رابطه با کاربرد هیومیک اسید، بیشترین تعداد سرشاخه گلدار (۲۲/۹ سرشاخه گلدار) با تیمار محلول‌پاشی آن به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۸/۵ درصد افزایش نشان داد (جدول ۵). در پژوهشی پندی (Pandey, 2005) افزایش معنی‌دار تعداد سرشاخه گلدار گیاه درمنه با استعمال ورمی‌کمپوست را گزارش نمود و علت آن را به بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک و تولید تنظیم کننده-های رشد گیاه از طریق این ریزجانداران و بهبود جذب آب و عناصرغذایی و افزایش فتوسنتز گیاه و در نتیجه افزایش گلدهی آن نسبت دادند. نتایج مشابهی در بابونه نیز گزارش شده است (Liuc and Pank, 2005). علت افزایش تعداد سرشاخه گلدار با کود دامی می‌تواند ناشی از بهبود وضعیت مواد آلی خاک و افزایش قدرت جذب و نگهداری و فراهمی رطوبت مناسب و عناصر غذایی از قبیل نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک باشد (Eghball et al., 2002). علت افزایش تعداد سرشاخه‌های گلدار در حضور اسید هیومیک را می‌توان به‌دلیل اثرات مثبت آن بر فرایندهای فیزیولوژیکی در گیاه، افزایش جذب و کارایی عناصر غذایی، نفوذپذیری بافت گیاهی و فعالیت شبه‌هورمونی آن مربوط دانست (Hassanpur-Asil et al., 2017; Nardi et al., 2002).



شکل ۲- مقایسه میانگین‌های تعداد ساقه‌های فرعی ریحان تحت تأثیر کاربرد کودهای آلی

Fig. 2- Means compression of basil lateral stems namber under organic fertilizers application (LSD value = 0.84)

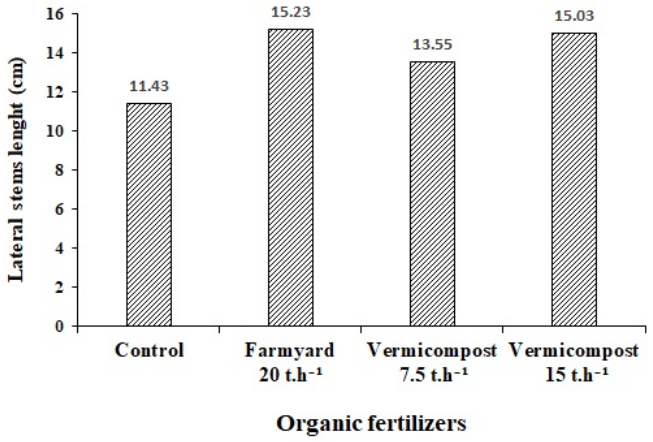
جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد ارزیابی در ریحان تحت تأثیر کودهای دامی، ورمی‌کمپوست و اسید هیومیک

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of evaluated traits in basil under farmyard, vermicompost and humic acid

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares								
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد ساقه‌های فرعی Lateral stems number	طول ساقه‌های فرعی Lateral stems lenght	تعداد سرشاخه‌های گلدار Flowering stems nuamber	تعداد برگ Leaf number	شاخص سبزینگی برگ Leaf clorophyll index	عملکرد ماده خشک Dry matter yield	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس Essential oil yield
تکرار Replication	2	34.09*	1.81*	33.24*	99.16**	840.93**	81.51**	52815**	0.052**	1.306*
کود آلی (A) Organic fertilizer (A)	3	41.65*	4.00**	27.77*	110.89**	582.89**	31.26*	41947**	0.005ns	1.34**
اسید هیومیک (B) Humic acid (B)	2	13.03ns	6.29**	2.7ns	49.38*	209.98ns	21.65ns	7542*	0.028*	1.63**
A×B	6	4.92ns	0.31ns	5.93ns	23.51ns	33.66ns	26.55*	5858*	0.013ns	0.42ns
خطا Error	22	9.75	0.4	7.96	10.52	87.69	9.97	2145	0.008	0.28
ضریب تغییرات C.V (%)	-	6.67	4.99	20.47	15.37	15.65	5.63	10.11	16.15	20.99

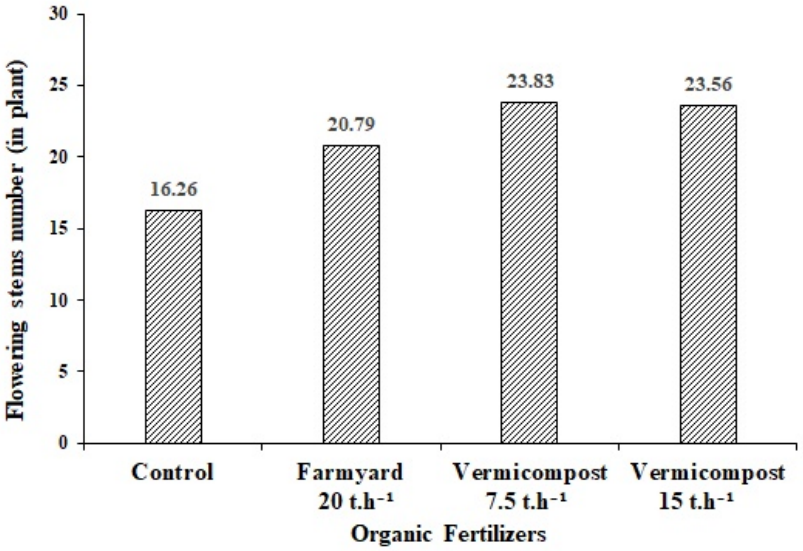
ns، *، **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد را نشان می‌دهد.

ns: no-significant, * and **: significant at probability levels of 5 and 1%, respectively.



شکل ۳- مقایسه میانگین‌های طول ساقه‌های فرعی ریحان تحت تأثیر کاربرد کودهای آلی

Fig. 3- Means compression of basil lateral stems lenght under organic fertilizers application (LSD value = 2.76)



شکل ٤- مقایسه میانگین‌های تعداد سرشاخه‌های گلدار ریحان تحت تأثیر کاربرد کودهای آلی

Fig. 4- Means compression of basil flowering stems number under organic manure application (LSD value = 4.31)

تعداد برگ

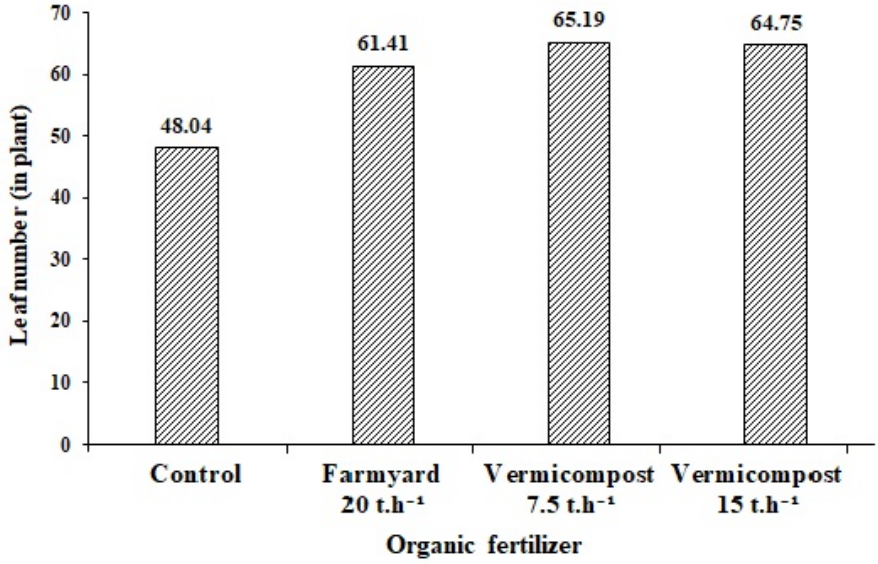
تعداد برگ به‌طور معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) تحت تأثیر کاربرد کودهای آلی قرار گرفت (جدول ۴). کاربرد هر سه کود آلی مورد استفاده به‌طور میانگین منجر به افزایش ۳۲/۸ درصدی تعداد برگ ریحان نسبت به شاهد شدند (شکل ۵).

گزارش شده است که کاربرد ورمی‌کمپوست در پنیرک (*Malva silvestris* L.) (Nourafcan et al., 2015) و کود دامی در گلرنگ (Rasti et al., 2014) باعث افزایش تعداد برگ شده است. به‌نظر می‌رسد که کاربرد کودهای مذکور در افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک تأثیر داشته و در این شرایط کاربرد کودهای آلی علاوه بر تأمین عناصر غذایی لازم برای گیاه باعث افزایش خلل و فرج خاک، تعادل نیتروژن و افزایش کارایی جذب فسفر در گیاه می‌شود (Marschner, 1995) که می‌تواند موجب افزایش رشد رویشی و تعداد برگ در گیاه گردد.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های سطوح مختلف اسید هیومیک بر برخی صفات ریحان

Table 5- Comparison of means of different levels of humic acid on some traits of basil

سطوح اسید هیومیک Levels of humic acid	تعداد ساقه‌های فرعی Lateral stems number (in plant)	تعداد سرشاخه‌های گلدار Flowering stems nuamber (in plant)	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس Essential oil yield ($g.m^{-2}$)
شاهد Control	11.9	18.9	0.497	2.087
خاک مصرف Soil application	13	21.6	0.564	2.697
محلول‌پاشی Foliar application	13.2	22.9	0.591	2.748
LSD value	0.73	2.75	0.075	0.607



شکل ۵- مقایسه میانگین‌های تعداد برگ ریحان تحت تأثیر کاربرد کودهای آلی

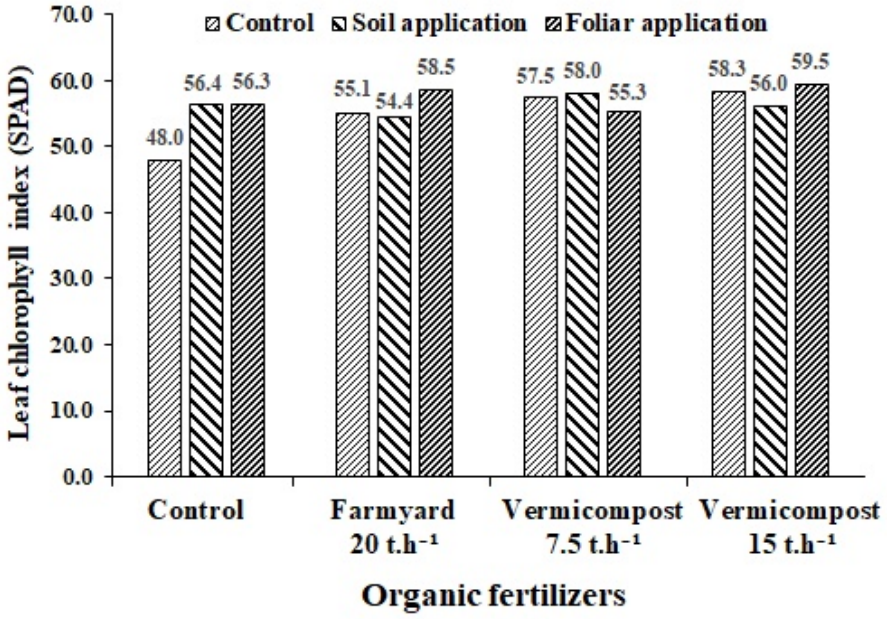
Fig. 5- Means compression of basil leaf number under organic manure application (LSD value = 12.44)

شاخص سبزینگی برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش کاربرد کودهای آلی با اسید هیومیک بر شاخص کلروفیل برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۴).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های مربوط به این صفت تمامی تیمارهای ترکیبی کود آلی با اسید هیومیک نسبت به شاهد (عدم مصرف کود آلی و اسید هیومیک) منجر به افزایش معنی‌دار شاخص کلروفیل برگ ریحان شدند و در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۶). به نظر می‌رسد که کاربرد توأم کودهای آلی و اسید هیومیک می‌تواند منجر به افزایش جذب سریع‌تر عناصر غذایی از جمله نیتروژن توسط گیاه، افزایش سطح برگ‌ها و سطح جذب نور، ساخته شدن مواد هیدروکربنی در برگ‌ها و افزایش کلروفیل‌های a و b شود و درنتیجه، افزایش در شاخص سبزینگی برگ اتفاق می‌افتد. در پژوهشی مشابه نیز افزایش مقدار کلروفیل برگ شب‌بو در اثر مصرف غلظت‌های مختلف اسید هیومیک گزارش شده است و علت آن تأثیر اسید هیومیک بر افزایش جذب عناصر غذایی و نهایتاً، افزایش تعداد برگ و

کلروفیل بیان شده است (Shahsavan Markadeh & Chamani, 2014). افزایش شاخص سبزینگی برگ در چغندرقند (Jahan et al., 2014) و مقادیر کلروفیل‌های a و b و کلروفیل کل مرزه (*Satureja hortensis* L.) (Hosseinian et al., 2019) نیز با کاربرد اسید هیومیک گزارش شده است. در گیاه به لیمو نیز کاربرد ورمی‌کمپوست باعث افزایش شاخص سبزینگی برگ شد و علت آن نیز چنین بیان شده است که مصرف کود آلی با افزایش مقدار نیتروژن در گیاه، باعث افزایش مقدار کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها شده و به‌دنبال آن سبزینگی، توانایی جذب نور خورشید، تولید مواد فتوسنتزی و در نهایت، رشد و عملکرد گیاه افزایش یافته است (Asghari et al., 2016).



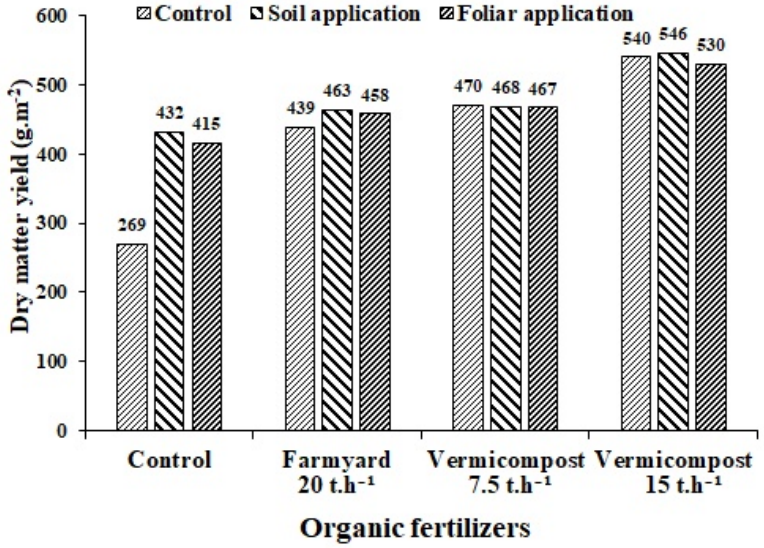
شکل ٦- مقایسه میانگین‌های قرائت کلروفیل‌متر ریحان برگ تحت تأثیر برهم‌کنش کاربرد کود آلی و اسید هیومیک
Fig. 6- Means compression of basil leaf chlorophyll meter reading under organic manure and humic acid application (LSD value = 5.35)

عملکرد ماده خشک

نتایج تجزیه واریانس حاکی از معنی‌داری برهم‌کنش کاربرد کود آلی و اسیدهیومیک بر عملکرد ماده خشک ریحان در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد (جدول ۴).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین عملکرد ماده خشک با کاربرد توأم ۱۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و سطوح مختلف اسید هیومیک به‌دست آمد و به‌طور میانگین عملکرد ماده خشک نسبت به شاهد (عدم کاربرد هرنوع کود آلی)، ۱۰۳ درصد افزایش یافت (شکل ۷). همچنین، نتایج مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن است که در هر سه تیمار کاربرد کود گاوی، ۷/۵ و ۱۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف اسید هیومیک مشاهده نشد، ولی در شاهد کاربرد اسید هیومیک نسبت به عدم کاربرد آن افزایش معنی‌دار نشان داد (شکل ۷). از آنجایی که عملکرد ماده خشک در ریحان از مجموع وزن تمامی اندام‌های هوایی آن تشکیل می‌شود و کاربرد مواد آلی در این آزمایش تأثیر مثبتی در رشد اندام‌های هوایی از جمله تعداد و طول ساقه‌های فرعی، تعداد سرشاخه‌های گلدار و تعداد برگ داشته است، لذا افزایش ماده خشک با کاربرد کودهای آلی قابل توجیه می‌باشد. کاربرد مواد آلی از جمله کودهای دامی و ورمی-کمپوست در خاک در تأمین و فراهم نمودن مواد غذایی مورد نیاز گیاه اثرگذار بوده و از طرف دیگر، با بهبود ویژگی‌های فیزیکی و فرآیندهای زیستی خاک و با ایجاد محیطی مناسب برای رشد گیاه موجب افزایش رشد رویشی اندام‌های هوایی و در نتیجه، تولید بیشتر ماده خشک خواهد شد (Anwar et al., 2005). کاربرد اسیدهیومیک نیز از طریق افزایش محتوای نیتروژن و سبزینگی گیاه و حفظ

ماندگاری آن‌ها منجر به بهبود رشد و افزایش ماده خشک گیاه شده است (Ayas & Gulser, 2005). همسو با نتایج این پژوهش، افزایش عملکرد ماده خشک در گل گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) (Gholinezhad et al., 2016) و نعناع (Asadi et al., 2018) با کاربرد مواد آلی و در بادرشبو (*Dracocephalam moldavica* L.) (Nasiri et al., 2019) و نعناع (Askari et al., 2012) با کاربرد اسید هیومیک و مواد آلی از جمله کود دامی و ورمی کمپوست، گزارش شده است.



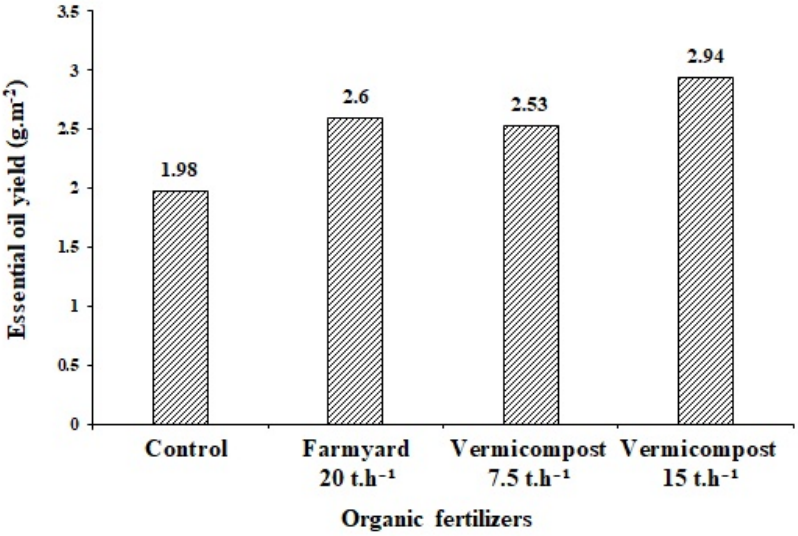
شکل ۷- مقایسه میانگین‌های عملکرد ماده خشک ریحان تحت تأثیر برهم‌کنش کاربرد کود آلی و اسید هیومیک
Fig. 7- Means compression of basil dry matter yield under organic manure and humic acid application (LSD value = 78.42)

درصد و عملکرد اسانس

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کاربرد اسید هیومیک بر درصد اسانس در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۴).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌های مربوط به این صفت کاربرد اسید هیومیک به‌صورت محلول‌پاشی باعث افزایش معنی‌دار درصد اسانس نسبت به شاهد گردید. این تیمار به‌طور متوسط مقدار اسانس را ۱۸/۹ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۵). براساس نتایج تجزیه واریانس عملکرد اسانس نیز در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر کاربرد کود آلی و اسید هیومیک قرار گرفت (جدول ۴). تیمار کاربرد ۱۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست باعث افزایش معنی‌دار عملکرد اسانس گردید و آن را ۴۸/۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۸). همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد اسید هیومیک با هر دو روش خاک‌مصرف (سرک) و محلول‌پاشی باعث افزایش معنی‌دار عملکرد اسانس ریحان نسبت به شاهد شد به‌طوری‌که این دو تیمار با میانگین ۲/۷۲ گرم در مترمربع اسانس، عملکرد اسانس را به‌طور متوسط ۵۱/۱ درصد افزایش دادند (جدول ۵). از آنجایی که عملکرد اسانس ریحان تابعی از عملکرد ماده خشک و درصد اسانس می‌باشد، لذا کاربرد کودهای آلی و اسید هیومیک از طریق افزایش این دو پارامتر مخصوصاً عملکرد ماده خشک، منجر به افزایش عملکرد اسانس شده است. به نظر می‌رسد اسید هیومیک از طریق فراهم نمودن جذب بیشتر عناصر غذایی نظیر نیتروژن و فسفر که در اجزای تشکیل‌دهنده اسانس گیاه حضور دارند و با توجه به نقش عنصر فسفر در ساختار واحدهای سازنده ترکیبات اسانس و مولکول‌های حامل انرژی ATP و NADPH (Chegeni et al., 2019)، کاربرد آن موجب افزایش محتوای اسانس پیکر رویشی ریحان شده است. از طرف دیگر، احتمالاً فراوانی نیتروژن از طریق افزایش تعداد و سطح برگ زمینه مناسب جهت دریافت بیشتر انرژی نورانی خورشید را فراهم نموده و همچنین شرکت نیتروژن موجود در ساختار کلروفیل و آنزیم‌های درگیر در سوخت و ساز کربن فتوسنتزی، افزایش کارآیی فتوسنتزی را موجب شده و از این طریق نیز نقش

مهمی در افزایش مقدار اسانس ایفا کرده است (Gorgini Shabankareh, 2017). به نظر می‌رسد که با افزایش مقدار کاربرد ورمی کمپوست به خاک نه تنها عناصر غذایی مورد نیاز گیاه به‌ویژه نیتروژن و فسفر به‌مقدار بیشتری در دسترس گیاه قرار می‌گیرند بلکه ورمی کمپوست شرایط فیزیکی و فرآیندهای زیستی خاک را بهبود بخشیده و با ایجاد بستری مناسب برای رشد ریشه، افزایش تولید ماده خشک و درصد اسانس و در نتیجه، عملکرد اسانس را فراهم می‌آورد (Tasdighi et al., 2015). افزایش درصد اسانس مرزه (Ateia et al., 2009) و بادرشبو (Nasiri et al., 2019) نیز با کاربرد اسید هیومیک پیش‌تر گزارش شده است. کاربرد مقادیر مناسبی از کود دامی در تولید گیاه دارویی بادرنجبویه باعث افزایش معنی‌دار عملکرد اسانس گردید و همچنین گزارش شده است که افزودن مواد آلی به خاک موجبات افزایش رشد اندام هوایی و تولید ماده خشک و در نهایت، بهبود عملکرد اسانس را نیز مهیا کرده است (Santos et al., 2009). در گیاه دارویی رازیانه نیز نتایج گزارش شده حاکی از آن است که کاربرد کودهای آلی سبب افزایش عملکرد اسانس می‌شود (Mona et al., 2008).



شکل ۸- مقایسه میانگین‌های عملکرد اسانس ریحان تحت تأثیر کاربرد کودهای آلی
Fig. 8- Means compression of basil essential oil yield lenght under organic manure application (LSD value = 0.70)

نتیجه‌گیری

نتایج کلی این پژوهش حاکی از آن است که کاربرد کودهای آلی از جمله کود دامی و ورمی‌کمپوست و اسید هیومیک با تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه بر رشد، صفات موفولوژیکی، تولید ماده خشک و اسانس ریحان تأثیر معنی‌داری دارد و با کاربرد آن‌ها صفات مورفولوژیکی مورد مطالعه، عملکرد ماده خشک، درصد اسانس و عملکرد اسانس در مقایسه با عدم کاربرد این کودها افزایش پیدا کردند. علی رغم اینکه هر سه سطح کود آلی باعث افزایش عملکرد ماده خشک، درصد اسانس و عملکرد اسانس شدند، ولی کاربرد ۱۵ تن در هکتار نسبت به کاربرد ۷/۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و ۲۰ تن در هکتار کود دامی تأثیر مثبت بیشتری بر صفات مذکور داشتند. در خصوص کاربرد اسید هیومیک نیز کاربرد محلول‌پاشی آن درصد اسانس بیشتری تولید کرد، ولی در مورد عملکرد ماده خشک و عملکرد اسانس هر دو روش محلول‌پاشی و خاک‌مصرف آن نتایج مثبتی از خود نشان دادند. به‌طورکلی، برای دستیابی به نتیجه بهتر و با اطمینان بیشتر، ۱۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست همراه با محلول‌پاشی و یا مصرف خاکی اسید هیومیک با توجه به شرایط و امکانات موجود، استفاده شود.

References

Aatif, M., Khan, H., Anjum, M.M., Ali, N., and Hamid, H., 2017. Effect of farm yard manure and phosphorus levels on yield and yield components of wheat. Intertational Journal of Environmental Science and Natural Resources 2(4): 1-5.

Abedini, T., Moradi, P., and Hani, A., 2015. Effect of organic fertilizer and foliar application of humic acid on some quantitative and qualitative yield of pot marigold. Journal of Novel Applied Sciences 10: 1100-1103.

Aćimović, M.G., Dolijanović, Ž.K., Oljača, S.I., Kovačević, D.D., and Oljača, M.V., 2015. Effect of organic and mineral fertilizers on essential oil content in caraway, anise and coriander fruits. Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus 14(1): 95-103.

Anwar, M., Patra, D.D., Chand, S., and Khanuja, S.P.S., 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. Communications in Soil Science and Plant Analysis 36(13-14): 1737-46.

Asadi, M., Nasiri, Y., Mola Ali Abasiyan, S., and Morshedloo, M.R., 2018. Evaluation of quantitative and qualitative yield of peppermint under amino acids, chemical and organic fertilizers. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 28(3): 257-275. (In Persian with English Summary)

Asghari, M., yousefirad, M., and Masoumi Zavarian, A., 2016. Effects of organic fertilizers of compost and vermicompost on qualitative and quantitative rriats of lemon verbena. Journal of Medicinal Plants 2(58): 63-71. (In Persian with English Summary)

Askari, M., Habibi, D., and Naderi Brujerdi, G., 2012. Effect of vermicompost, plant growth, promoting rhizobacteria and humic acid on growth factor of *Mentha piperata* L. in central province. Journal of Agriculture and Plant Breeding 4: 41-54.

Ateia, E.M., Osman, Y.A.H., and Meawad, A.E.A.H., 2009. Effect of organic fertilization on yield and active constituents of *Thymus vulgaris* L. under north Sinai conditions. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 5(4): 555-565.

Ayas, H., and Gulser, F., 2005. The effect of sulfur and humic acid on yield components and macronutrient contents of spinach. Journal of Biological Sciences 5(6): 801-804.

Azizi, M., Rezvani, F., Hassan-Zadeh, M., Lekzian, A., and Nemati, A., 2009. The effect of different levels of vermicompost and irrigation on morphological properties and essential oil content of German chamomile (*Matricaria recutita*) C.V. Goral. Iranian Journal of Medicinal Plants 24(1): 82-93. (In Persian with English Summary)

Bachman, G.R., and Metzger, J.D., 2008. Growth of bedding plants in commercial potting substrate amended with vermicompost. Bioresource Technology 99(8): 3155–3161.

Chand, S., Pandey, A., and Patra, D., 2012. Influnce of nikel and lead applied in combination with vermicompost on growth and accumulation of heavy metals by mint. Indian Journal of Natural Products and Resources 3: 256-261.

Chegeni, Z., Zolfaghari, M., Sedighi Dehkordi, F., and Mahmoodi Sourestani, M., 2018. The effect of mycorrhizal fungi, PGPRs and chemical fertilizer on yield and essential oil content of dill (*Anethum graveolens* L.) seed. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 28(4): 93-104. (In Persian with English Summary)

Chezgi, M., Chalavi, V., and Akbarpour, V., 2018. The effect of organic and chemical nitrogen fertilizers on the yield and qualitative characteristics of two basil cultivars. Journal of Crop Production and Processing 8(1): 29-44. (In Persian with English Summary)

Eghball, B., Weinhold, B.J., Gilley, J.E., and Eigenberg, R.A., 2002. Mineralazation of manure nutrients. Journal of Soil and Water Conservation 56(6): 470–8.

El-Gohary, A.E., El-Sherbeny, S.E., Ghazal, G.M.E.M., Khalid, K.A., and Hussein, M.S., 2014. Evaluation of essential oil and monoterpenes of peppermint (*Mentha piperita* L.) under humic acid with foliar nutrition. Journal of Materials and Environmental Science 5(6): 1885-1890.

Eyheraguibel, B., Silvestre. J., and Morard P., 2008. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. Bioresource Technology 99(10): 4206-12.

Ghesmati, M., and Moradinezhad, F., 2019. Influence of different levels of organic fertilizers on quantitative and biochemical properties of *Salvia mirzayanii* Rech. F. and Esfand. Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants

7(2): 78-90. (In Persian with English Summary)

Gholinezhad, R., Sirousmehr, A., and Fakheri, B., 2015. Evaluation of irrigation regimes and use of organic fertilizers on qualitive and quantitive yield of borage (*Borago officinalis* L.). Journal of Crop Ecophysiology 10(3): 683-696. (In Persian with English Summary)

Gorgini Shabankareh, H., Sabouri, F., Saedi, F., and Fakheri, B.A., 2017. Effects of different levels of humic acid on growth indices and essential oil of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) under different irrigation regimes. Journal of Crop Science Research in Arid Regions 1(2): 166-176. (In Persian with English Summary)

Han, S.H., Young, A., Hwang, J., and Bae Park, B., 2016. The effects of organic manure and chemical fertilizer on the growth and nutrient concentrations of yellow poplar (*Liriodendron tulipifera* Lin.) in a nursery system. Forest Science and Technology 12(3): 137-143.

Hassanpur-Asil, M., Amini, S., and Abdol Rahman Rahimi, A.R., 2017. Effect of different gibberllic acid and humic acid concentrations on growth and development characteristics of gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* L. cv. White Prosperty). Iranian Journal of Horticultural Science 48(3): 469-477. (In Persian with English Summary)

Holik, L., Hlisnikovský, L., and Kunzová, E., 2018. The effect of mineral fertilizers and farmyard manure on winter wheat grain yield and grain quality. Plant, Soil and Environment 64(10): 491-497.

Hosseinian, S.H., Ebrahimipak, N.A., Yusefi, A., and Egdernezhad, A., 2019. Effect of water stress and humic acid foliar application on morpho-physiological characteristics of *Satureja hortensis*. Journal of Water and Soil Conservation 26(1): 219-232. (In Persian with English Summary)

Jahan, M., Nassiri Mahallati, M. Ranjbar, F., Aryaee, M., and Kamayestani, N., 2014. The effects of super absorbent polymer application into soil and humic acid foliar application on some agrophysiological criteria and quantitative and qualitative yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under Mashhad conditions. Journal of Agroecology 6(4): 753-766. (In Persian with English Summary)

Joshi, R., Vig, A.P., and Singh, J., 2013. Vermicompost as soil supplement to enhance growth, yield and quality of *Triticum aestivum* L.: A field study. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture 2(1): 1-7.

Kandeel, A.M., Naglaa, S.A.T., and Sadek, A.A., 2002. Effect of biofertilizers on the growth, volatile oil yield and aroma profiles of five basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars grown under conventional and organic conditions. Food Chemistry 107: 464-472.

Karimi, E., and Tadayyon, A., 2019. Effect of humic acid spraying on yield and some morphological characteristic of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under drought stress conditions. Applied Research in Field Crops 31(1): 19-38. (In Persian with English Summary)

Khan, M.N., Mobin, M., Abbas, Z.K., and Alamri, S.A., 2018. Fertilizers and their contaminants in soils, surface and groundwater. Encyclopedia of Anthropocene 5: 225-240.

Liuc, J., and Pank, B., 2005. Effect of vermicompost and fertility levels on growth and oil yield of Roman chamomile. Scientia Pharmaceutica 46: 63-69.

Mahfouz, S.A., and Sharaf-Eldin, M.A., 2007. Effect of mineral vs. biofertilizer on growth, yield, and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). International Agrophisics 21(4): 361-366.

Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Academic Press. London, UK, 889pp.

Miao, Y., Stewart, B.A., and Zhang, F., 2011. Long-term experiments for sustainable nutrient management in China-A review. Agronomy for Sustainable Development 31: 397-414.

Mona, Y., Kandil, A.M., and Swaefy Hend, M.F., 2008. Effect of three different compost levels on fennel and salvia growth character and their essential oils. Biological Sciences 4: 34-39.

Monaghash, F., Maleki, A., and Zolnorian, H., 2015. Effect of application methods of vermicompost and chemical fertilizers on tuber yield and some morphological traits of potato (*Solanum tuberosum*). Journal of Crop Ecophysiology 9(3): 417-428. (In Persian with English Summary)

Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., and Vianello, A., 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. Soil Biology and Biochemistry 34(11): 1527-1536.

Nasiri Dehsorkhi, A., Makarian H., Varnaseri Ghandali, V., and Salari, N., 2018. Investigation of effect of humic acid and vermicompost application on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Applied Research in Field Crops 31(1): 1-118. (In Persian with English Summary)

Nasiri, Y., Baghban Akbari, P., Nouraein, M., and Amini, R., 2019. Evaluation of farmyard and vermicompost

application and spray of ascorbic acid and humic substances on dragonhead (*Dracocephalam moldavica* L.) production. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 29(4): 257-275. (In Persian with English Summary)

Neamati, H., Azizi, M., Mohammadi, S., and Karimpour, S., 2014. The study on the effect of spraying with different concentrations of vermicompost extract (Vermiwash) on the morphological traits, yield and percentage of essential oil of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) Journal of Horticulture Science 27(4): 411-417. (In Persian with English Summary)

Nourafcan, H., Pouyanfar, M., and Mahmoudirad, Z., 2015. The effect of different levels of vermicompost on morphological traits and yield components of mallow (*Malva silvestris* L.). Journal Agroecology 11(3): 69-76. (In Persian with English Summary)

Omidbaigi, R., 2008. Production and Processing of Medicinal Plants. (Vol. 3). Behnashr Press, Astane-Ghodse Razavi, Mashhad, Iran. (In Persian)

Pandey, R., 2005. Manement of meloidogyne incognita in artemisia pallens with bio-organics. Phytoparasitica 33(3): 304-308.

Purushothaman, B., Prasanna Srinivasan, R., Suganthi, P., Ranganathan, B., Gimbun, J., and Shanmugam, K., 2018. A comprehensive review on *Ocimum basilicum*. Journal of Natural Remedies 18(3): 71-83.

Rasti, E., Saffari, M., and Maghsoudi Moud, A.A., 2014. The effects of organic and chemical fertilizers on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water stress conditions. Journal of Irrigation and Water Engineering 5(18): 69-80. (In Persian with English Summary)

Rezae, M., and Baradaran, R., 2013. Effects of bio fertilizers on the yield and yield components of pot marigold (*Calendula officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 29(3): 635-650. (In Persian with English Summary)

Roussos, P.A., Gasparatos, D., Kechrologou, K., Katsenos, P., and Bouchagier, P., 2017. Impact of organic fertilization on soil properties, plant physiology and yield in two newly planted olive (*Olea europaea* L.) cultivars under mediterranean conditions. Scientia Horticulturae 220: 11-19.

Said-Al Ahl, H.A.H., El Gendy, A.G., and Omer, E.A., 2016. Humic acid and indole acetic acid affect yield and essential oil of dill grown under two different locations in Egypt. Journal of Pharmaceutical Sciences and Research 8(7): 594-606.

Saidnezhad, A.M., and Rezvani Moghaddam, P., 2010. Evaluation of the effect of compost, vermicompost and manure on yield, yield components and essential oil of cumin (*Cuminum cyminum*). Journal of Horticultural Science 24(2): 142-148. (In Persian with English Summary)

Santos, M.F., Mendonca, M.C., Carvalho filho, J.L.S., Dantas, I.B., Silva- Mann, R., and Blank, A.F., 2009. Cattle manure and biofertilizer on the cultivation of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). Revista Brasileira de Plantas Medicinals 11(4): 355-359.

Shahsavan Markadeh, M., and Chamani, E., 2014. Effects of various concentrations and time of humic acid application on quantitative and qualitative characteristics of cut stock flower (*Matthiola incana* 'Hanza'). Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture 5(3): 157-171. (In Persian with English Summary)

Silva, P.S.L.E., Silva, P.I.B.E., Oliveria, V.R.D., Oliveria, F.H.T.D., and Costa, L.R.D., 2017. Vermicompost application improving semiarid-grown corngreen ear and grain yield. Revista Caatinga 30(3): 551-558.

Tahami Zarandi, S.M.K., Rezvani Moghaddam, P., and Jahan, M., 2010. Comparison the effect of organic and chemical fertilizers on yield and essential oil percentage of basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Agroecology 2(1): 70-82. (In Persian with English Summary)

Tasdighi, H., Salehi, A., Movahhedi Dehnavi, M., and Behzadi, Y., 2015. Survey of yield, yield components and essential oil of *Matricaria chamomilla* L. with application of vermicompost and different irrigation levels. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 25(3): 61-78. (In Persian with English Summary)

Yadollahi, P., Bizhani, M., Heidari, M., Por Asghari, R., and Latifi, M., 2015. Effects of organic fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of cumin herb (*Cuminum cyminum* L.) in the Sistan region. Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology 4(1): 79-90. (In Persian with English Summary)

Yang, C.M., Wang, M.H., Lu, Y.F., Chang, I.F., and Chou, C.H., 2004. Humic substances affect the activity of chlorophyllase. Journal of Chemical Ecology 30(5): 1057-1065.

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 705-721

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۷۲۱-۷۰۵

Evaluation of Morphological Traits, Yield, and Essential Oil Changes of Basil (*Ocimum basilicum* L.) under Influence of Organic Fertilizers

Y. Nasiri[1*]
Submitted: 18-02-2020
Accepted: 20-12-2020

Nasiri, Y., 2022. Evaluation of morphological traits, yield, and essential oil changes of basil (*Ocimum basilicum* L.) under influence of organic fertilizers. Journal of Agroecology 13(4):705-721.

Introduction

Medicinal plants are rich resources for traditional medicines and in this regard play an essential role in the development of human culture. Basil (*Ocimum basilicum* L.) belongs to the Laminaceae family and can be found in tropical Asia, Africa, Central America, and South America. Basil is traditionally used worldwide as a medicinal herb to treat numerous ailments. The leaves and flowering tissues are traditionally used as antispasmodic, carminative, digestive remedies, to treat abdominal cramps, fever, poor digestion, migraines, insomnia, depression, dysentery, etc. Application of chemical fertilizers in order to eliminate residues of this chemichal substances from crop to ensure consumer health and environmental protection is one of the major challenges in sustainable production of medicinal crops. The application of organic fertilizers such as farmyard, vermicompose, and humic substances as an alternative to chemichal fertilizers to improve soil fertility in sustainable agriculture is currently being discussed. Application of organic fertilizers in addition to modifying soil physical and chemical properties, provides nutrients for the plant in long-term. Various studies have also shown the positive effect of organic fertilizers on increasing the quantitative and qualitative yield of medicinal crops. Therefore, the present study was conducted to investigate the effect of cow manure, vermicompost, and humic acid on some morphological traits, dry matter yield, and production of basil essential oil.

Materials and Methods

The experiment was conducted as a factorial based on a randomized complete block design with three replications at a farm in Oshnavieh city in the West Azerbaijan Province in 2014. The treatments included organic fertilizers (20 tons ha^{-1} farmyard, 7.5 and 15 tons ha^{-1} vermicompost, and control) and humic acid application (soil application, foliar application and not application as control). The measured traits included plant height, lateral stems number, lateral stems length, flowering stems number, leaf number per plant, leaf chlorophyll index, dry matter yield and essential oil percentage. Data analysis was done using MSTAT-C statistical software and means were compared using LSD test at 1% or 5 % probability levels based on the significance level in each trait.

Results and Discussion

The results showed that application of organic fertilizers significantly increased plant height, lateral stems number, lateral stem length, flowering stem number, and leaf number. The highest essential oil yield (2.94 g m^{-2}) was obtained using 15 tons ha^{-1} vermicompost. Both foliar and soil application of humic acid treatments had the highest lateral stems number (13.1 per plant) and essential oil yield (2.75 g m^{-2}) and humic acid foliar treatment had the highest flowering stem number (22.9) and essential oil percentage (0.59%). All treatments of organic fertilizer and humic acid increased leaf chlorophyll index compared to control. Application of 15 tons ha^{-1} vermicompost combined with or without humic acid produced the highest dry matter yield (with an average of 538.6 g m^{-2}) that showed 99.6% increase compared to control (not application of organic fertilizers and humic acid). It seems that the application of humic acid and organic fertilizers increased the absorption and transport of nutrients such as nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium as well as water absorption by the

1- Associate Professor of Crop Ecology, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.
(* Corresponding author: ysf_nasiri@yahoo.com; maragheh.ac.ir.com)
Doi:10.22067/jag.v13i4.85677

plant and by this way, the morphological and growth traits of plant increased. On the other hand, application of organic fertilizers not only increased the available nutrients to the plant, but also improved soil physical conditions and biological processes and provided a suitable environment for root growth. Consequently, organic fertilizers increased dry matter production and essential oil content and yield.

Conclusion

The findings of this study showed that organic fertilizers and humic acid application had significant effects on morphological traits, yield, and essential oil content of basil. So that, these treatments significantly increased the value of morphological traits. The highest dry matter yield was obtained by application of 15 tons ha^{-1} vermicompost combined with or without humic acid. The treatment of foliar application of humic acid had the highest essential oil content. The highest essential oil yield was obtained by the application of 15 tons ha^{-1} vermicompost. Finally, the application of organic fertilizers could be used in sustainable agriculture to improve of quantitative and qualitative yield of basil and reduce the application of chemical fertilizers.

Keywords: Dry matter, Effective substance, Farmyard manure, Humic substances, Vermicompost.

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 723-738

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۷۳۸-۷۲۳

مقاله پژوهشی

بررسی کاربرد گوگرد و کودهای زیستی بر شاخص‌های رشدی، روند جذب و کارایی مصرف نور نخود (*Cicer arietinum* L.)

جعفر نباتی[1*]، احمد نظامی[2]، افسانه یوسفی[3]، احسان اسکوئیان[4] و آرمین اسکوئیان[5]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۹

نباتی، ج.، نظامی، ا.، یوسفی، ا.، اسکوئیان، ا.، و اسکوئیان، آ.، ۱۴۰۰. بررسی کاربرد گوگرد و کودهای زیستی بر شاخص‌های رشدی، روند جذب و کارایی مصرف نور نخود (*Cicer arietinum* L.). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۴): ۷۳۸-۷۲۳.

چکیده

در گیاهان زراعی شاخص سطح برگ، روند جذب و کارایی مصرف نور ازجمله مهم‌ترین خصوصیات اکوفیزیولوژیکی محسوب می‌شوند که در ارزیابی میزان نور جذب شده، تولید ماده خشک مؤثر است. این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت بلوک کامل تصادفی، با ۱۰ تیمار شامل: ۱- گوگرد پاستیلی (Spa)، ۲- گوگرد پودری (Spow)، ۳- Spa + باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد (SOB)، ۴- SOB+Spa + باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن (NFB) + باکتری‌های حل‌کننده فسفات (PSB) + باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم (KSB)، ۵- Spow+SOB، ۶- Spow+SSB+NFB+PSB+KSB، ۷- SOB+NFB+PSB+KSB، ۸- NFB+PSB+KSB، ۹- SOB ۱۰- شاهد در سه تکرار اجرا شد. صفات و ویژگی‌هایی از قبیل شاخص سطح برگ، ماده خشک تجمعی، مقدار نور جذب شده و کارایی مصرف نور اندازه‌گیری شد. قبل از کشت، تیمارهای گوگرد به مقدار ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار و باکتری‌ها به مقدار پنج لیتر در هکتار در کرت‌های موردنظر به خاک اضافه شدند. نتایج نشان داد بیشترین شاخص سطح برگ در تیمار Spa+SSB+NFB+PSB+KSB به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۲۹ درصد برتری داشت. همچنین بیشترین ماده خشک تجمعی و سرعت رشد محصول در تیمار Spow+SSB+NFB+PSB+KSB بود که نسبت به شاهد ۳۱ و ۱۴ درصد افزایش داشت. حداکثر تابش جذب شده متناسب با زمان وقوع بیشترین شاخص سطح برگ نخود بود، پس از آن به‌دلیل کاهش شاخص سطح برگ تا انتهای دوره رشد کسر تابش جذب شده نور روند کاهشی در پیش گرفت. همچنین بیش‌ترین کارایی مصرف نور در تیمار Spa+SSB+NFB+PSB+KSB بود (R^2=0.91**) که نسبت به شاهد ۱۸ درصد برتری داشت. به‌طورکلی، نتایج نشان داد شاخص سطح برگ بالاتر سبب استفاده مؤثرتر از نور تابیده به کانوپی و جذب شده توسط برگ‌های نخود درنتیجه افزایش کارایی مصرف نور و ماده خشک گردید.

واژه‌های کلیدی: باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد، باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، شاخص سطح برگ، ماده خشک تجمعی

مقدمه

شناخت چگونگی و مدیریت تأثیر عوامل اکولوژیکی بر تولید گیاهان به این عوامل، از مهم‌ترین لوازم دستیابی به پایداری در سیستم‌های تولیدی کشاورزی به شمار می‌روند. از سوی دیگر، استفاده از گیاهان زراعی کارآمد در بهره‌برداری از منابع به‌ویژه تشعشع خورشیدی از مهم‌ترین راهکارها جهت نیل به هدف فوق می‌باشد.

۱- استادیار گروه بقولات، پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۲- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۳- دانشجوی دکتری اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۴- استادیار پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران، شعبه مشهد، ایران.
۵- دانشجوی دکتری فیزیولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد ایران.

(*- نویسنده مسئول: Email: jafarnabati@ferdowsi.um.ac.ir)
Doi:10.22067/agry.2021.20318.0

مقدار و چگونگی تثبیت انرژی نورانی در گیاهان، از مهم‌ترین شاخص‌های اگرواکوفیزیولوژیکی تعیین‌کننده رشد و عملکرد گیاهان می‌باشد که در اکوسیستم‌های زراعی تحت تأثیر نوع و چگونگی مدیریت اعمال شده قرار می‌گیرد (Jahan et al., 2012). کسری از تشعشع فعال فتوسنتزی که توسط گیاه جذب می‌شود بسیار وابسته به شاخص سطح برگ و آرایش برگ‌ها در کانوپی بوده که اهمیت آرایش برگ‌ها در کانوپی، بیشتر از میزان شاخص سطح برگ می‌باشد (Zhang et al., 2008). افزایش شاخص سطح برگ امکان جذب بیشتر نور را فراهم می‌آورد و در گیاهانی که برگ‌ها آرایش عمودی‌تری دارند، تشعشع موجود به میزان مؤثرتری جذب گیاه می‌شوند و چنین آرایشی اجازه می‌دهد تا مقادیر بیشتری نور به لایه‌های پایین‌تر کانوپی رسیده و فتوسنتز برگ‌های پایین کانوپی در بالاتر از نقطه جبرانی حفظ شود (Awal et al., 2006). کارایی استفاده از نور بیانگر مقدار ماده خشک تولید شده به ازای هر واحد نور جذب شده است و واحد آن گرم ماده خشک تولید شده بر مگا ژول تشعشع جذب شده می‌باشد. تولید ماده خشک در گیاه یک ارتباط خطی با میزان تشعشع جذب شده توسط گیاه دارد که شیب این ارتباط بیانگر کارایی مصرف نور می‌باشد (Kukal & Irmak., 2020). قبلاً اعتقاد بر این بود که کارایی مصرف نور ثابت و بیشتر از طریق ژنتیکی کنترل می‌شود، امّا عوامل محیطی و عملیات مدیریتی نظیر تراکم و فواصل بوته‌ها، مدیریت کود، رقم، تغییرات آب و هوایی و حاصلخیزی خاک به‌ویژه نیتروژن قابل‌دسترس به سبب نقش ویژه‌ای که در فتوسنتز دارد، این عامل را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Rosati et al., 2003). بررسی‌ها نشان داد که عوامل محیطی و عملیات مدیریتی نظیر تاریخ کاشت و فراهمی منابعی نظیر نیتروژن می‌تواند کارایی مصرف نور نخود را تحت تأثیر دهد (Doaei et al., 2020). همچنین بر اساس گزارش‌ها انجام شده، میزان کارایی مصرف نور نخود بین ۱/۸۵ تا ۳۷/ تحت شرایط مختلف متغیر است (Soltani, 2009; Tesfaye et al., 2006). نخود (*Cicer arietinum* L.) زراعی با سطح زیر کشت ۱۴/۶ میلیون هکتار در جهان و متوسط عملکرد ۱۰۲۳ کیلوگرم در هکتار و با پروتئین ۳۱/۵-۱۲/۵ درصد سومین گیاه مهم از گروه حبوبات به شمار می‌آید (FAO, 2019). کشت حبوبات و به‌خصوص نخود به‌دلیل ویژگی‌های مهمی ازجمله، منابع پروتئینی شناخته شده، تثبیت نیتروژن اتمسفری در خاک موجب باروری خاک برای زراعت‌های بعدی (عمدتاً غلات) شده و همچنین به‌دلیل شکستن چرخه زندگی آفات و بیماری‌های غلات ناشی از نظام‌های تک‌کشتی حائز اهمیت است (Vanlauwea et al., 2019). از عوامل مؤثر در کاهش عملکرد این گیاه تغذیه نامناسب در طول فصل رشد است.

گوگرد یکی از عناصر غذایی پرمصرف و ضروری است، این عنصر به‌عنوان یک ماده اصلاحی برای کاهش pH خاک کاربرد دارد. اسیدیته خنثی تا قلیایی خاک‌ها، باعث عدم انحلال عناصر غذایی موجود در خاک، برای استفاده گیاه می‌شود و درنتیجه، استفاده از باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد، ضمن تأمین عناصر غذایی گیاه به گوگرد، با اسیدی کردن محیط، به افزایش و فراهمی سایر عناصر غذایی و درنتیجه، باعث بهبود رشد گیاه می‌شود (Hussain et al., 2014). از آنجا که اکسایش گوگرد فرآیندی عمدتاً زیستی محسوب می‌شود، تحقق این شرط مستلزم وجود جمعیت بالایی از ریز جانداران اکسیدکننده گوگرد است که باکتری‌های جنس تیوباسیلوس از مؤثرترین انواع آن‌ها هستند (Ravichandra et al., 2007). امروزه اصطلاح *PGPR*[1] در معنای وسیع‌تری به‌کار می‌رود و برای برخی از باکتری‌های ریزوسفری که تأثیر مشخصی در افزایش رشد گیاه نشان داده‌اند مانند *آزوسپیریلیوم*، *نیتروژنوباکترها*، باکتری‌های پتاسیمی، فسفو باکتری‌ها، *سودوموناس*، *آگروباکتریوم*، *ریزوبیوم* و *کلبسیلا* نیز به‌کار می‌رود (Ruzzi & Aroca, 2015)، باکتری‌های جنس *نیتروژنوباکتر* و *آزوسپریلیوم* از مهم‌ترین باکتری‌های محرک رشد گیاه هستند که علاوه بر تثبیت زیستی نیتروژن، با تولید مقادیر قابل‌ملاحظه هورمون‌های تحریک‌کننده رشد، به‌ویژه انواع اکسین، جیبرلین و سیتوکسین رشد و عملکرد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Shaharoona et al., 2006). نتایج بررسی بر ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth.) نشان داد، تیمار استفاده از کود تلفیقی زیستی توانست سطح برگ بیشتری را تولید کند، که افزایش در شاخص سطح برگ سبب افزایش در سرعت رشد محصول و سرعت آسیمیلاسیون خالص گردید (Kamaei et al., 2015). تحقیقات نشان داده است که استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات باعث افزایش جوانه‌زنی، جذب عناصر، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه، گره‌بندی، ماده خشک گیاه زراعی می‌شود (Prajapati, 2016). نتایج تحقیقات نشان داد کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفر و گوگرد در گیاه سویا (*Glycine max* L.) تأثیر

1- Plant growth-promoting rhizobacteria

مثبتی بر میزان جذب عناصری همچون نیتروژن و فسفر توسط گیاه داشت که درنهایت، منجر به افزایش ماده خشک گیاه شد (Soltani et al., 2010). کودهای زیستی از طریق سنتز هورمون‌های محرک رشد، موجب افزایش جوانه‌زنی بذر، ریشه‌زایی و گسترش ریشه می‌شوند و رشد کل گیاه را از طریق تقسیم سلولی، افزایش نفوذپذیری غشای سلول‌های گیاه و درنتیجه، افزایش مواد غذایی فراهم می‌کنند؛ بنابراین استفاده آن‌ها به‌عنوان کودهای زیستی برای بهبود کشاورزی، نکته تمرکز بسیاری از مطالعات اخیر بوده است (Hasanabadi et al., 2016). هدف از این پژوهش، بررسی میزان کارایی انواع گوگرد و کودهای زیستی در بهبود شاخص‌های رشدی، روند جذب و کارایی مصرف نور در نخود بود.

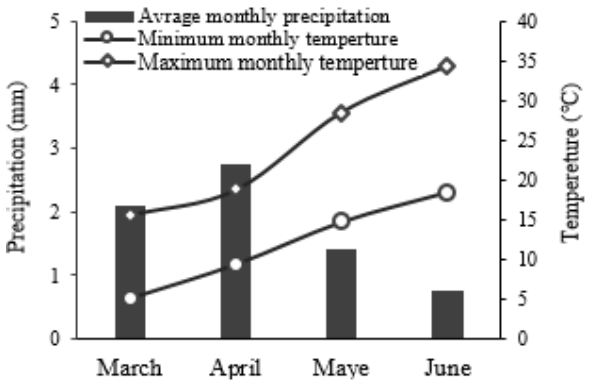
مواد و روش‌ها

این مطالعه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار روی نخود رقم سارال در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری جنوب شرق مشهد (عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی) و ۹۸۵ متر ارتفاع از سطح دریا در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. تیمارهای مورد مطالعه شامل: ۱- گوگرد پاستیلی (Spa)، ۲- گوگرد پودری (Spo)، ۳- گوگرد پاستیلی به همراه باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد (Spa + SOB)، ۴- گوگرد پاستیلی به همراه باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد، باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، باکتری‌های حل‌کننده فسفات و باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم (Spa+SOB+NFB+PSB+KSB)، ۵- گوگرد پودری به همراه باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد (Spo+SOB)، ۶- گوگرد پودری به همراه باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد، باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، باکتری‌های حل‌کننده فسفات و باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم (Spo+SOB+NFB+PSB+KSB)، ۷- باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد، باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، باکتری‌های حل‌کننده فسفات و باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم (SOB+NFB+PSB+KSB)، ۸- باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، باکتری‌های حل‌کننده فسفات و باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم (NFB+PSB+KSB)، ۹- باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد (SOB) و ۱۰- شاهد (بدون باکتری و گوگرد) بود. طبق استانداردهای موجود مقدار واحد کلونی ریزموجود در هر گرم کود زیستی $۱۰^{۷}$ واحد بود. کودهای زیستی از شرکت خوشه‌پروران زیست‌فناور تهیه شدند. تلقیح بذور در روز کاشت در زیر سایه و مکانی خشک و خنک انجام شد. ابتدا بذرها در ظرفی خشک قرار داده شدند و سپس مایع کود زیستی سطح بذرها کاملاً پوشانده شد. بذرهای موجود در هر ظرف تا رسیدن رطوبت موجود در ظرف‌ها به‌مدت ۱۵ الی ۲۰ دقیقه نگهداری و سپس به کرت‌های اختصاصی انتقال یافت و بلافاصله کشت شدند. تیمارهای باکتریایی به مقدار پنج لیتر در هکتار با توجه به اندازه کرت‌های موردنظر اعمال شد. طی سه مرحله از تیمارهای باکتریایی استفاده شد (در زمان کاشت به‌صورت بذرمال کردن بذور، همراه با دومین آبیاری و قبل از مرحله گل‌دهی).

جدول ۱- ترکیبات باکتریایی کودهای زیستی مورد استفاده در این مطالعه
Table 2- The bacterial content of biofertilizer used in this study

کودهای زیستی Biofertilizer			
باکتری‌های آزادزی نیتروژن Free-living nitrogen-fixing	**باکتری‌های حل‌کننده فسفات Phosphate solubilizing bacteria**	**باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم Potassium solubilizing bacteria**	**باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد Sulfur oxidizing bacterit**
Bacillus subtilis NCBI Accession No. MT102419	*Paenibacillus polymyxa* NCBI Accession No. MT102424	*Enterobacter hormaechei* NCBI Accession No. MT102420	*Bacillus subtilis* NCBI Accession No. MK968145
Enterobacter cloacae NCBI Accession No. MT102416	*Bacillus pumilus* NCBI Accession No. MT102425	*Enterobacter* sp. NCBI Accession No. MT102421	*Paraburkholderia fungorum* NCBI Accession No. MK968146
Bacillus cereus NCBI Accession No. MT102418	-	-	*Paenibacillus* sp. NCBI Accession No. MT102427

قبل از کاشت، عملیات آماده‌سازی زمین و خاک‌ورزی انجام شد. تاریخ کاشت نیمه اول اسفندماه ۱۳۹۷ بود، هر کرت شامل شش ردیف با فاصله ۵۰ سانتی‌متر بود و فاصله کرت‌ها و بلوک‌ها از یکدیگر یک و نیم متر در نظر گرفته شد. فاصله بوته‌ها روی ردیف هفت سانتی‌متر با تراکم ۳۰ بوته در مترمربع کشت شد. قبل از کشت، تیمارهای گوگرد به مقدار ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار در کرت‌های موردنظر به خاک اضافه شدند. در این آزمایش، آبیاری به‌روش جوی و پشته‌ای انجام شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت، آبیاری دوم پنج روز پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به‌صورت هفتگی تا پایان فصل رشد انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز در طی فصل رشد سه بار به‌صورت دستی صورت گرفت. مشخصات آب و هوایی (دمای متوسط و میزان بارندگی در طول فصل رشد نخود به‌ترتیب ۱۷ درجه سانتی‌گراد و ۲۱۲ میلی‌متر بود) محل آزمایش در شکل ۱ آورده شد.



شکل ۱- مشخصات آب و هوایی محل انجام آزمایش

Fig. 1- Weather characteristics of the experimental field

به‌منظور تعیین شاخص‌های رشدی گیاه، نمونه‌برداری ۳۵ روز پس از کاشت به‌صورت تخریبی شروع و هر ۱۵ روز یک‌بار تا ۱۰۰ روز پس از کاشت به‌صورت تصادفی و با حذف اثرات حاشیه‌ای از سه بوته ادامه پیدا کرد. سطح برگ با دستگاه Leaf Area Mater (مدل Delta-T، کشور انگلستان) جهت تعیین شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شدند، سپس نمونه‌ها جهت تعیین وزن خشک به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه قرار گرفتند.

معادله سه پارامتره گاوس (معادله ۱) به داده‌های شاخص سطح برگ (LAI) برازش گردید و سطح برگ گیاه در طول دوره رشد برآورد شد (Steinmaus & Norris, 2002).

$$x(t) = a \times \exp\left(-0.5 \times \left(\frac{x-x0}{b}\right)^2\right)$$ معادله (۱)

که در این معادله، t: زمان برحسب روز، x(t): شاخص سطح برگ برآورد شده، a: حداکثر شاخص سطح برگ در طول دوره رشد، b: زمانی است که پس از این دوره شاخص سطح برگ به‌طور نمایی افزایش می‌یابد و x_0: زمانی است که گیاه حداکثر شاخص سطح برگ را دارد.

معادله سیگموئیدی (معادله ۲) به داده‌های وزن خشک تجمعی برازش گردید و با مشتق‌گیری از معادله ذکر شده معادله سرعت رشد محصول CGR (معادله ۳) به‌دست‌آمده و مؤلفه مذکور در تیمارهای مختلف برآورد گردید (Steinmaus & Norris, 2002; Ngouajio et al., 2001).

$$TDM = a/(1 + \exp\left(-\frac{(x-x0)}{b}\right))$$ معادله (۲)

$$CGR = \frac{TDM}{b\left(1 - \frac{TDM}{a}\right)}$$ معادله (۲)

که در این معادلات، TDM: تجمع ماده خشک در زمان، a: حداکثر تجمع ماده خشک، b: شیب افزایش ماده خشک x_0: زمانی است که گیاه بیشترین افزایش ماده خشک را دارد و CGR: سرعت رشد گیاه می‌باشد (Zaefarian et al., 2009; Ozoni Davaji, 2008).

با معلوم بودن مقادیر CGR و LAI سرعت فتوسنتز خالص

NAR ($g.m^{-2}\ leaf.day^{-1}$) محاسبه شد (معادله ۴).

$$NAR = \frac{CGR}{LAI}$$

معادله (۴)

برای محاسبه کارایی مصرف نور ابتدا لازم بود که مقادیر شاخص برگ روزانه (LAI) و همچنین تشعشعات جذب شده روزانه برآورد شود. بدین منظور برآورد مقادیر شاخص برگ روزانه از طریق برازش معادله ۱ به‌دست آمد (Steinmaus & Norris, 2002).

میزان تشعشع روزانه خورشیدی برای عرض جغرافیایی مشهد به‌روش ارائه شده توسط خوادریان و فان لار (Goudriaan & Van Laar, 1993)، برآورد شد. سپس این مقادیر بر اساس تعداد ساعات آفتابی استخراج شده از داده‌های ایستگاه هواشناسی اصلاح و نور جذب شده روزانه محاسبه گردید (معادله ۵).

معادله (۵)

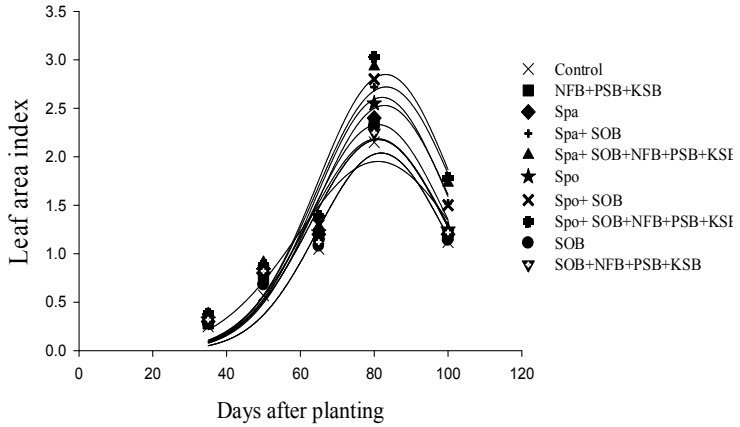
$$PARa = I0 \times 0 \cdot 5 \times (1 - P) \times (1 - \exp(-K \times LAI)$$

که در این معادله، PARa: نور جذب شده توسط کانوپی (مگاژول بر مترمربع)، I_0: نور رسیده به بالای کانوپی (مگاژول بر مترمربع)، P: ضریب انعکاس نور، K: ضریب خاموشی نور و LAI: شاخص سطح برگ می‌باشد (Nassiri Mahallati, 2008). مقدار ضریب خاموشی نور طبق منابع ۰/۶۷ در نظر گرفته شد (Rahemi et al., 2008). درنهایت، کارایی مصرف نور از طریق محاسبه شیب خط رگرسیون بین ماده خشک و میزان تشعشع جذب شده تجمعی محاسبه گردید (Peter, 2010). به‌منظور برازش روابط موردنظر و رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel، SlideWrite 7.02 و Sigmaplot 11.0 استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ: اثر سطوح مختلف کودهای زیستی بر روند تغییرات شاخص سطح برگ نخود در طول فصل رشد نشان داد که در کلیه تیمارها در ابتدای فصل، رشد کند و تدریجی داشت و با تولید برگ‌های بیش‌تر توسط گیاه روند افزایشی یافت (شکل ۲). حداکثر شاخص سطح برگ در ۸۰ روز پس از کاشت هم‌زمان با مرحله گل‌دهی به‌دست آمد. حداکثر شاخص سطح برگ تحت تأثیر تیمار (Spo+SOB+NFB+PSB+KSB) و (Spa+SOB+NFB+PSB +KSB) قرار گرفت که نسبت به عدم کاربرد این کودها ۲۶ و ۲۹ درصد افزایش داشت. کاربرد توأم تیمار Spa+SOB و Spo+SOB نسبت به کاربرد جداگانه تیمار Spa و Spo به‌ترتیب ۱۲ و ۷ درصد برتری داشت. می‌توان نتیجه گرفت در این بررسی اهمیت مصرف گوگرد بیشتر از سایر تیمارهای کودی بود (شکل ۲). در بررسی تأثیر مقادیر مختلف گوگرد و مایه تلقیح باکتری‌های تیوباسیلوس بر ماده خشک، میزان کلروفیل و جذب آهن بر بخش هوایی در سویا (*Glycine max* L.) نتایج نشان داد، افزایش سطوح گوگرد و تلقیح *تیوباسیلوس* باعث کاهش pH خاک شده و درنتیجه، جذب عناصر غذایی افزایش یافت و این امر باعث افزایش شاخص‌های رشدی گیاه گردید. نتایج نشان داد، اثر کاربرد کود گوگرد و تلقیح با کود زیستی بیوسولفور حاوی *تیوباسیلوس* و اثر متقابل آن‌ها باعث افزایش شاخص‌های رشدی می‌شوند (Paul & Savithru, 2003). باکتری‌های محرک رشد سبب انحلال عناصر ضروری در خاک، ایجاد مقاومت گیاه میزبان به عوامل بیماری‌زا، جذب مواد غذایی بهتر و درنتیجه، افزایش رشد و عملکرد گیاه را در پی دارند (Shen et al., 2016). کاربرد کودهای زیستی در نخود (*Cicer arietinum* L.) در مقایسه با شاهد، منجر به افزایش قابل‌توجه بیشتر شاخص‌های رشد ازجمله حداکثر شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، ماده خشک کل و عملکرد دانه به‌ترتیب به‌میزان ۲۷/۴۴، ۱۳/۸۲، ۸/۱۵ و ۲۹/۴۶ درصد گردید (Aboutalebian & Elahi, 2016). شاخص سطح برگ تأثیر به‌سزایی در فتوسنتز و جذب تابش فعال فتوسنتزی دارد، به‌طوری‌که نور جذب شده توسط کانوپی تابعی از شاخص سطح برگ است (Weiss et al., 2004).

ماده خشک تجمعی: ماده خشک (شکل ۳) به‌میزان تابش فعال فتوسنتزی جذب شده در محصول و تبدیل آن به زیست‌توده بستگی دارد (Edreira et al., 2020). تغییرات ماده خشک در ابتدای رشد روند افزایشی داشت و این روند تا حدود ۹۰ روز پس از کاشت ادامه یافت و پس از این، روند ثابت به خود گرفت (شکل ۳). بیشترین روند تجمع ماده خشک در سطوح مختلف کودی نشان داد که ماده خشک تحت تأثیر کاربرد ترکیبی تیمار (Spo+SOB+NFB+PSB+KSB) و (Spa+SOB+NFB+PSB +KSB) قرار گرفت که نسبت به شاهد ۳۱ و ۲۷ درصد ماده خشک بیشتری داشت.



شکل ۲- اثر تیمارهای کودی بر روند تغییرات شاخص سطح برگ در نخود در طول فصل رشد

Fig. 2- Effect of fertilizer treatment on leaf area index of chickpea during growth season

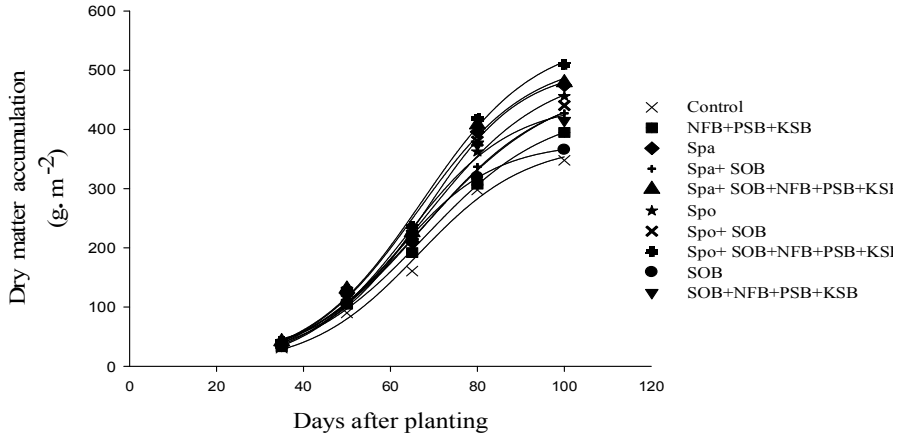
Control: شاهد، Spa: گوگرد پاستیلی، Spo: گوگرد پودری، SOB: باکتری اکسیدکننده گوگرد، KSB: باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، NFB: باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، PSB: باکتری‌های حل‌کننده فسفر

Spa: Pastel sulfur, Spo: Powdered sulfur, SOB: Sulfur oxidizing bacterit, NFB: Free-living nitrogen-fixing bacteria, KSB: Potassium solubilizing bacteria, PSB: Phosphate solubilizing bacteria

در مقابل، تیمارهای SOB و NFB+PSB+KSB بعد از شاهد کمترین مقدار ماده خشک را به خود اختصاص دادند (شکل ۳). به نظر می‌رسد قبل از گل‌دهی که گیاه نخود دارای رشد کند است، تفاوت چندانی بین تیمارها قابل مشاهده نیست، امّا پس از مرحله گل دهی که گیاه رشد سریع را آغاز می کند، تفاوت تیمارها به لحاظ تولید ماده خشک واضح‌تر می‌شود. همچنین در تیمار (Spo+SOB+NFB+PSB+KSB) در مرحله گل‌دهی بیشترین ماده خشک نسبت به سایر تیمارها حاصل شد که نسبت به شاهد ۲۹ درصد برتری داشت. تیمارهای ترکیبی به‌دلیل اثرات هم‌افزایی متقابل باکتری‌ها (*نیتروژنوباکتر*، *باسیلوس*، *سودوموناس* و *تیوباسیلوس*) تثبیت زیستی نیتروژن، افزایش حلالیت فسفات غیر متحرک و کاهش pH خاک و تولید انواع هورمون‌ها و مواد محرک رشد نظیر (سیتوکینین، اکسین، بیوتین و اسید پنتوتنیک)، جذب عناصر غذایی را تحریک می‌کنند و با تأثیر روی فرآیندهای فتوسنتزی سبب بهبود شاخص‌های رشدی و درنتیجه، ماده خشک نخود گردید (Doaie et al., 2020). نتایج تحقیقات نشان داد کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفر و اکسیدکننده گوگرد در گیاه سویا تأثیر مثبتی بر میزان جذب عناصری همچون نیتروژن و فسفر توسط گیاه داشت که درنهایت، منجر به افزایش ماده خشک گیاه شد (Soltani et al., 2010). همچنین استفاده از کودهای زیستی سبب بهبود جذب نیتروژن و فسفر و افزایش درصد جوانه‌زنی، ارتفاع، تعداد گره و ماده خشک در لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) گردید (De Souza et al., 2016). در این تحقیق، تغییرات در الگوی ماده خشک (شکل ۳) مطابق با روند جذب تابش بود (شکل ۶).

سرعت رشد محصول: اثر سطوح مختلف کودی بر روند تغییرات سرعت رشد محصول در طول فصل رشد نشان داد که بیشترین سرعت رشد محصول در تیمار (Spo+SOB+NFB+PSB+KSB) به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۱۴ درصد برتری داشت (شکل ۴). همچنین تیمار Spa و (Spa+SOB+NFB+PSB+KSB) نتایج بهتری نسبت به سایر تیمارها داشتند، در مقابل تیمار NFB+PSB+KSB کمترین سرعت رشد محصول را داشت (شکل ۴).

استفاده از کودهای زیستی و تولید هورمون‌های محرک رشد به‌ویژه اکسین باعث افزایش جذب در واحد سطح شده و در حضور مقادیر مناسبی از کودهای شیمیایی باعث تشدید این اثرات می‌شوند که این امر درنهایت، موجب افزایش رشد محصول می‌شود. در ادامه فصل رشد، روند سرعت رشد محصول به‌دلیل کاهش شاخص سطح برگ و زرد شدن برگ‌ها کاهشی است.

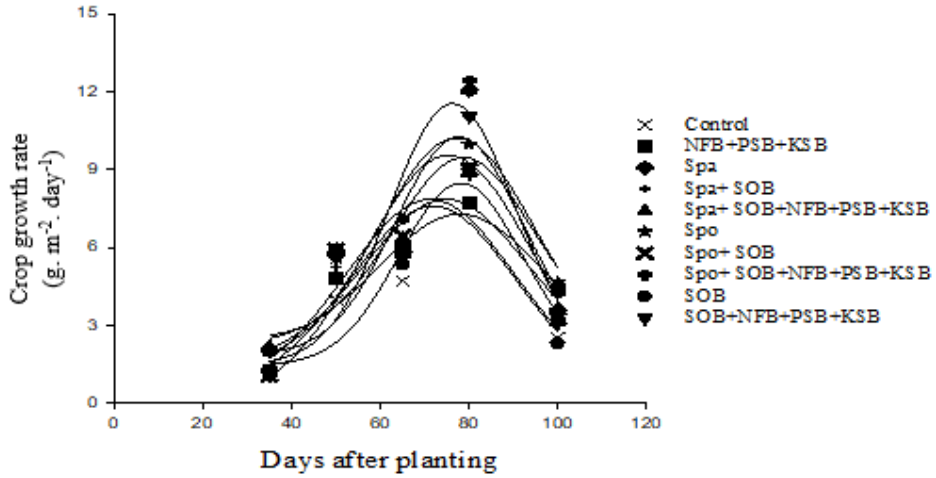


شکل ۳- اثر تیمارهای کودی بر روند تغییرات میزان ماده خشک تجمعی در نخود در طول فصل رشد

Fig. 3- Effect of fertilizer treatment on dry matter accumulation of chickpea during growth season

Control: شاهد، Spa: گوگرد پاستیلی، Spo: گوگرد پودری، SOB: باکتری اکسیدکننده گوگرد، KSB: باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، NFB: باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، PSB: باکتری‌های حل‌کننده فسفر

Spa: Pastel sulfur, Spo: Powdered sulfur, SOB: Sulfur oxidizing bacterit, NFB: Free-living nitrogen-fixing bacteria, KSB: Potassium solubilizing bacteria, PSB: Phosphate solubilizing bacteria



شکل ٤- اثر تیمارهای کودی بر روند تغییرات سرعت رشد محصول در نخود در طول فصل رشد

Fig. 4- Effect of fertilizer treatment on crop growrate rate of chickpea during growth season.

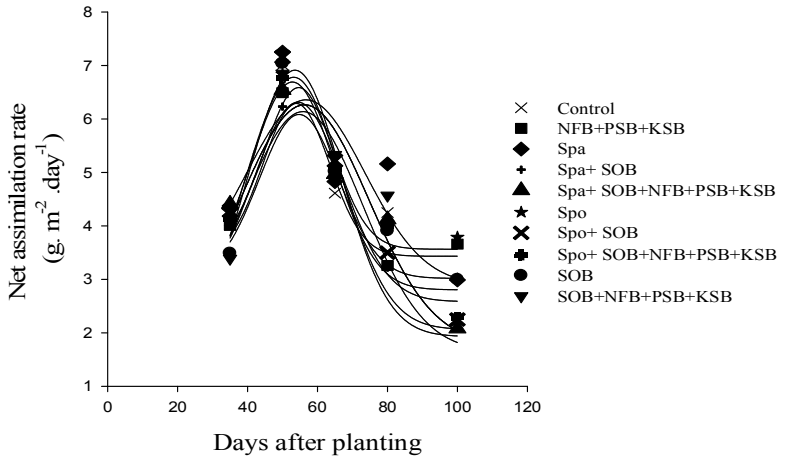
Control: شاهد، Spa: گوگرد پاستیلی، Spo: گوگرد پودری، SOB: باکتری اکسیدکننده گوگرد، KSB: باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، NFB: باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، PSB: باکتری‌های حل‌کننده فسفر

Spa: Pastel sulfur, Spo: Powdered sulfur, SOB: Sulfur oxidizing bacterit, NFB: Free-living nitrogen-fixing bacteria, KSB: Potassium solubilizing bacteria, PSB: Phosphate solubilizing bacteria

تحقیقات نشان می‌دهد شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول نخود با گذشت زمان تا مرحله تشکیل غلاف (۸۰-۷۰ روز پس از کاشت) افزایش یافته و پس از آن کاهش می‌یابد، زیرا در این زمان گیاه به‌جای تولید بیشتر مواد به انتقال مواد ساخته‌شده می‌پردازد (Dadrasi et al., 2012). در بررسی تأثیر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد در پاسخ به کود زیستی در لوبیا، نتایج حاکی از آن بود که تجمع

ماده خشک تحت تأثیر تیمارهای کود زیستی قرار گرفت، به‌طوری‌که سرعت رشد محصول و سرعت جذب خالص گیاه در این تیمار مشاهده شد (Nazeri et al., 2012).

سرعت آسیمیلاسیون خالص: منحنی تغییرات سرعت فتوسنتز خالص نسبت به روزهای پس از کاشت برای تیمارهای مختلف کودی حاکی از آن است که در مراحل اولیه رشد، به دلیل حداقل رقابت نوری و سایه‌اندازی، میزان فتوسنتز خالص در حداکثر مقدار است (شکل ۵). حدود ۵۰ روز پس از کاشت، تیمار Spa و (Spo+SOB+NFB+PSB+KSB) از سرعت فتوسنتز خالص بالاتری برخوردار بود که علت آن احتمالاً توزیع مناسب‌تر پوشش گیاهی و به دنبال آن دریافت بهتر تشعشع توسط کانوپی گیاهی است.



شکل ۵- اثر تیمارهای کودی بر سرعت آسیمیلاسیون خالص در نخود در طول فصل رشد

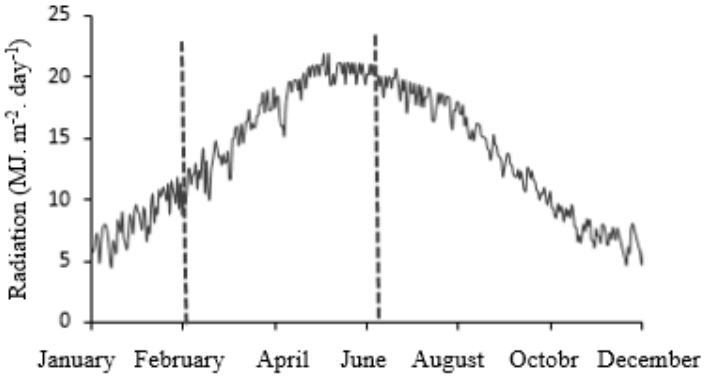
Fig. 5- Effect of fertilizer treatment on Net assimilation rate of chickpea during growth season

Control: شاهد، Spa: گوگرد پاستیلی، Spo: گوگرد پودری، SOB: باکتری اکسیدکننده گوگرد، KSB: باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، NFB: باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، PSB: باکتری‌های حل‌کننده فسفر

Spa: Pastel sulfur, Spo: Powdered sulfur, SOB: Sulfur oxidizing bacterit, NFB: Free-living nitrogen-fixing bacteria, KSB: Potassium solubilizing bacteria, PSB: Phosphate solubilizing bacteria

روند جذب نور: در شکل‌های ۶ و ۷ تغییرات تابش رسیده به بالای کانوپی در طی روزهای سال و تابش جذب شده توسط کانوپی نخود نشان داده‌شده است.

در نیمه اول دوره رشد نخود رویشی نوسانات تشعشعی بیشتر و در انتهای دوره رشد و هم‌زمان با حداکثر تابش رسیده به کانوپی، حداکثر شاخص سطح برگ تولید شد (شکل ۲ و ۶). متناسب با افزایش شاخص سطح برگ کسر تابش جذب شده توسط کانوپی به‌تدریج افزایش یافت. به‌طوری‌که بیشترین کسر تشعشع جذب شده توسط کانوپی نخود برای تمام تیمارهای کودی در حدود ۸۰ روز پس از کاشت متناسب با زمان وقوع بیشترین شاخص سطح برگ بود، سپس به‌دلیل کاهش شاخص سطح برگ تا انتهای دوره رشد کسر تابش جذب شده روند نزولی در پیش گرفت (شکل ۷). زمانی که شاخص سطح برگ بیشت از سه باشد ۹۰ درصد تابش توسط کانوپی جذب می‌شود (Sarlikioti et al., 2011). با توجه به نقش باکتری‌های محرک رشد در بهبود رشد رویشی، با افزایش شاخص سطح برگ، جذب تشعشع افزایش یافته است. این نتایج با یافته‌های مطابق همان‌طور که مشاهده می‌شود هم‌زمان با شروع مرحله گل‌دهی و کمی پس‌ازآن بیشترین جذب تشعشع در تیمارها قابل مشاهده است (Jahan et al., 2013). به‌طوری‌که بیشترین میزان جذب تشعشع در طول فصل رشد گیاه در تیمار (Spo+SOB+NFB+PSB+KSB) بود که نسبت به شاهد ۱۶ درصد برتری داشت. بر اساس نتایج آزمایش، اثر کاربرد ترکیبی این کودها از لحاظ میزان تأثیر بر جذب تشعشع توسط گیاه، نسبت به اثرات دیگر تیمارهای آزمایشی برتری داشت.

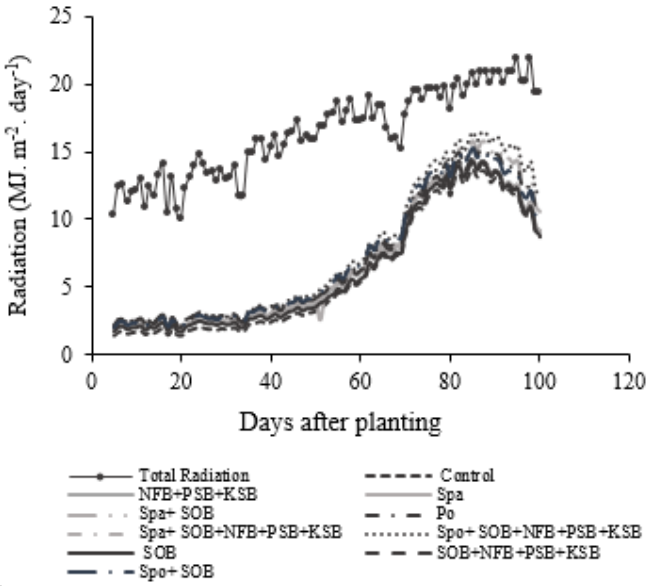


شکل ٦- کل تشعشع رسیده به سطح زمین در طول سال
محدوده بین دو خط نقطه‌چین، دوره رشد نخود را نشان می‌دهد

Fig. 6- The total radiation reached the earth's surface during the year

محدوده بین دو خط نقطه‌چین، دوره رشد نخود را نشان می‌دهد.

The range between the two points show the period of chickpea



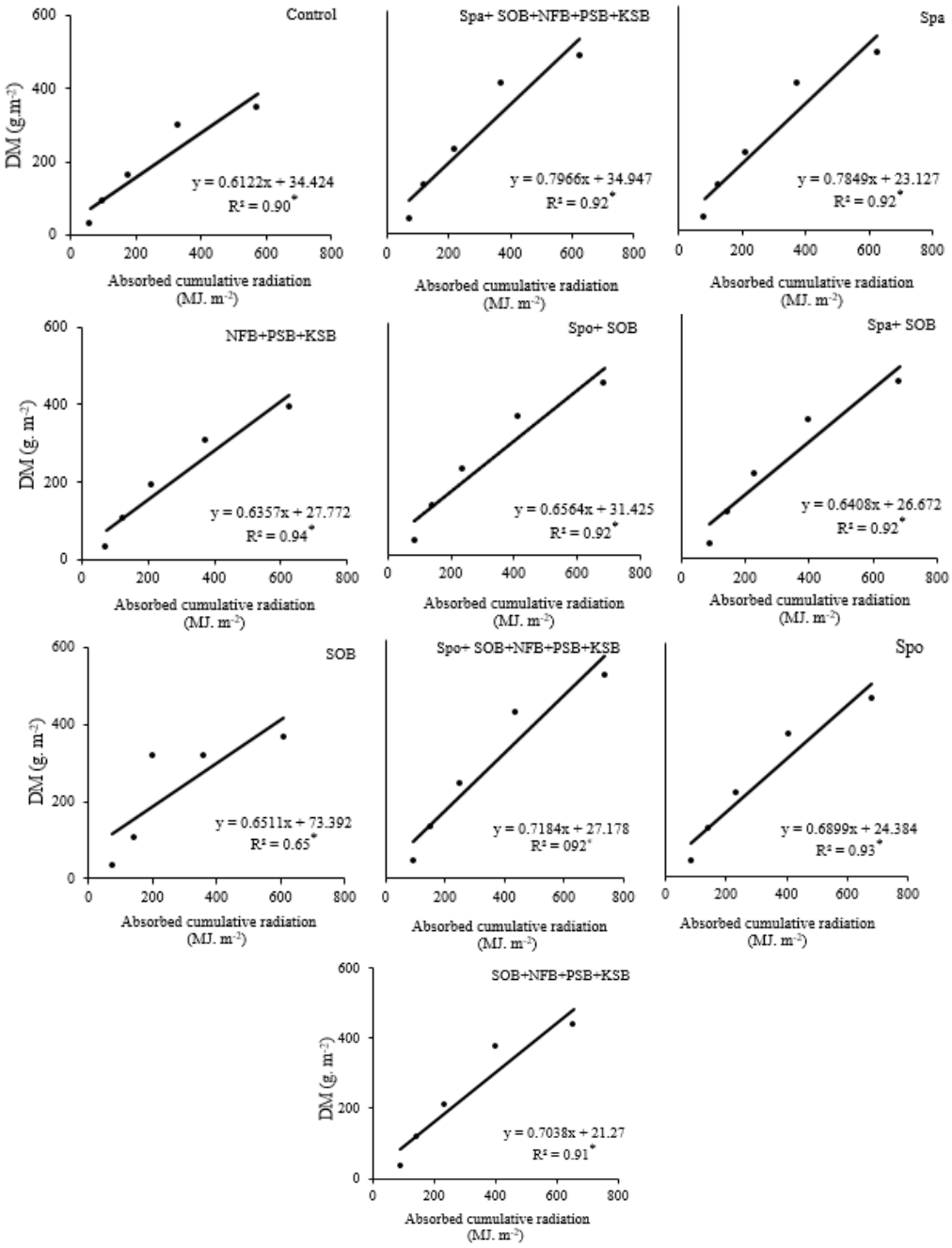
growth.

شکل ۷- میزان تشعشع کل و تشعشع جذب شده (I_{abs}) نخود در طی فصل رشد

Fig. 7- Total radiation and absorbed radiation (I_{abs}) of chickpea during growth season

Control: شاهد، S pa: گوگرد پاستیلی، S pow: گوگرد پودری، SSB: باکتری اکسید کننده گوگرد، KSB: باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، NFB: باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، PSB: باکتری‌های حل‌کننده فسفر

S pa:Pastel sulfur,S pow: Powdered sulfur, SOB: Sulfur oxidizing bacterit, NFB: Free-living nitrogen-fixing bacteria
KSB: Potassium solubilizing bacteria, PSB: Phosphate solubilizing bacteria



شکل ۸- تجمع ماده خشک در نخود به‌عنوان تابعی از تشعشع تجمعی جذب شده تحت تأثیر تیمارهای مختلف

Fig. 8– The accumulation of dry matter in chickpea is a function of absorbed cumulative radiation under the influence of different treatments

شیب خط رگرسیونی برابر با کارایی مصرف نور است.

The regression slope is equal to radiation use efficiency.

Control: شاهد، Spa: گوگرد پاستیلی، Spo: گوگرد پودری، SOB: باکتری اکسید کننده گوگرد، KSB: باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم، NFB: باکتری‌های آزادزی تثبیت‌کننده نیتروژن، PSB: باکتری‌های حل‌کننده فسفر.

Spa:Pastel sulfur,Spo: Powdered sulfur, SOB: Sulfur solubilizing bacterit, NFB: Free-living nitrogen-fixing bacteria, KSB: Potassium solubilizing bacteria, PSB: Phosphate solubilizing bacteria.

کارایی مصرف نور: در این تحقیق با استفاده از مدل رگرسیون خطی ساده، رابطه بین ماده خشک تجمعی گیاه در مقابل، تشعشع دریافت شده تجمعی بر اساس تشعشع فعال فتوسنتزی برازش شد و شیب خط حاصله به‌عنوان کارایی مصرف نور بیان گردید (Edreira et al., 2020). رابطه خطی بین ماده خشک تجمعی و تشعشع دریافت شده تجمعی وجود داشت که شیب این خط کارایی مصرف نور را نشان داد (Sinclair & Horie, 1989)، که میانگین آن در طول فصل رشد از ۰/۶۱ تا ۰/۷۹ گرم بر مگاژول در تیمارهای مختلف متغیر بود (شکل ۸). در پژوهش حاضر تیمارهای مختلف، باعث ایجاد نوساناتی در کارایی مصرف نور شدند، به‌طوری‌که بیش‌ترین کارایی مصرف نور نخود درنتیجه، کاربرد (Spa+SOB+NFB+PSB+KSB) با مقدار ۰/۷۹ (R^2=0.91**) گرم بر مگاژول تابش فعال فتوسنتزی بود که نسبت به شاهد ۱۸ درصد افزایش داشت. در میان سایر تیمارهای آزمایشی تیمار (R^2= 0.91**) Spa و تیمار ترکیب (Spo+SOB+NFB+PSB+KSB) (R^2=0.92**) سبب افزایش ۱۶ و ۱۰ درصدی نسبت به شاهد شد و برتری نسبی نسبت به تیمارهای دیگر داشت (شکل ۲). می‌توان این‌گونه بیان کرد که توزیع و آرایش مناسب و یکنواخت برگ‌ها در کل تاج پوشش گیاهی گیاه سبب شد تا حداقل سایه‌اندازی برگ‌ها روی هم و حداکثر نفوذ نور به درون تاج پوشش گیاهی حادث شود و درنتیجه، بهره‌وری مناسب از نور خورشید موجب حصول RUE بالاتری در گیاه گردید.

کود گوگرد به‌دلیل توانایی اکسید شدن و تولید اسید سولفوریک، اسیدیته خاک را حداقل در مقیاس کوچک اطراف ذرات خود به‌ویژه در منطقه ریزوسفر کاهش می‌دهد، درنتیجه، سبب انحلال ترکیب‌های غذایی نامحلول و آزاد شدن عناصر ضروری می‌شود (Chaghazardi, 2013). بهبود نقش مثبت گوگرد با مصرف توأم کودهای زیستی در تحقیقات مختلفی مورد تأکید قرارگرفته است، دلیل این امر آن است که در خاک‌های آهکی معمولاً تعداد باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد بسیار کم است و کاربرد کودهای زیستی شرایط مطلوبی برای رشد و تکثیر باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد را فراهم نموده و موجب افزایش اکسیداسیون زیستی گوگرد می‌شود (Salvagiotti, 2006). در اغلب تحقیقات توانایی سویه‌های *PGPR* در تولید هورمون‌های گیاهی و افزایش رشد روی توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه ثابت شده است که سبب جذب آسان‌تر و سریع‌تر عناصر غذایی و آب از خاک به‌عنوان عامل اصلی افزایش رشد در اندام‌های هوایی گیاه میزبان می‌شود (Egamberdiyera, 2002). نتایج نشان داد کارایی مصرف نور کنجد (*Sesamum indicum* L.) درنتیجه کاربرد بیوسولفور و نیتروکسین به‌اندازه ۴۶ درصد بیشتر از شاهد بود، نتایج نشان داد که استفاده از کودهای زیستی به‌ویژه نیتروکسین، می‌تواند سبب افزایش کارایی مصرف نور و روند جذب نور توسط برگ‌های کنجد گردد (Jahan, 2012). نتایج بررسی کودهای زیستی بر چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) نشان داد مقدار کارایی مصرف نور همانند میزان تشعشع جذب شده، در تیمارهایی که در آن‌ها کود زیستی به‌کار رفته است، بیشتر از تیمارهای فاقد کود زیستی بود که این امر ممکن است به‌دلیل بسته شدن سریع‌تر کانوپی در اثر این تیمارها باشد. نتایج بررسی‌ها نشان داد استفاده از کود زیستی سبب افزایش شاخص سطح برگ گندم (*Triticum aestivum* L.) از ۱۴ به ۵۴ درصد شد، این تأثیر مثبت بر شاخص سطح برگ سبب افزایش در کارایی و جذب نور در کانوپی گندم از ۲/۶ تا ۱۱۱ درصد گردید (Vejdani Aram, 2018). البته مطالعات مختلف نشان می‌دهد که کارایی مصرف نور ممکن است تحت تأثیر عواملی نظیر ترکیب بیوشیمیایی دانه در مرحله پر شدن آن، انتقال مجدد نیتروژن، ژنوتیپ گیاهی، شرایط اقلیمی و محیطی، مدیریت زراعی که تمام آن‌ها بر ظرفیت فتوسنتزی گیاه اثرگذار هستند، قرار گیرد (Soltani & Hoogenboom, 2007). به نظر می‌رسد که ترکیب هم‌زمان کودهای زیستی با کود گوگرد، بستر باعث بالا رفتن شاخص سطح برگ و درنتیجه، افزایش میزان کارایی مصرف نور در گیاه نخود شد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد بیشترین شاخص سطح برگ در تیمار Spa+SSB+NFB+PSB+KSB به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۲۹ درصد برتری داشت. همچنین بیشترین ماده خشک تجمعی و سرعت رشد محصول در تیمار Spow+SSB+NFB+PSB+KSB بود که نسبت به شاهد ۳۱ و ۱۴ درصد افزایش داشت. حداکثر تابش جذب شده متناسب با زمان وقوع بیشترین شاخص سطح برگ نخود بود، پس از آن به‌دلیل کاهش شاخص سطح برگ تا انتهای دوره رشد

کسر تابش جذب شده نور روند کاهشی در پیش گرفت. همچنین بیش‌ترین کارایی مصرف نور در تیمار Spa+SSB+NFB+PSB+KSB بود (R^2=0.91**) که نسبت به شاهد ۱۸ درصد برتری داشت. به‌طورکلی، نتایج نشان داد شاخص سطح برگ بالاتر سبب استفاده مؤثرتر از نور تابیده به کانوپی و جذب شده توسط برگ‌های نخود درنتیجه، افزایش کارایی مصرف نور و ماده خشک گردید.

References

Aboutalebian, M.A., and Elahi, M., 2016. Evaluation of changes in some physiological indices of chickpea *(Cicer arietinum* L.) affected by on-farm seed priming and bio-fertilizers at different phosphorus levels. Crop Production and Processing Isfahan University of Technology 6(20): 25-39. (In Persian with English Summery)

Awal, M.A., Koshi, H., and Ikeda, T., 2006. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. Agriculture, Forest and Meteorology 139: 74-83.

Chaghazardi, H.R., Mohammadi, G., and Beheshti Ale-Agha, A., 2013. Effects of different amounts of sulfur and manure on soil acidity and plant traits of corn hybrid KSC 704. Field Crop Resaerch 11(1): 162-170. (In Persian with English Summery)

Dadrasi, V., Aboutalebian, M.A., Ahmadvand, G., Mousavi, S.S., and Seyedi, M., 2012. Effect of on-farm seed priming and irrigation interval on the growth indices of two corn cultivars (*Zea mays* L.). Agriculture Science 5(7): 64-75. (In Persian with English Summery)

De Sousza, E.B.M., Bassani, V.BL., Sperotto, R., and Granada, G.E., 2016. Inoculation of new rhizobialisilates improve nutrient uptake and growth of bean (*Phaseolus vulgaris*) and arugula (*Eruca sativa*). Life Science Food 24(3): 258-273.

Doaei, F., Nakhzari Moghaddam, A., Rahemi Karizaki, A. and Aldaghi, M., 2020. The effect of nutritional management on phenological stages, radiation use efficiency and seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under influence of planting date 11(1): 49-61. (In Persian with English Summery)

Edreira, E., Mourtzinis, S., Azzari, G., Andradea, J., Conley, S., Lobellc, D., Spechta, J., and Grassinia, P., 2020. From sunlight to seed: Assessing limits to solar radiation capture and conversion in agroecosystems. Agricultural and Forest Meteorology 280: 423-435.

Egamberdiyeva, D., Juraeva, D., Gafurova, L., and Hoflich, G., 2002. Promotion of plant growth of maize by plant growth-promoting bacteria in different temperatures and soils. 25th Annals of Southern Conservation Tillage Conference, Auburn, AL, USA, 24-26 June 239-244.

FAO., 2019. Crop Production. Global Market Analysis. http://www.faostat Fao.org.Foodoutlook.com.

Goudriaan, J., and Van Laar, H.H., 1993. Modelling Potential Crop Growth Processes. Kluwer Academic Press pp, 236.

Hassanabadi, T., Ardakani, M., Rajali, F., and Pak Nejad, F., 2016. Effect of nitrogen fixation and solubilizing phosphate inoculation on yield and nitrogen uptake indices of barley (*Hordeum vulgare* L.) under different levels of nitrogen. Agriculture and Plant Breeding 8(3): 213-227. (In Persian with English Summery)

Hussain, S.A., Ahmad, K., Arif-un-Nisa Naqvi, T.K., Ahmed, M., Nafees, M.H., and Abass, Q., 2014. The colossal influence of biological fertilization on medicinal and aromatic plants. Biodiversity and Environmental Sciences 5(5): 299-314.

Jahan, M., Amiri. B., and Ehyaee. R., 2012. Radiation absorption and use efficiency of sesame as affected by biofertilizers in a low input cropping system. Field Crops Research 10(2): 435-447. (In Persian with English Summery)

Jahan, M., Nassiri Mahallati, M., Amiri, M.B., and 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: 606-661.

Kamaei, R., Jahan, M., and Parsa, M., 2015. Effects of biological, chemical and organic fertilizers on some physiological indices of hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.) under greenhouse conditions. Science and Technology of Greenhouse Culture Soilless Culture Research Center 7(2): 87-96 (In Persian with English Summery)

Kukal, M., and Irmak, S., 2020. Light interactions, use and efficiency in row crop canopies under optimal growth conditions. Agricultural and Forest Meteorology 284: 896-919.

Nassiri Mahallati, M., 2008. Crop Production Ecology. In: A. Koocheki, and M. Khajeh Hosseini, (Eds.). Modern Agronomy: Jehade Daneshgahi Mashhad Publications, Mashhad, Iran.pp. 362-387.

Nazeri, P., Kashani, A., Kavazi, K., Aedakani, M., and Mirakhori, M., 2012. Effect of use microbial zinc granulated phosphorous bio fertilizer on growth indices of bean. Agronomy and Plant Breeding 8(42): 1-16. (In Persian with English Summery)

Ngouajio, M., McGiffen, J.M.E., and Hembree, K.J., 2001. Tolerance of tomato cultivar to velvet leaf interference. Weed Science 49(4): 91-98.

Ozoni Davaji, A., Esfahani, M., Sami Zadeh, H., and Rabiei, M., 2008. Effect of planting pattern and plant density on growth indices and radiation use efficiency of apetalous flowers and petalled rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. Crop Science 9(2): 382-400 (In Persian with English Summery)

Paul, I.K., and Savithru, K., 2003. Effect of biofertilizers vs perfected chemical fertilization for sesame grown in summer rice fallow. Tropical Agriculture 41(3): 47-49.

Peter, F., 2010. Radiation use efficiency in spring barley under drought: A crosstalk between survival strategy and canopy structure. Central Eropean Agriculture 11(1): 83-92.

Prajapati, K., 2016. Impact of potassium solubilizing bacteria on growth and yield of mung bean *Vigna radiata*. Applied Research 6(2): 2949-55.

Rahemi Karizaki, A., Soltani, A., Purreza, J., and Zainali, E., 2007. Estimation of extinction coefficeint and radiation use efficiency in field-grown chickpea. Agricultural Sciences and Natural Resources 14: 211-221. (In Persian with English Summery)

Ravichandra, P., Gopal, M.A., Gangagni, R.M., Ramakrishna, V., and Annapurna Jetty, Y., 2007. Isolation of *Thiobacillus* sp. from aerobic sludge of distillery and dairy effluent treatment plants and its sulfide oxidation activity at different concentrations. Environmental Biology 28(4): 819-823.

Rezaei Chiyaneh, E., Pirzad, A., and Farjami, A., 2015. Effect of nitrogen, phosphorus and sulfur supplier bacteria on seed yield and essential oil of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Agriculture Science and Sustainable Production 24(4): 71-83. (In Persian with English Summery)

Rosati, A., and Duong, T.M., 2003. Estimating photosynthetic radiation use efficiency using incident light and photosynthesis of individual leaves. Annals of Botany 91: 869-87.

Ruzzi, M., and Aroca, R., 2015. Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. Scientia Horticulturae 196: 124–134.

Salvagiotti, F., 2006. Sulfur and nitrogen deficiency reduces radiation interception, biomass production and grain yield in wheat. The 18th World Congress of Soil Science, July 9-15, 2006 - Philadelphia, Pennsylvania, USA.

Sarlikioti, V., Meinen, E., and Marcelis, L.F., 2011. Crop reflectance as a tool for the online monitoring of LAI and PAR interception in two different greenhouse crops. Biosystems Engineering 108: 114-120.

Shaharoona, B., Arshad, M., Zahir, A., and Khalid, A., 2006. Performance of *Pseudomonas* spp. containing acc-deaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of nitrogenous fertilizer. Journal of Soil Biology and Biochemistry 38(9): 2971-2975.

Shen, H., Xinhua, Y., He, X., Liu, Y., Chen, Y., Tang, J., and Guo, T., 2016. Complex inoculant of N_2-fixing, P and K solubilizing bacteria from a purple soil improves the growth of kiwifruit (*Actinidia chinensis*) plantlets. Frontiers in Microbiology 7: 128-136.

Sinclair, T.R., and Horie, T., 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: Review. Crop Science 29: 90-98.

Soltani, A., Khavazi, K., Asadi Rahmani, H., Omidvari, M., Abaszadeh, P., and Mirhoseyni, H., 2010. Plant growth promoting characteristics in some flavo *bacterium* spp. isolated from soils of Iran. Agricultural Science 2(4): 106-115.

Soltani, A., and Hoogenboom, G., 2007. Assessing crop management options with crop simulation models based on generated weather data. Field Crops Research 103: 198-207.

Soltani, A., Robertson, M.J., Rahemi-Karizaki, A., Poorreza, J., and Zarei, H., 2006. Modelling biomass accumulation and partitioning in chickpea (*Cicer arietinum* L.). Agronomy and Crop Science 192: 379-389.

Steinmaus, S.J., and Norris, R.F., 2002. Growth analysis and canopy architecture of velvetleaf grown under light conditions representative of irrigated mediterranean-type agroecosystems. Weed Science 50(2): 42-53.

Tesfaye, K., Walker, S., and Tsubo, M., 2006. Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid environment. Agronomy 25: 60-70.

Vanlauwea, B., Hungriab, M., Kanampiua, F., Gillerc, K.E., 2019. The role of legumes in the sustainable intensification of African smallholder agriculture: Lessons learnt and challenges for the future. Ecosystems and Environment 284: 1-13.

Vejdani Aram, S., Ahmadvand, G., and Hajinia, S., 2018. The effect of biological and chemical phosphorus fertilizers on radiation use efficiency, P concentration and yield of wheat cultivar (*Pishgam*). Crop Ecophiysiology 46(2): 171-190. (In Persian with English Summery)

Weiss, M., Baret, F., Smith, G.J., Jonckheere, I., and Coppin, P., 2004. Review of methods for in situ leaf area index (LAI) determination: Part II. Estimation of LAI, errors and sampling. Agricultural and Forest Meteorology 121: 37–53.

Zaefarian, F., Aghaalikhani, M., Rahimian Mashadi, H., Zand, E., and Rezvani, M., 2009. Yield and growth indices of corn/soybean intercrops under simultaneous competition of redroot pigweed and jimsonweed. Weed Science 5(2): 107-125. (In Persian with English Summery)

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

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 723-738

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۷۳۸-۷۲۳

Application of Sulfur and Biofertilizers on Growth Indices, Radiation Absorption, and Use Efficiency of Chickpea (*Cicer arietinum* L.)

J. Nabati[1*], A. Nezami[2], A. Yousefi[3], E. Oskoueian[4] and A. Oskoueian[5]

Submitted: 03-10-2020
Accepted: 06-09-2021

Nabati, J., Nezami, A., Yousefi, A., Oskoueian, E., and Oskoueian, A., 2022. Application of sulfur and biofertilizers on growth indices, radiation absorption, and use efficiency of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Journal of Agroecology 13(4):723-738.

Introduction

Leaf area index, radiation absorption and radiation use efficiency are important ecophysiological characteristics, which is useful in assessing the amount of light absorbed for dry matter production. Understanding how and managing the effects of ecological factors on plant reproduction is essential for achieving sustainability in agricultural production systems. On the other hand, the use of efficient crops in utilization of resources, especially solar radiation, is one of the fundamental approaches towards achieving this goal. The purpose of this study was to investigate the effect of sulfur and biofertilizers applications on growth indices, radiation absorption and use efficiency of chickpea.

Materials and Methods

In order to determine the growth indices, radiation absorption, and radiation use efficiency (RUE) of chickpea, a field experiment was conducted in 2019 at the Agricultural Research Station of Ferdowsi University of Mashhad based on a completely randomized block design with ten treatments and three replications. The experimental treatments including: 1-Spa, 2-Spo, 3-Spa+SOB, 4-Spa+SOB+NFB+PSB+KSB, 5-Spo+SOB 6-Spo+SOB+NFB+PSB+KSB, 7-SOB+NFB+PSB+KSB, 8- NFB+PSB+KSB, 9-SOB and 10-Control. Sampling was started 20 days after planting by taking six destructive samples. The plant was sampled two weekly intervals to determine the growth parameters of chickpea including leaf area index (LAI), dry matter accumulation (DM), crop growth rate (CGR) and radiation use efficiency (RUE). For calculations of radiation use efficiency, it was necessary to estimate daily LAI and daily absorbed, the RUE was calculated based on g MJ-1 through the slope of a linear regression between total dry weight accumulations (g m^{-2}), and cumulative absorbed the total daily solar radiation.

Results and Discussion

The results showed that the highest leaf area index was obtained in Spa + SOB + NFB + PSB + KSB and Spo + SOB + NFB + PSB + KSB treatment which was 29 and 26 % more than control, respectively. The application of pa + SOB and Spo + SOB treatment, which increased 12 and 7 % compared to control, respectively. In this study, sulfur was more important than other fertilizer treatments. The highest dry matter accumulation was obtained in Spo + SOB + NFB + PSB + KSB and Spa + SOB + NFB + PSB + KSB treatment

1- Assistant Professor, Department of Legume Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
2- Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
3- Ph.D. Student in Agroecology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
4- Assistant Professor, Mashhad Branch, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII). Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran.
5- Ph.D. Student in Crop Physiology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
* Corresponding author: jafarnabati@um.ac.ir
Doi:10.22067/agry.2021.20318.0

which was 31 and 27% more than control. SOB and NFB + PSB + KSB treatments had the lowest amount of dry matter after control. The results showed that the highest crop growth rate observed in Spo + SOB + NFB + PSB + KSB treatment, which increased by 14% compared to control. The maximum absorbed radiation coincided with the highest leaf area index of chickpea. Then, Due to the decrease in leaf area index until the end of the growth period, the absorbed fraction of light absorbed a decreasing trend. The estimated RUE levels in different treatments were significantly different ($P \leq 0.01$). The highest radiation use efficiency was in Spa + SOB + NFB + PSB + KSB treatment ($R^2 = 0.91^{**}$) which was 18% more than control. Also, increasing leaf area can increase the plant's photosynthetic potential and increase dry matter, at finally to increased RUE.

Conclusion:

The results showed that treatments (Spo + SOB + NFB + PSB + KSB) and (Spa + SOB + NFB + PSB + KSB) with higher leaf area index resulted in more efficient use of canopy light absorbed by chickpea leaves as a result of increased radiation and dry matter efficiency. High slope radiation use efficiency indicates the high efficiency of a plant using sunlight and converting it to dry matter. Giving attention to a more frequent application of biological fertilizers could be considered as an essential agro-ecological approach, which results in healthier soil and water resources.

Keywords: Crop growth rate, Dry matter accumulation, Free-living nitrogen-fixing, Leaf area index, Sulfur solubilizing bacteria.

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 739-757

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۷۵۷-۷۳۹

مقاله پژوهشی

اثر نوع شخم، سطوح کود اوره و کاربرد قارچ میکوریزا بر خصوصیات فیزیکی خاک و عملکرد و اجزای عملکرد ماش (*Vigna radiata* L.)

بابک لطفی[۱]، عباس ملکی[۲*]، محمد میرزایی حیدری[۳]، محمود رستمی‌نیا[۴] و فرزاد بابایی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۹

لطفی، ب.، ملکی، ع.، میرزایی حیدری، م.، رستمی نیا، م.، و بابایی، ف.، ۱۴۰۰. اثر نوع شخم، سطوح کود اوره و کاربرد قارچ میکوریزا بر خصوصیات فیزیکی خاک و عملکرد و اجزای عملکرد ماش (*Vigna radiata* L.). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۴): ۷۵۷-۷۳۹.

چکیده

سطوح خاک‌ورزی و مصرف کودهای شیمیایی و زیستی نقش مهمی در رشد و عملکرد گیاهان دارند که به‌منظور بررسی تأثیر نوع شخم، سطوح اوره و کاربرد قارچ میکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش (*Vigna radiata* L.)، آزمایشی در دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی دره‌شهر استان ایلام به‌صورت اسپلیت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. نوع شخم با سه سطح متداول (برگردان‌دار)، حفاظتی (قلمی) و بدون شخم به‌عنوان عامل کرت اصلی، کود اوره با چهار سطح عدم مصرف (صفر درصد)، ۳۳، ۶۶ و ۱۰۰ درصد کود توصیه شده به‌عنوان عامل کرت فرعی و کاربرد و عدم کاربرد با قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*) به‌عنوان عامل کرت فرعی فرعی مد نظر قرار گرفتند. عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن و نیز صفات وزن مخصوص ظاهری خاک، رطوبت خاک، شاخص مخروطی خاک و کربن آلی خاک اندازه‌گیری شد. طبق نتایج تجزیه مرکب دو سال آزمایش اثرات ساده سال، نوع شخم کود اوره و کاربرد میکوریزا بر تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته، عملکرد دانه، شاخص برداشت، کربن آلی خاک، شاخص مخروطی خاک و درصد رطوبت خاک و اثر متقابل نوع شخم و کود اوره بر عملکرد دانه و شاخص مخروطی خاک و نیز اثر متقابل نوع شخم و کاربرد میکوریزا بر شاخص برداشت و درصد رطوبت خاک معنی‌دار بود. طبق نتایج آزمون مقایسات میانگین بالاترین عملکرد دانه از تیمار شخم حفاظتی و کاربرد ۱۰۰ درصد کود اوره با ۲۹۴۱ کیلوگرم در هکتار با اختلاف معنی‌دار از سایر تیمارها به‌دست آمد. بیشترین وزن هزار دانه (۵۷/۵ گرم) از تیمار بدون شخم و بیشترین تعداد دانه در غلاف (۱۰/۶) و غلاف در بوته (۶۱) از تیمار شخم حفاظتی به‌دست آمد. بیشترین وزن هزار دانه، تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف در بوته از تیمار ۶۶ درصد کود اوره به‌دست آمد. بیشترین شاخص مخروطی خاک ۲/۲۵ مگاپاسکال از تیمار بدون شخم و مصرف ۶۶ درصد کود اوره توصیه شده و کمترین آن ۱/۰۷ مگاپاسکال از تیمار شخم متداول و عدم مصرف اوره به‌دست آمد. بدون شخم و شخم متداول به‌ترتیب با مقادیر ۰/۶۸ و ۰/۳۲ درصد بیشترین و کمترین میزان کربن آلی خاک را دارا بودند. به‌طور کلی، شخم حفاظتی همراه با کاربرد ۶۶ درصد کود اوره توصیه شده و تلقیح با میکوریزا، از نظر عملکرد دانه و اجزای آن بر سایر تیمارها برتری معنی‌دار داشت. به‌علاوه در این تیمار شاخص مخروطی خاک، درصدر طوبت خاک و محتوای کربن آلی نیز بهبود یافت.

واژه‌های کلیدی: شاخص مخروطی، قارچ هم‌زیست، کربن آلی، نیتروژن، وزن مخصوص ظاهری

۱- دانشجوی دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایلام، ایران.
۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایلام، ایران.
۳- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایلام، ایران.
۴- استادیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایران.
۵- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایلام، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: maleki97@yahoo.com)

Doi:10.22067/agry.2021.67873.1005

مقدمه

خاک‌ورزی یکی از عملیات مهم زراعی است که بر بخش مهمی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اثر می‌گذارد (Lapen et al., 2004). به‌علاوه خاک‌ورزی، از طریق ایجاد تغییر در خصوصیات خاک، به پایداری کشاورزی و بهبود کیفیت خاک منتهی می‌گردد (Lal, 1991). خاک‌ورزی یکی از مهم‌ترین عملیات زراعی مؤثر در تعیین خصوصیات فیزیکی (بافت و وزن مخصوص ظاهری) و هیدرولیکی (نفوذ آب و میزان رطوبت) خاک بوده (Jabro et al., 2009) و اندازه‌گیری این خصوصیات به وضعیت ساختمان خاک بستگی دارد (Gill, 2012). گوزوبیوک و همکاران (Gozubuyuk et al., 2014) با بررسی خصوصیات خاک در روش‌های خاک‌ورزی در یک خاک لومی رسی در منطقه‌ای سرد در آنتالیای ترکیه اعلام نمودند که اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک همراه با تخلخل آن برای تعیین چگونگی وضعیت ساختمان خاک بسیار مطلوب بوده و جرم مخصوص ظاهری بالا در عملیات‌های خاک‌ورزی مورد انتظار است. بر اساس نتایج مطالعات (Aikins & Afuakwa, 2012; Romaneckas et al., 2009) خاک‌ورزی متداول نسبت به بی‌خاک‌ورزی، وزن مخصوص ظاهری خاک بالاتری دارد. همچنین مطابق نتایج مطالعات مختلف، خاک‌های تحت شرایط بی‌خاک‌ورزی بالاترین مقدار رطوبت را دارند (Fernandez-Ugalde et al., 2009; Romaneckas et al., 2009). نریماتسو و همکاران (Narimatsu et al., 2014) گزارش کردند که عملکرد ذرت در نظام‌های بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حداقل بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم است، چون خاک‌ورزی باعث بر هم خوردن چرخه زیستی ریزجانداران خاک‌زی و در نتیجه، باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود.

نیتروژن عنصر ضروری برای گیاهان است که سبب افزایش تولید ماده خشک، عملکرد دانه و اجزای آن می‌شود (Montemurro & Giorgio, 2005). کود نیتروژن به‌خصوص در شکل معدنی آن می‌تواند اثر مثبت یا منفی بر روی زیست توده میکروبی خاک داشته باشد. گزارش شده است که کاربرد کودهای غیر آلی در شرایط محدودیت عناصر غذایی می‌تواند اثر محرک بر رشد میکروبی داشته باشد، به نحوی‌که کاربرد کود نیتروژن باعث تولید حجم بالاتری از زیست‌توده گیاهی تولیدی می‌شود که در صورت برگرداندن کاه و کلش و بقایای آن‌ها به خاک سوبسترای کربنی بیشتری جهت تولید انرژی برای جمعیت میکروبی فراهم می‌گردد (Treseder et al., 2008). در حالی‌که غلظت‌های زیاد کودهای شیمیایی می‌تواند اثر منفی بر خصوصیات فیزیکی و بیولوژیکی خاک داشته باشد (He et al., 2013). بنابراین، لازم است بین میزان کود نیتروژن مصرفی و بقایای گیاهی موجود در خاک تعادل برقرار باشد. همچنین محققان اظهار داشتند که عملکرد گندم تحت تأثیر مدیریت‌های مختلف بقایای گیاهی و میزان کود نیتروژن مصرفی قرار می‌گیرد (Sohrabi et al., 2014).

کودهای زیستی شامل ریزجانداران و متابولیت‌های آن‌ها بوده که قادر به بالابردن تولید و کیفیت گیاهان هستند. قارچ‌های میکوریزای وزیکولار- آربوسکولار (VAM)[1] یکی از انواع کودهای زیستی بوده که دارای رابطه هم‌زیستی با ریشه اکثر گیاهان زراعی می‌باشد (Gogoi & Singh, 2011). قارچ‌های میکوریزا به‌عنوان کودهای زیستی به‌دلیل نقش تنظیم‌کنندگی سبب افزایش جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف شده و با راه‌اندازی مسیرهای پیام‌رسانی سبب افزایش توان استقرار و مقاومت گیاهان در مقابل، آفات و بیماری‌ها شده و با ایجاد شبکه هیف در ریزوسفر بر اصلاح و حفظ ساختار خاک و انباشت آب در محیط ریشه مؤثر هستند (Ghanta et al., 2013). ریزجانداران خاک در چرخه عناصر غذایی نقش مهمی دارند و در فرآیند تجدید پوشش گیاهی نیز نقش به‌سزایی ایفا می‌کنند (Smith et al., 2010). مطالعات زیادی تأثیر مثبت قارچ‌های میکوریزا بر رشد، جذب عناصر غذایی و عملکرد در گیاهان مختلف نشان داده‌اند (Candido et al., 2013; Sabia et al., 2015).

با توجه به اینکه انواع شخم و کودهای شیمیایی و زیستی علاوه‌براینکه نقش مهمی در تعیین عملکرد و اجزای آن دارند، خصوصیات فیزیکی خاک را نیز بسیار تحت تأثیر قرار می‌دهند و نیز به‌دلیل اینکه در حال حاضر، ظرفیت افزایش عملکرد حبوبات نظیر ماش در مقایسه با غلات فاصله‌ی زیادی تا حد نهایی مطلوب خود دارد. بنابراین، مطالعه نقش مدیریت صحیح خاک‌ورزی و کاربرد کودها در تولید آن‌ها، اهمیت می‌یابد. بنابراین، این آزمایش با هدف بررسی تأثیر نوع شخم، سطوح کود اوره و کاربرد قارچ میکوریزا بر عملکرد، تولید زیست‌توده و برخی خصوصیات خاک روی گیاه ماش (*Vigna radiata* L.) انجام شد.

1- Vesicular-arbuscular mycorrhiza

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی مدیریت جهادکشاورزی دره شهر واقع در استان ایلام با ارتفاع ۷۵۵ متر از سطح دریا و به عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ و ۳۷ دقیقه شرقی از نصف النهار گرینویچ انجام شد. محل آزمایش از نظر آب و هوایی و تقسیمات اقلیمی جزو مناطق نیمه خشک و نسبتا معتدل گرم محسوب می‌شود. با استناد به اطلاعات اداره هواشناسی شهرستان دره شهر متوسط بارندگی سالیانه منطقه ۳۶۲ میلی‌متر می‌باشد. در طی دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به‌صورت اسپیلت-اسپیلت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. سه نوع شخم متداول (برگردان‌دار)، حفاظتی (قلمی) و بدون شخم به‌عنوان عامل کرت اصلی، چهار سطح کود اوره (عدم مصرف یا صفر درصد)، ۳۳، ۶۶ و ۱۰۰ درصد کود توصیه شده به‌عنوان عامل کرت فرعی و دو سطح کاربرد و عدم کاربرد با قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*) به‌عنوان عامل کرت فرعی فرعی مد نظر قرار گرفتند. مایه تلقیح از مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شد. به‌منظور تعیین بافت و وضعیت عناصر غذایی خاک، از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک در پاییز سال قبل از کاشت چندین نمونه تهیه و پس از تعیین وضعیت عناصر NPK در خاک، پاییز سال قبل از کشت کود فسفاته به شکل سوپرفسفات تریپل (به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) استفاده شد (جدول ۱).

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

Table 1- Physical and chemical properties of the soil in experiment location (0-30 cm depth)

بافت Texture	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	pH	گوگرد S (%)	سیلیسیم Si (%)	کربن آلی OC (%)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	آهن Fe ($mg.kg^{-1}$)
لومی-شنی Sandy loam	0.69	7.68	27	12	0.61	10	246	2.4

رقم مورد استفاده در این آزمایش گیاه ماش رقم هندی (MGG 207) بود که از مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد دزفول تهیه شد و کاشت در چهارم و هفتم تیر ماه در دو سال آزمایش انجام شد. شخم متداول شامل شخم کامل زمین پیش از کاشت با گاوآهن برگردان‌دار بود؛ در حالی‌که در شخم حداقل تنها با استفاده از گاوآهن قلمی زمین خراش داده شد. در روش بدون شخم نیز هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی انجام نشد. با توجه به سطح کود نیتروژن در هر تیمار (۳۳٪، ۶۶٪ و ۱۰۰٪ نیتروژن توصیه شده) کود نیتروژن به‌شکل اوره در سه مرحله، یک‌سوم قبل از کاشت به‌صورت سرک، یک‌سوم در شروع ساقه‌دهی و یک‌سوم در مرحله شروع گل‌دهی به زمین اضافه شد. میزان نیتروژن توصیه شده برای ماش ۵۰ کیلوگرم در هکتار است (Habibzadeh et al., 2015). تیمار با قارچ میکوریزا هم‌زمان با کاشت و به‌صورت نواری و در زیر بذر مصرف شد. مایه تلقیح (۲۰ گرم به‌ازای هر مترمربع) به‌صورت مخلوطی از اسپور، ریسه و قطعات جدا شده ریشه‌های آلوده حاوی قارچ میکوریزا آرباسکولار سویه *Glomus mosseae* با شمارش $۱۰^{۷}$ تا $۱۰^{۸}$ CFU/g در عمق دو سانتی‌متری زیر هر بذر استفاده شد. هر واحد آزمایشی دارای پنج ردیف کاشت به‌طول هفت متر و تراکم کشت ۶۰ بوته در مترمربع بود. آبیاری مزرعه بر اساس نیاز گیاه و به‌طور متوسط هفته‌ای یک بار انجام شد. برداشت نهایی برای برآورد عملکرد دانه، یک هفته پس از رسیدگی فیزیولوژیکی (۲۵ و ۲۶ مهرماه در دو سال) (زمانی‌که دانه‌ها سفت و غلاف‌ها سیاه و خشک شده بودند) انجام شد. بدین منظور با حذف حاشیه، بوته‌های ماش از سطحی معادل دو مترمربع از سه ردیف میانی هر کرت برداشت و عملکرد دانه (بر مبنای رطوبت دانه ۱۴ درصد)، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت از نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد بیولوژیکی محاسبه گردید (Piggin et al., 2015). همچنین برای مطالعه اجزای عملکرد شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه، در زمان برداشت، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی از سه ردیف میانی هر کرت پس از در نظر گرفتن حاشیه در ابتدا و انتهای ردیف‌ها انتخاب و صفات اندازه‌گیری شده و میانگین یادداشت شد.

به‌منظور تعیین تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر روی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری‌های زیر انجام گرفت.

برای تعیین وزن مخصوص ظاهری نمونه‌های دست‌نخورده خاک از عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر بعد از اجرای آزمایش در هر دو سال

آزمایش، پس از برداشت توسط استوانه‌هایی با حجم مشخص، به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون نگهداری و سپس توزین و با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید (Al-Shammary et al., 2018).

معادله (۱) $B_d=W_s/V$

که در آن، B_d: وزن مخصوص ظاهری خاک، W_s: جرم خاک خشک و V: حجم استوانه است.

برای تعیین درصد رطوبت وزنی خاک، نمونه‌ها پس از برداشت و توزین، به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون نگهداری و مجددا توزین و با استفاده از معادله ۲ درصد رطوبت وزنی تعیین شد.

معادله (۲) $M_c=100((W_w-W_d)/W_d)$

که در آن، M_c: درصد رطوبت وزنی خاک، W_w: وزن خاک مرطوب و W_d: وزن خاک خشک (O'Kelly, 2004) می‌باشند.

شاخص مخروطی خاک معیاری از استحکام خاک می‌باشد، این شاخص به‌طور گسترده برای اندازه‌گیری فشردگی خاک در اراضی کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاخص مخروطی خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری با استفاده از دستگاه فروسنج مخروطی به‌روش بردفورد (Bradford, 1986) اندازه‌گیری شد. مقدار درصد کربن آلی خاک قبل و پس از برداشت گیاهان با استفاده از تکنیک احتراق خود به خودی در ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد (Davis et al., 2018).

قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب آزمون همگنی واریانس خطاهای آزمایشی (آزمون F هارتلی) انجام شد. زمانی که واریانس خطاهای آزمایشی از مقادیر جدول F کمتر بود، فرض H_0 پذیرفته شد که نشان‌دهنده همگن بودن واریانس‌ها است. سپس در صورت همگن بودن واریانس‌ها، داده‌های دو سال توسط نرم‌افزار SAS ver. 9.4 مورد تجزیه مرکب قرار گرفتند. جهت مقایسه میانگین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنها اثر ساده سال در سطح احتمال پنج درصد، نوع شخم در سطح احتمال یک درصد و کود اوره در سطح احتمال پنج درصد بر وزن هزار دانه ماش معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده سال نشان داد که در سال دوم آزمایش وزن هزار دانه بالاتر از سال اول بود (جدول ۳). تفاوت‌های اقلیمی دو سال آزمایش (دما، بارندگی، ساعات آفتابی و...) سبب بالا بودن صفات مرتبط با عملکرد در سال دو آزمایش بوده است. مقایسه میانگین اثر ساده روش‌های شخم نشان داد که بالاترین میانگین وزن هزار دانه (۵۷/۵ گرم) از تیمار بدون شخم به‌دست آمد و تیمارهای شخم متداول و شخم حفاظتی به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۳). که با نتایج هالورسون و همکاران (Halvorson et al., 2000) که گزارش کردند سیستم بدون خاک‌ورزی در مقایسه با شخم حداقل منجر به کاهش وزن هزار دانه گندم گردید، متضاد بود. دلیل آن می‌تواند تفاوت در شرایط آزمایش و نحوه انجام خاک‌ورزی و ... باشد. همچنین مقایسه میانگین اثر ساده سطوح کود اوره نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه معادل ۵۵/۸ گرم از تیمار کاربرد ۶۶ درصد کود اوره توصیه شده به‌دست آمده و کمترین وزن هزار دانه از تیمار کاربرد عدم مصرف کود اوره توصیه شده حاصل شد (جدول ۳). راجپوت (Rajput, 1992) گزارش داد عملکرد دانه، وزن دانه و تعداد دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار نیتروژن قرار می‌گیرد. کمبود نیتروژن از طریق پایین آوردن شاخص سطح برگ و نیز به هم خوردن سنتز و تخریب پروتئین، پیری زودرس برگ‌ها را سبب گردیده و با تأثیر بر آنزیم روبیسکو بر فرآیند فتوسنتز گیاه و به تبع آن روی پر شدن دانه تأثیر منفی می‌گذارد (Wolton, 2005).

تعداد دانه در غلاف: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سال در سطح احتمال پنج درصد، نوع شخم، کود اوره و تلقیح با قارچ میکوریزا در سطح احتمال یک درصد بر تعداد دانه در غلاف ماش معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده سال نشان داد که در سال دوم آزمایش تعداد دانه در غلاف بالاتر از سال اول بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر ساده نوع شخم نشان داد که شخم حفاظتی از نظر تعداد دانه در غلاف بر دو روش شخم دیگر برتری داشته است و بیشترین میانگین تعداد دانه در غلاف (۱۰/۶ دانه در غلاف) از این تیمار به‌دست آمد. همچنین تیمار بدون شخم کمترین تعداد دانه در غلاف (۸/۰۸ دانه در غلاف) را دارا بود (جدول ۳). همچنین مقایسه میانگین اثر ساده سطوح کود اوره نشان داد که بیشترین میانگین تعداد دانه در غلاف معادل ۹/۹ دانه در غلاف از تیمار کاربرد ۶۶ درصد کود اوره به‌دست آمد که با تیمار ۱۰۰درصد کود اوره در یک گروه آماری قرار داشت. کمترین تعداد دانه در غلاف

نیز در تیمارهای ۳۳ درصد و عدم کاربرد کود اوره به‌دست آمد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر ساده تلقیح با قارچ میکوریزا نشان داد که با تلقیح قارچ میکوریزا تعداد دانه در غلاف هفت درصد افزایش یافت (جدول ۳). بررسی‌ها نشان می‌دهد، تعداد دانه در غلاف بیش‌تر تحت تأثیر عوامل ژنتیکی است تا شرایط محیطی، ولی شرایط محیطی مثل دما، نور، آب، مواد غذایی و طول دوره رشد نیز بر آن صفت تأثیر دارند که کمبود هرکدام از عوامل فوق باعث کاهش تعداد دانه در غلاف می‌شود. به گزارش سلطانا و همکاران (Sultana et al., 2009) مصرف نیتروژن اگر چه تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف گیاه ماش را افزایش داد، امّا تأثیر آن بر تعداد غلاف در بوته بیش از تعداد دانه در غلاف بود. ارمان و همکاران (Erman et al., 2011) نیز افزایش تعداد دانه در غلاف نخود با تلقیح میکوریزا را گزارش کردند.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نوع شخم، کود اوره و تلقیح با قارچ میکوریزا بر عملکرد، اجزای عملکرد شاخص برداشت ماش طی دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for effects of tillage, nitrogen fertilizer level and mycorrhiza on yield, yield component and harvest index in mung bean (*Vigna radiata* L.) during 2017 and 2018

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	وزن هزار دانه 1000-seed weight	تعداد دانه در غلاف No. of seeds per pod	تعداد غلاف در بوته No. of pods per plant	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index
سال Year (Y)	1	241.80*	10.20*	101.30**	190381.69**	60.46 **
سال × بلوک Y× block	4	29.72	39.79	12.62	23780.44	18.28
سیستم شخم Tillage system (T)	2	567.54**	78.76**	98.62**	445876.78**	174.84**
Y× T	2	16.72ns	0.98ns	6.46ns	648.65ns	1.02 ns
خطای اصلی Main error	8	41.35	3.95	11.00	9742.26	15.17
کود اوره Nitrogen fertilizer (N)	3	109.65*	19.50**	28.64**	233180.86**	160.46**
Y × N	3	9.22ns	0.084ns	11.17ns	6221.23ns	6.86 ns
T× N	6	9.80ns	0.73ns	5.12ns	18933.09*	7.85 ns
Y× T ×N	6	2.12ns	0.28ns	4.96ns	6254.27ns	5.98 ns
خطای فرعی Sub error	36	34.85	1.052	6.63	18727.61	4.03
میکوریزا Mycorrhiza (M)	1	25.01ns	14.18**	27.93*	95997.21**	397.14**
Y ×M	1	0.36ns	0.26ns	0.10ns	54.50 ns	0.18 ns
T ×M	2	1.14ns	0.07ns	0.86ns	120.28 ns	30.12*
Y × T × M	2	5.30ns	0.28ns	0.04ns	158.91 ns	0.40 ns
N × M	3	6.94ns	0.26ns	0.25ns	4838.31 ns	2.94 ns
Y × N × M	3	0.98ns	0.21ns	1.008ns	2028.60 ns	5.85 ns
T × N × M	6	5.99ns	0.20ns	1.41ns	6337.18 ns	2.59 ns
Y × T × N ×M	6	1.33ns	0.034ns	1.35ns	1972.32 ns	5.42 ns
خطای فرعی فرعی Sub-sub error	48	35.25	1.88	6.73	6829.74	6.44
ضریب تغییرات CV (%)		10.97	14.73	4.34	3	7.35

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد.

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

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر ساده سال، نوع شخم، کود اوره و تلقیح با قارچ میکوریزا بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص برداشت ماش و خصوصیات خاک در دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷

Table 3- Mean comparisons for simple effects of year, tillage, nitrogen fertilizer and mycorrhiza inoculation on yield, yield components and harvest index of mung bean and soil criteria during 2017 and 2018

تیمار Treatment	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	تعداد دانه در غلاف No. of seeds per pod	تعداد غلاف در بوته No. of pods per plant	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت Harvest index (%)	رطوبت خاک Soil moisture (%)	شاخص مخروطی خاک Soil cone index	کربن آلی خاک Soil organic carbon (%)
سال Year								
2017	52.82 b*	9.04 b	58.85 b	2711.6 b	35.23a	14.33b	1.60a	0.44 b
2018	55.41 a	9.57 a	60.53 a	2784.3 a	33.94b	15.45a	1.54b	0.49 a
سیستم شخم Tillage system								
متداول Conventional	54.25 b	9.20 b	59.84 b	2752.2b	32.11c	13.20c	1.09c	0.316 c
حفاظتی Conservation	50.61 c	10.64 a	61.04 a	2842.1a	35.92a	15.04b	1.50b	0.465 b
بدون خاک‌ورزی No tillage	57.48 a	8.08 c	58.18 c	2649.5c	34.23b	15.92a	2.06a	0.681 a
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer rate (%)								
100	55.42 ab	9.93 a	59.89 ab	2819.4a	31.41 c	16.31 a	1.49c	0.561 a
66	55.81 a	9.94 a	60.84 a	2814.7a	33.39 b	15.01 b	1.65a	0.532 a
33	52.67 b	8.77 b	59.25 b	2692.3b	35.95 a	14.38 b	1.58b	0.460 b
0	52.54 b	8.57 b	58.78 b	2665.6b	35.58 a	13.17 c	1.49c	0.398 c
تلقیح با قارچ میکوریزا Mycorrhiza inoculation								
بدون تلقیح Without inoculation	53.31a	8.99 b	59.25 b	2722.2b	32.43b	14.40b	1.53 b	0.473 b
با تلقیح With inoculation	53.82a	9.62 a	60.13 a	2773.8a	35.75a	15.05a	1.58 a	0.502 a

* در هر ستون و برای هر جزء، میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* In each column and for each component, means with similar letter(s) have not significantly different based on Duncan's test at 5% probability level.

تعداد غلاف در بوته: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سال، نوع شخم و کود اوره در سطح احتمال یک درصد و تلقیح با قارچ میکوریزا در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد غلاف در هر بوته ماش معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده سال نشان داد که در سال دوم آزمایش تعداد غلاف در بوته بالاتر از سال اول بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر ساده نوع نوع شخم نشان داد که بیشترین و کمترین تعداد غلاف در بوته با ۶۱ و ۵۸/۲ غلاف در بوته به‌ترتیب از نوع شخم حفاظتی و بدون نوع شخم به‌دست آمد (جدول ۳). باقی ماندن بقایا باعث افزایش ماده‌ی آلی، نیتروژن، بهبود ساختمان خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، افزایش تبادلات گازی و افزایش فعالیت ریزجانداران خاک منتهی می‌شود که در نهایت، باعث بهبود اجزای عملکرد شده و در نهایت، باعث افزایش عملکرد دانه ماش می‌گردد. همت و اسکندری (Hemmat & Eskandari, 2004) در کشت زمستانه گندم گزارش کردند که دو روش بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حفاظتی تعداد سنبله در مترمربع بیشتری را دارا بودند که منجر به عملکرد دانه بالاتر نسبت به خاک‌ورزی متداول شد. مقایسه میانگین اثر ساده سطوح کود نیتروژن نشان داد که بیشترین میانگین تعداد غلاف در بوته از تیمار ۶۶ درصد کود اوره به‌میزان ۶۰/۸ غلاف در بوته به‌دست آمد و کمترین تعداد غلاف در بوته در تیمار عدم مصرف کود اوره مشاهده شد که البته با تیمار ۳۳ درصد کود اوره از نظر آماری در یک گروه قرار گرفت (جدول ۵). از آنجا که مصرف کود اوره زمانی بوده که غلاف در حال تشکیل شدن بود، بنابراین، موجب افزایش تعداد غلاف‌های تولیدی شده است. مقایسه میانگین اثر ساده تلقیح با قارچ میکوریزا نیز نشان داد که با تلقیح قارچ میکوریزا، میانگین تعداد غلاف در بوته ۱/۵ درصد افزایش یافت (جدول ۳). در ماش عملکرد بالا در برخی ارقام و تیمارها مرهون تعداد غلاف زیاد و در برخی دیگر نتیجه تعداد زیاد دانه در غلاف یا تولید دانه‌های سنگین‌تر و یا ترکیبی از این عوامل می‌باشد. تورک و همکاران (Turk et al., 2003) بیان کردند که فراهم بودن شرایط مطلوب محیط مانند نور، رطوبت و عناصر غذایی به‌خصوص در فاز زایشی گیاه باعث می‌شود که گیاه مواد فتوسنتزی بیشتری را تولید نموده و با تخصیص این مواد به اندام‌های زایشی عملکرد دانه را به‌طور مستقیم افزایش دهد.

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سال، نوع شخم، کود اوره و تلقیح با قارچ میکوریزا در سطح احتمال یک درصد و نیز اثر متقابل کود اوره و شخم در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد دانه ماش معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده سال نشان داد که در سال دوم آزمایش عملکرد دانه بالاتر از سال اول بود که این امر به‌دلیل بالا بودن اجزای عملکرد در سال دوم بود (جدول ۳). این امر نشان دهنده تأثیرپذیری پتانسیل عملکرد ماش از شرایط محیطی می‌باشد، چرا که شرایط اقلیمی (دما و بارندگی) دو سال آزمایش تا حدودی با هم تفاوت داشت و در سال دوم مرحله گل‌دهی ماش با دماهای پایین‌تر (خنک‌تر) مواجه شد. مقایسه میانگین اثر متقابل کود اوره و شخم نشان داد که بالاترین عملکرد دانه از شخم حفاظتی با کاربرد ۱۰۰ درصد کود اوره به‌دست آمد، که با تیمار ۶۶ درصد کود اوره از نظر آماری در یک گروه قرار گرفت (جدول ۴). دلیل این امر می‌تواند به‌خاطر تأثیر مستقیم نیتروژن در افزایش شاخص سطح برگ سایه‌انداز گیاهی و در نتیجه، افزایش میزان تابش دریافت شده (Ercoli et al., 2008) باشد، زیرا کمترین میزان عملکرد دانه از روش بدون شخم و عدم مصرف کود اوره به‌دست آمد (جدول ۴). این موضوع در طول مدت آزمایش به‌خوبی از مقایسه کرت‌های آزمایشی با مقادیر مختلف نیتروژن مشهود بود. بوته‌های کرت‌های بدون نیتروژن دارای رنگ سبز روشن‌تر و رشد کندتری بودند. پایین بودن نیتروژن از طریق کاهش شاخص سطح برگ و به هم خوردن فرآیند سنتز و تخریب پروتئین، سبب پیری زودرس برگ‌ها شده و فتوسنتز کاهش می‌یابد (Wolton, 2005). وجود بقایای گیاهی در سطح خاک می‌تواند مانع اتلاف رطوبت خاک شده و فرصت کافی برای استفاده ریشه‌ها از کود نیتروژن مصرف شده را فراهم سازد (Cook & Hauguland, 1991). محمد و همکاران (Mohammad et al., 2012) با بررسی اثر بقایای گیاهی و روش خاک‌ورزی بر گندم گزارش نمودند که حفظ بقایای گیاهی سبب افزایش عملکرد دانه نسبت به روش خاک‌ورزی متداول می‌شود.

در خصوص تأثیر نوع شخم بر رشد و عملکرد نتایج متناقضی گزارش شده است. نتایج مطالعه پنج ساله کیهارا و همکاران (Kihara et al., 2012) نشان داد که عملکرد سویا در هر دو نظام خاک‌ورزی کاهش یافته و رایج برابر بود؛ در حالی‌که عملکرد ذرت در مقایسه دو سیستم در خاک‌ورزی رایج بالاتر محاسبه گردید. برخی محققان نیز اظهار داشتند که عملیات خاک‌ورزی حداقل اثرات نامطلوب سیستم-

های خاک‌ورزی رایج را بر خاک و گیاه کاهش داده و عملکردی مشابه با سیستم‌های خاک‌ورزی رایج تولید می‌کند (Grabowski et al., 2014). البته گاهی کاهش عملکرد در شرایط اجرای خاک‌ورزی حفاظتی نیز گزارش شده است که به کاهش رشد گیاه در شرایط محدودیت محتوی رطوبتی خاک نسبت داده می‌شود (Seddaiu et al., 2016). در همین راستا، هالورسون و همکاران (Halvorson et al., 1999) گزارش نمودند که تیمار خاک‌ورزی کاهش یافته میزان مصرف نیتروژن در هکتار را ۱۰۰-۵۰ کیلوگرم تقلیل داد و موجب حصول عملکرد بالاتر در این سیستم خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی فشرده گردید. ریگر و همکاران (Rieger et al., 2008) نتیجه گرفتند که عملکرد دانه گندم در نظام بدون خاک‌ورزی کمتر از خاک‌ورزی رایج بود. از طرف دیگر، نریماتسو و همکاران (Narimatsu et al., 2014) با بررسی تأثیر نظام‌های خاک‌ورزی مرسوم، خاک‌ورزی حفاظتی و بدون خاک‌ورزی را بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت گزارش کردند که عملکرد در نظام‌های بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حفاظتی بیشتر از خاک‌ورزی متداول است، چون خاک‌ورزی باعث بر هم خوردن چرخه‌های زیستی ریزجانداران (میکروارگانیسم‌های) خاکزی و در نتیجه، باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود. علاوه‌براین، افزایش نسبی عملکرد در شرایط اجرای خاک‌ورزی کاهش یافته به محتوی رطوبتی بالاتر خاک نسبت داده شده است (Mu et al., 2016). به‌طور کلی، اگر چه خاک‌ورزی متداول با هدف حذف علف‌های هرز، فراهمی بهتر عناصر غذایی و رطوبت در خاک، مخلوط شدن کودها با خاک انجام می‌شود (Palese et al., 2014)، ولی بررسی‌ها نشان می‌دهد اجرای خاک‌ورزی حفاظتی اثر منفی بر عملکرد ندارد، زیرا افزایش ماده آلی اثر مثبتی بر ظرفیت نگهداری آب در خاک و فراهمی عناصر غذایی در خاک دارد (Almagro et al., 2016; Garcia-Franco et al., 2015). البته اثر منفی اجرای برخی سیستم‌های بدون خاک‌ورزی بر عملکرد به فشردگی خاک، تهویه کم و کاهش سرعت معنی‌شدن نیتروژن نسبت داده شده است (López-Garrido et al., 2014; MartínezMena et al., 2013). پیتلکوف و همکاران (Pittelkow et al., 2020) طی متاآنالیز جهانی اثر گونه‌های مختلف گیاهی و متغیرهای اقلیمی بر عملکرد در سیستم‌های بدون خاک‌ورزی، این سیستم‌ها را به‌عنوان بهترین سیستم‌ها برای مناطق خشک و نیمه‌خشک و تحت شرایط دیم‌کاری معرفی نمودند و اظهار داشتند که در این سیستم‌ها عملکردی معادل با سیستم‌های خاک‌ورزی فشرده و حتی بالاتر نیز تولید می‌شود.

مقایسه میانگین اثر ساده کاربرد قارچ میکوریزا نشان داد که تلقیح با میکوریزا سبب افزایش عملکرد دانه نسبت به شاهد شد (جدول ۳). ایلباس و سهین (Ilbas & Sahin, 2005) گزارش کردند که تلقیح سویا با قارچ میکوریزا سبب افزایش وزن هزار دانه و عملکرد دانه شد. آروموگام و همکاران (Arumugam et al., 2010) نیز گزارش کردند که تلقیح قارچ میکوریزا با گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) سبب افزایش عملکرد و اجزای آن شد. قارچ میکوریزا با افزایش رشد ریشه‌های جانبی سبب افزایش جذب مواد غذایی بیشتری شده که به نوبه خود باعث افزایش رشد رویشی و افزایش سهم اندام‌های زایشی از جمله تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف در بوته می‌شود.

شاخص برداشت: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سال، نوع شخم، کود اوره و تلقیح با قارچ میکوریزا در سطح احتمال یک درصد و نیز اثر متقابل شخم و تلقیح با قارچ میکوریزا در سطح احتمال پنج درصد بر شاخص برداشت ماش معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده سال نشان داد که شاخص برداشت در سال اول آزمایش بالاتر از سال دوم بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل روش‌های شخم و تلقیح با قارچ میکوریزا نشان داد که بیشترین شاخص برداشت با ۳۸/۴۵ درصد از تیمار شخم حفاظتی و تلقیح با میکوریزا به‌دست آمده و کمترین شاخص برداشت (۳۳/۲۵ درصد) نیز به تیمار بدون شخم و عدم تلقیح قارچ میکوریزا تعلق داشت (جدول ۵). هوشیار و اسماعیل‌پور (Houshyar & Esmailpour, 2020) گزارش نمودند که شاخص برداشت گندم تحت تأثیر سیستم خاک‌ورزی قرار نگرفت. هم‌زیستی میکوریزایی با افزایش فراهمی و جذب فسفر و نیتروژن مورد نیاز و بهبود شرایط فیزیکی خاک، ضمن ایجاد محیط مناسب رشد ریشه، موجب افزایش رشد اندام‌های هوایی نظیر ساقه، برگ و غلاف و نهایتاً بهبود شاخص برداشت شده است. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کود اوره نشان داد که بیشترین شاخص برداشت با مصرف ۳۳ درصد کود اوره توصیه شده به‌دست آمد (جدول ۳). علت بالاتر بودن شاخص برداشت در این تیمار، احتمالاً پایین بودن میزان عملکرد بیولوژیکی آن نسبت به عملکرد دانه بود. همچنین بحرینی و همکاران (Bahrani et al., 2013) گزارش کردند که افزایش میزان نیتروژن باعث افزایش توزیع مجدد مواد فتوسنتزی به دانه‌ها شد. بنابراین، به نظر می‌رسد کاربرد

نیتروژن سبب تحریک فرآیند انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از اندام‌های رویشی به دانه‌ها شده و از این طریق شاخص برداشت را افزایش داده است.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع شخم و کود نیتروژن بر عملکرد ماش و شاخص مخروطی خاک

Table 4- Mean comparisons for interaction between tillage and nitrogen fertilizer on yield of mung bean and soil cone index

نوع شخم Tillage system	سطح کود نیتروژن Nitrogen level (%)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})	شاخص مخروطی خاک Soil cone index (Mpa)
متداول Conventional	100	2775.8 $^{b-d*}$	1.13 ^{g}
	66	2811.4 ^{b}	1.10 ^{g}
	33	2718.1 ^{de}	1.09 ^{g}
	0	2703.7 ^{e}	1.07 ^{g}
حفاظتی Conservation	100	2940.9 ^{a}	1.46 ^{ef}
	66	2911.8 ^{a}	1.61 ^{d}
	33	2804.1 ^{bc}	1.55 ^{de}
	0	2711.9 ^{de}	1.38 ^{f}
بدون خاک‌ورزی No tillage	100	2741.4 $^{c-e}$	1.89 ^{c}
	66	2720.8 ^{de}	2.25 ^{a}
	33	2554.9 ^{f}	2.11 ^{b}
	0	2581.1 ^{f}	2.02 ^{b}

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

*In each column, means with similar letter(s) have not significantly different based on Duncan's test at 5% probability level.

جدول ٥- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع شخم و تلقیح با قارچ میکوریزا بر شاخص برداشت ماش و درصد رطوبت خاک

Table 5- Mean comparisons for interaction effect between tillage and mycorrhiza inoculation on harvest index of mung bean and soil moisture

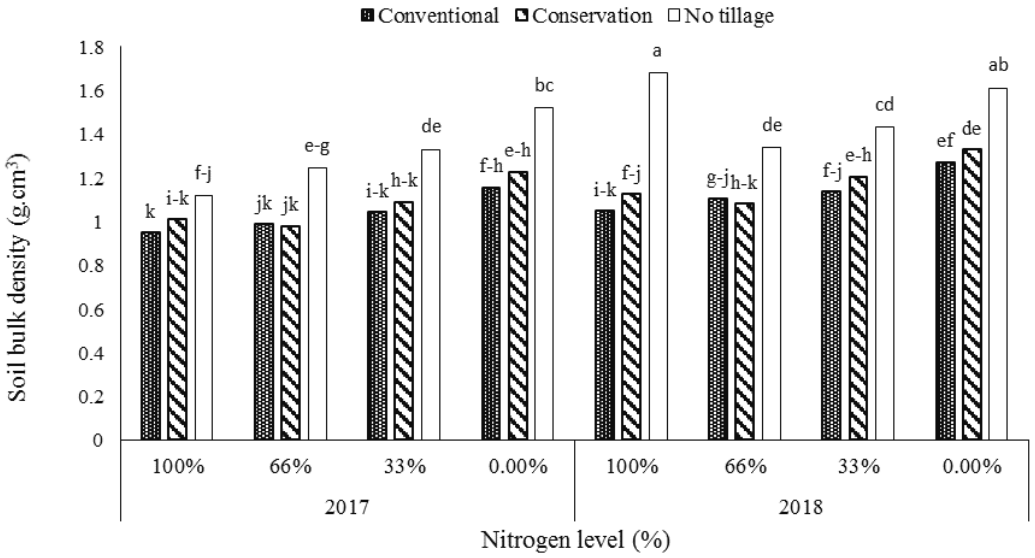
تلقیح با میکوریزا Mycorrhiza inoculation	نوع شخم Tillage systems	شاخص برداشت Harvest index (%)	رطوبت خاک Soil moisture (%)
عدم تلقیح Without inoculation	متداول Conventional	30.64 ^{d*}	12.38 ^{d}
	حفاظتی Conservation	33.39 ^{c}	14.84 ^{bc}
	بدون شخم No tillage	33.25 ^{c}	15.90 ^{a}
با تلقیح With inoculation	متداول Conventional	33.58 ^{c}	14.01 ^{c}
	حفاظتی Conservation	38.45 ^{a}	15.23 ^{ab}
	بدون شخم No tillage	35.20 ^{b}	15.92 ^{a}

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* In each column, means with similar letter(s) have not significantly different based on Duncan's test at 5% probability level.

وزن مخصوص ظاهری خاک: یکی از مناسب‌ترین شاخص‌های مورد استفاده ارزیابی تراکم خاک تحت تأثیر تیمارهای خاک‌ورزی، اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری خاک بوده که تقریباً همیشه بر اثر خاک‌ورزی تغییر می‌نماید (Romaneckas et al., 2009). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سال، نوع شخم و کود اوره در سطح احتمال یک درصد و نیز اثر متقابل سه‌گانه سال، نوع شخم و کود اوره در سطح احتمال پنج درصد بر وزن مخصوص ظاهری خاک معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر متقابل

سال، نوع شخم و کود اوره نشان داد که وزن مخصوص ظاهری خاک در سیستم بدون شخم بالاترین مقادیر را نسبت به بقیه انواع شخم دارا بود (شکل ۱). بیشترین وزن مخصوص ظاهری خاک معادل ۱/۶۸ گرم بر سانتی‌مترمکعب در تیمار بدون شخم و مصرف ۱۰۰ درصد اوره، در سال دوم آزمایش به‌دست آمد. کمترین میزان آن نیز معادل ۰/۹۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب از تیمار شخم متداول و مصرف ۱۰۰ درصد اوره، در سال اول آزمایش به‌دست آمد (شکل ۱). برخی مطالعات نشان می‌دهد که خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر وزن مخصوص ظاهری خاک ندارد (Shirani et al., 2002)؛ در حالی‌که شدت خاک‌ورزی این شاخص فیزیکی را در عمق ۳-۲ متری به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد (Mosaddeghi et al., 2009). نتایج مطالعه‌ای در چین نشان داد که وزن مخصوص ظاهری خاک با افزایش عمق خاک افزایش یافت (Mu et al., 2016). نتایج مطالعه‌ای شش ساله در چین نیز نشان داد که خصوصیات خاک تحت تأثیر سیستم خاک‌ورزی و وزن مخصوص ظاهری و جمعیت میکروبی خاک تحت تأثیر فشردگی خاک‌ورزی قرار گرفت (Luo et al., 2017). مک- وایا و همکاران (Mc-Vaya et al., 2006) نیز نشان دادند که وزن مخصوص ظاهری تحت تأثیر به‌کارگیری روش متداول خاک‌ورزی و گاوآهن برگردان‌دار به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. همچنین الاویی (Olaoye, 2002) و سکواکوا و دیکینیا (Sekwakwa & Dikiniya, 2012) نیز یافته‌هایی مشابه را گزارش نمودند. کاهش تراکم خاک در تیمارهای بدون خاک‌ورزی احتمالاً به‌دلیل کاهش تعداد دفعات تردد تراکتور و دیگر ادوات کشاورزی و در مجموع، عملیات زراعی کمتر، افزایش نفوذپذیری آب در اثر حفظ بقایای گیاهی، سست و پوک شدن خاک افزایش تدریجی مواد آلی می‌باشد. از آنجا که رابطه وزن مخصوص ظاهری با خلل و فرج خاک، معکوس است، اجرای خاک‌ورزی فشرده با بر هم زدن خاک موجب ایجاد تخلل و کاهش وزن ظاهری خاک در مقایسه با خاک‌ورزی‌های متوسط و حداقل شده است.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل سال، نوع شخم و کود اوره بر وزن مخصوص ظاهری خاک

Fig. 1- Mean comparisons for interaction effect between years, tillage system and nitrogen fertilizer on soil bulk density

درصد رطوبت خاک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سال در سطح احتمال یک درصد، نوع شخم، کود اوره و تلقیح با قارچ میکوریزا و نیز اثر متقابل نوع شخم و تلقیح با قارچ میکوریزا در سطح احتمال پنج درصد بر درصد رطوبت خاک معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر ساده سال نشان داد که درصد رطوبت خاک در سال دوم آزمایش بالاتر از سال اول بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر کود اوره نشان داد که بیشترین میزان رطوبت خاک (۱۶/۳۱ درصد) از تیمار مصرف ۱۰۰ درصد اوره توصیه شده و

کمترین آن (۱۳/۱۷ درصد) از تیمار عدم مصرف اوره به‌دست آمد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل نوع شخم و تلقیح با قارچ میکوریزا نیز نشان داد که در مجموع، میزان رطوبت خاک در تیمارهای بدون شخم بیشترین و در تیمار شخم متداول کمترین است. در تیمار بدون شخم حفظ بقایای گیاهی و تجزیه آن‌ها، ذخیره بیشتر رطوبت و عدم دستکاری در لایه سطحی زیرین خاک، احتمالاً باعث افزایش درصد رطوبت خاک گردیده است. سینگ و همکاران (Singh et al., 2007) نیز نشان دادند که خاک‌ورزی حداقل منجر به افزایش میزان رطوبت خاک می‌گردد. هالورسون و همکاران (Halvorson et al., 2000) گزارش نمودند که استفاده از خاک‌ورزی متداول به افزایش تلفات رطوبت خاک در نهایت، به کاهش عملکرد دانه منجر می‌گردد. در مقابل، سیستم‌های بدون خاک‌ورزی منجر به کاهش تبخیر و رواناب گردیده‌اند. محققان زیادی نیز در مطالعات خود برای حفظ رطوبت خاک در شرایط دیم، به‌کارگیری سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی (به‌ترتیب بدون خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی) را توصیه نموده‌اند، زیرا حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک و تسهیل در نفوذ نزولات جوی، موجب می‌شود رطوبت در لایه‌های زیرین خاک ذخیره گردد (Sudheesh et al., 2014; Fernandez-Ugalde et al., 2009; Brenton et al., 2012). علاوه‌بر اینکه سیستم‌های خاک‌ورزی فشرده تشدید تغییر اقلیم و تخریب خاک را به دنبال دارد، در درازمدت نیز به‌کارگیری این مدیریت زراعی می‌تواند تهدیدی برای پایداری سیستم‌های زراعی محسوب شود (Morugán-Coronado et al., 2020). بر این اساس، از آنجا که اجرای عملیات خاک‌ورزی حفاظتی موجب کاهش فشردگی خاک در سیستم‌های زراعی رایج در مقایسه با سیستم گیاه – آیش در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود (Halvorson et al., 2001) که این امر در کوتاه‌مدت و بلندمدت خصوصیات فیزیکی خاک به‌ویژه وزن مخصوص ظاهری را تحت تأثیر قرار می‌دهد، ترویج و توسعه به‌کارگیری این سیستم خاک‌ورزی در شرایط اقلیمی کشور که نیازمند مدیریت مطلوب منابع به‌ویژه خاک و آب می‌باشد، توصیه می‌شود.

همچنین مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که با تلقیح میکوریزا درصد رطوبت خاک افزایش یافت. امّا میزان افزایش در روش‌های مختلف شخم یکسان نبوده است؛ به‌طوری‌که بیشترین افزایش در تیمار شخم متداول مشاهده شد (جدول ۵). بیشترین درصد رطوبت خاک از تیمار بدون شخم و تلقیح با قارچ میکوریزا و کمترین درصد رطوبت خاک از تیمار شخم متداول و عدم تلقیح با قارچ میکوریزا به‌دست آمد (جدول ۵). اگر چه درصد رطوبت خاک می‌تواند تا حدودی متأثر از شرایط محیطی (زمان و میزان بارندگی در زمان نمونه‌برداری) باشد، ولی ذخیره شدن بیشتر رطوبت در تیمارهای ذکر شده احتمالاً در اثر کاهش تراکم خاک و افزایش مواد آلی در آن، حفظ بقایای گیاهی، جلوگیری از تبخیر و مهار نمودن باران و آب آبیاری در سطح مزرعه می‌باشد. از طرفی، به نظر می‌رسد قارچ میکوریزا با افزایش جذب آب به‌دلیل افزایش سطح جذب‌کننده و توان جذبی بیشتر هیف‌ها نسبت به سیستم ریشه‌ای میزان رطوبت خاک را افزایش داده است.

شاخص مخروطی خاک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سال، نوع شخم و کود اوره در سطح احتمال یک درصد و تلقیح با قارچ میکوریزا در سطح احتمال پنج درصد و نیز اثر متقابل نوع شخم و کود اوره در سطح احتمال یک درصد بر شاخص مخروطی خاک معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر ساده سال نشان داد که شاخص مخروطی خاک در سال اول آزمایش بالاتر از سال دوم بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل نوع اوره و کود اوره نشان داد که به‌کارگیری شخم سبب کاهش شاخص مخروطی خاک شد (جدول ۴). بیشترین شاخص مخروطی خاک معادل ۲/۲۵ مگاپاسکال از تیمار بدون اوره و مصرف ۶۶ درصد کود اوره توصیه شده و کمترین آن معادل ۱/۰۷ مگاپاسکال از تیمار اوره متداول و عدم مصرف اوره به‌دست آمد (جدول ۴). شیرانی و همکاران (Shirani et al., 2002) نیز نشان دادند که استفاده از گاوآهن برگردان‌دار (خاک‌ورزی متداول) منجر به کاهش شاخص مخروطی می‌گردد. مقایسه میانگین اثر تلقیح با قارچ میکوریزا نشان داد که تلقیح با قارچ میکوریزا توانست شاخص مخروطی خاک را تا ۳/۲۶ درصد افزایش دهد (جدول ۳). علت آن را می‌توان به تولید ریسه‌های قارچ نسبت داد. ریسه‌های قارچ می‌توانند تا فاصله چند سانتی‌متری از سطح ریشه گسترش یافته و به این ترتیب یک شبکه منشعب‌شده از ریسه‌های قارچی درون خاک و فراریشه گیاه تشکیل می‌شود (Wilson et al., 2009)، شبکه گسترده ریسه‌ها و ترشح گلومالین در کمک به پایداری خاک‌دانه نقش مهمی دارند (Bedini et al., 2009).

کربن آلی خاک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سال، سیستم‌های خاک‌ورزی، کود نیتروژن و تلقیح با قارچ میکوریزا

در سطح احتمال یک درصد بر میزان کربن آلی خاک معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر ساده سال نشان داد که کربن آلی خاک در سال دوم آزمایش بالاتر از سال اول بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر سیستم‌های خاک‌ورزی نشان داد که سیستم‌های بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی متداول به‌ترتیب با ۰/۶۸ و ۰/۳۲ درصد بیشترین و کمترین میزان کربن آلی خاک را دارا بودند (جدول ۳). رایت و همکاران (Wright et al., 2007) نشان دادند که افزایش عمق خاک‌ورزی که در خاک‌ورزی متداول اتفاق می‌افتد، منجر به کاهش درصد کربن آلی خاک می‌گردد. برخی پژوهشگران (Lou et al., 2012) در آزمایشات خود به افزایش کربن آلی خاک در اثر حفاظت فیزیکی خاک (حفظ بقایای گیاهی)، افزایش خلل و فرج خاک، تجزیه شدن تدریجی بقایای گیاهی رسیده بودند که با نتایج این مطالعه هم‌خوانی دارد. نتایج برخی مطالعات نیز روی فراتحلیل تغییرات خصوصیات خاک تحت تأثیر فشردگی سیستم‌های خاک‌ورزی نشان می‌دهد که اثر سیستم‌های خاک‌ورزی بر محتوی کربن آلی خاک در کوتاه‌مدت معنی‌دار نمی‌باشد (Morugán-Coronado et al., 2020). همچنین کبیری و همکاران (Kabiri et al., 2015) خاک‌ورزی کاهش یافته اثر معنی‌داری بر محتوی کربن آلی و نیتروژن خاک در شرایط اقلیمی نیمه‌خشک نداشت. البته نتایج متاآنالیز تأیید می‌نماید که خاک‌ورزی حفاظتی و کوددهی آلی موجب بهبود خصوصیات کیفی خاک، حاصلخیزی و حفظ پوشش گیاهی بالای سطح آن می‌شود که می‌تواند به‌طور مستقیم مجدداً خصوصیات خاک را تحت تأثیر قرار دهد. علاوه‌براین، کاهش شدت خاک‌ورزی به‌طور مؤثری کاهش انتشار دی‌اکسید کربن، افزایش ترسیب کربن در خاک و بهبود محتوی آب قابل دسترس خاک را نیز به همراه دارد (Wolff et al., 2018). از طرف دیگر، خاک‌ورزی فشرده موجب تسریع و تشدید فرسایش و افت محتوی کربن آلی خاک می‌شود (Chamizo et al., 2017). سایر بررسی‌ها نیز تأیید نموده است که سیستم‌های خاکوزی افزایش معدنی شدن ماده آلی خاک را موجب می‌شوند که تلفات کربن را تشدید می‌نماید و فراهمی نیتروژن را افزایش می‌دهد (Mbuthia et al., 2015; Oberholzer et al., 2014).

مقایسه میانگین اثر ساده سطح نیتروژن نشان داد که بیشترین میزان کربن آلی در سطح ۱۰۰ درصد نیتروژن وجود داشت که با تیمار ۶۶ درصد نیتروژن از نظر آماری در یک گروه قرار گرفت. همچنین کمترین میزان کربن آلی نیز در تیمار عدم مصرف کود نیتروژن مشاهده شد (جدول ۳). محققان گزارش کردند که یکی از راهکارهای مؤثر جهت تجزیه بقایا استفاده از کود نیتروژن متناسب با افزایش کاربرد بقایا است (Singh et al., 2004). به عبارت دیگر، لازم است نسبت کربن به نیتروژن متناسب باشد. احتمالاً علت بالا بودن محتوی کربن آلی خاک در تیمارهای مصرف نیتروژن، نیز همین موضوع است. تلقیح با قارچ میکوریزا درصد کربن آلی خاک را از ۰/۴۷ درصد به ۰/۵۰ درصد افزایش داد (جدول ۳). لیانگ و همکاران (Liang et al., 2005) نشان دادند که مصرف کود آلی (مصرف کاه و کلش و کود سبز) در اطراف ریزوسفر و یا خارج از ریزوسفر سرعت تنفس را در ریزوسفر توده خاک افزایش و فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز، فسفاتاز و دهیدروژناز و همچنین جذب عناصر غذایی توسط گیاه را بهبود داده و تأثیر قابل توجهی در فعالیت میکروبی و فعالیت آنزیمی داشته و در نتیجه، درصد کربن آلی خاک به‌دلیل فراوانی ریزجانداران افزایش یافته است. کریستنسن و همکاران (Kristensen et al., 2003) اظهار داشتند که مخازن میکروبی خاک یه عنوان منبع ناپایدار نیتروژن محسوب شده و تحت تأثیر خاک‌ورزی آزاد می‌شود. علاوه‌براین، سیستم خاک‌ورزی از طریق عمق بر هم زدن خاک، عمق توزیع نیتروژن را تحت تأثیر قرار می‌دهد که این امر می‌تواند به‌صورت غیرمستقیم از طریق تأثیر بر سرعت تجزیه کربن آلی، محتوی آن را تحت تأثیر قرار دهد. خاک‌ورزی حفاظتی بهبود خصوصیات فیزیکی خاک، حفاظت منابع و آب و جلوگیری از افزایش انتشار دی‌اکسید کربن را نیز موجب می‌گردد (Almagro et al., 2016; Simoes et al., 2014). اگر چه کشاورزان معمولاً با هدف افزایش نفوذپذیری آب، کاهش رشد علف‌های هرز و بهبود خصوصیات خاک خاک‌ورزی‌های فشرده را اعمال می‌کنند، ولی اجرای این عملیات زراعی در درازمدت کاهش ثبات خاکودانه‌ها، کاهش جمعیت ریزجانداران خاکزی، و افزایش حساسیت خاک به فرسایش را به دنبال دارد (García-Díaz et al., 2018; Ruiz-Colmenero et al., 2013). علاوه‌بر اینکه به‌کارگیری خاک‌ورزی فشرده می‌تواند به‌دلیل تحریک اکسیداسیون ماده آلی به‌واسطه تنفس هوازی این ریزجانداران، تلفات کربن آلی و افزایش انتشار دی‌اکسید کربن را موجب می‌گردد (Palese et al., 2014). خاک‌ورزی حفاظتی افزایش کربن آلی را از طریق کاهش معدنی شدن ماده آلی و همچنین افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک باعث می‌شود

(Almagro et al., 2016; Garcia-Franco et al., 2015). بر این اساس، از آنجا که کارکردهای خاک حمایت‌کننده و پشتیبان سایر خدمات اکوسیستم و تعیین‌کننده کیفیت خاک می‌باشد (Zornoza et al., 2015)، اجرای نظام‌های کم‌خاک‌ورزی با حداقل دستکاری و بر هم زدن خاک می‌تواند علاوه‌بر بهبود خدمات و کارکردهای خاک، سایر کارکردهای سیستم‌های زراعی را نیز تقویت و ثبات تولید را تضمین نماید.

جدول ٦- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر شخم، کود اوره و تلقیح با قارچ میکوریزا بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک طی دو سال ۱۳۹٦ و ۱۳۹۷

Table 6- Analysis of variance (mean of squares) for the effects of tillage systems, nitrogen levels and mycorrhiza inoculation on soil physical and chemical characteristics during 2017 and 2018

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	وزن مخصوص ظاهری Bulk density	درصد رطوبت Moisture percentage	شاخص مخروطی Cone index	کربن آلی Organic carbon
سال Year (Y)	1	0.730**	35.79**	0.14**	0.48**
سال × بلوک Y× block	4	0.044	5.845	0.006	0.0008
سیستم شخم Tillage system (T)	2	1.48**	92.450**	11.352**	1.617**
Y× T	2	0.044ns	2.135ns	0.0003ns	0.0012ns
خطای اصلی Main error	8	0.016	3.219	0.0316	0.010
کود اوره (N) Nitrogen fertilizer (N)	3	0.372**	61.808**	0.222**	0.195**
Y × N	3	0.055ns	0.304ns	0.00017ns	0.0033ns
T× N	6	0.016ns	1.889ns	0.0945**	0.006ns
Y× T ×N	6	0.055*	0.801ns	0.00004ns	0.0015ns
خطای فرعی Sub error	36	0.007	3.502	0.0079	0.0033
میکوریزا (M) Mycorrhiza (M)	1	0.004ns	15.98*	0.0950*	0.030**
Y ×M	1	0.00006ns	0.032ns	0.00002ns	0.000058ns
T ×M	2	0.0004ns	8.776*	0.000017ns	0.00085ns
Y × T × M	2	0.0002ns	0.481ns	0.0000007ns	0.00004ns
N × M	3	0.0017ns	2.388ns	0.0013ns	0.0014ns
Y × N × M	3	0.00005ns	0.846ns	0.00004ns	0.00007ns
T × N × M	6	0.0034ns	0.392ns	0.0045ns	0.0005ns
Y × T × N ×M	6	0.00012ns	0.432ns	0.00002ns	0.000019ns
خطای فرعی فرعی Sub-sub error	48	0.018	2.722	0.016	0.0041
ضریب تغییرات CV (%)		11.09	11.12	8.08	13.59

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

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

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که انتخاب روش درست تقسیط، زمان مصرف و نوع کودهای نیتروژن، در کنار حضور مقدار مناسبی از بقایای گیاهی، نیاز گیاه به کودهای شیمیایی را مرتفع ساخته و در عین‌حال، از آلودگی محیط زیست و تجمع نیترات در اندام‌های مصرفی گیاهان نیز جلوگیری می‌کند. تلقیح با قارچ میکوریزا سبب افزایش عملکرد دانه و بهبود خصوصیات فیزیکی خاک شد. به‌طور کلی، شخم حداقل و بدون شخم دارای مزیت‌هایی در مقایسه با شخم متداول هستند، که کاربرد آن‌ها را توجیه می‌کند. طبق نتایج روش‌های شخم حفاظتی همراه با کاربرد ۶۶ درصد کود نیتروژن توصیه شده، در اغلب صفات مورد بررسی از جمله عملکرد و صفات

مرتبط با آن بر سایر تیمارها برتری معنی‌داری داشت. ضمن اینکه در این تیمار بهبود ساختمان فیزیکی خاک و محتوای کربن آلی نیز مشاهده شد. بر این اساس پیشنهاد می‌شود تا با بهره‌گیری از راهکارهای مدیریت زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون ایران به‌ویژه روش شخم کاهش یافته و هم‌زیستی میکوریزایی سعی شود خصوصیات خاک را بهبود بخشید.

References

Aikins, S.H.M., and Afuakwa, J.J., 2012. Effect of four different tillage practices on soil physical properties under cowpea. The Agriculture and Biology Journal of North America 3: 17-24.

Almagro, M., de Vente, J., Boix-Fayos, C., García-Franco, N., Melgares de Aguilar, J., González, D., Solé-Benet, A., and Martínez-Mena, M., 2016. Sustainable land management practices as providers of several ecosystem services under rainfed mediterranean agroecosystems. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 21: 1029-1043.

Al-Shammary, A.A.G., Kouzani, A.Z., Kaynak, A., Khoo, S.Y., Norton, M., and Willgates, W.G.M., 2018. Soil bulk density estimation methods: A Review. Pedosphere 28(4): 581-596.

Arumugam, R., Rajasekaran, S., and Nagarajan, S.M., 2010. Response of arbuscular mycorrhizal fungi and *Rhizobium* inoculation on growth and chlorophyll content of *Vigna unguiculata* (L.) Walp var. The Journal of Applied Sciences and Environmental Management 14(4): 113–115.

Bahrani, A., Hamedi, S., and Tadayon, M.S., 2013. Response of wheat and barley to nitrogen and drought stress. Journal of Plant Ecophysiology 5: 1-14. (In Persian with English Summary)

Bedini, S., Pellegrion E., Avio, L., Pellegrini, S., Bazzoffi, P., Argese, E., and Giovannetti, M., 2009. Changes in soil aggregation and glomalin related soil protein content as affected by the arbuscular mycorrhiza fungal species (*Glomus mosseae*) and (*Glomus intraradices*). Soil Biology and Biochemistry 41: 1491-1496.

Bradford, J.M., 1986. Penetrability. In: klute, A. Methods of soil analysis. Part 1. Soil Science Society of America, Madison. WI, pp. 468-472.

Brenton, S., Wendling, L., and Feng, G., 2012. Surface characteristics of a windblown soil altered by tillage intensity during summer fallow. Aeolian Research 5: 1-7.

Candido, V., Campanelli, G., D'Addabbo, T., Castronuovo, D., Perniola, M., and Camele, I., 2015. Growth and yield promoting effect of artificial mycorrhization on field tomato at different irrigation regimes. Scientia Horticulturae 187: 35-43.

Chamizo, S., Serrano-Ortiz, P., López-Ballesteros, A., Sánchez-Cañete, E.P., Vicente-Vicente, J.L., and Kowalski, A.S., 2017. Net ecosystem CO_2 exchange in an irrigated olive orchard of SE Spain: Influence of weed cover. Agriculture, Ecosystems and Environment 239: 51-64.

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

Davis, M.R., Alves, B.J.R., Karlen, D.L., Kline, K.L., Galdos, M., and Abulebdeh, D., 2018. Review of soil organic carbon measurement Protocols: A U.S. and Brazil comparison and recommendation. Sustainability 10: 53.

Erman, M., Demir, S., Ocak, E., Tüfenkçi, S., Oğuz, and Akköprü, A., 2011. Effects of Rhizobium, arbuscular mycorrhiza and whey applications on some properties in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under irrigated and rainfed conditions 1—Yield, yield components, nodulation and AMF colonization. Earth Science 122: 14-24.

Ercoli, L., Lulli, L., Marryotti, M., Masoni, A., and 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.

Fernandez-Ugalde, O., Virto, I., Bescansa, P., Imaz, M.J., Enrique, A., and Karlen, D.L., 2009. No tillage improvement of soil physical quality in calcareous, degradation-prone, semiarid soils. Soil and Tillage Research 106: 29-35.

García-Díaz, A., Marqués, M.J., Sastre, B., and Bienes, R., 2018. Labile and stable soil organic carbon and physical improvements using groundcovers in vineyards from central Spain. Science of the Total Environment 621: 387–397.

Garcia-Franco, N., Martinez-Mena, M., Goberna, M., and Albaladejo, J., 2015. Changes in soil aggregation and microbial community structure control carbon sequestration after afforestation of semiarid shrublands. Soil Biology and Biochemistry 87: 110–121

Ghanta, R., Dutta, S., and Mukhopadhyay, R., 2013. Investigation on arbuscular mycorrhiza alliances in some threatened medicinal herbs of Burdwan district, West Bengal, India. Journal of Medicinal Plants Research 7(7): 315-

323.

Gill, S.M., 2012. Temporal variability of soil hydraulic properties under different soil management practices. Ph.D. Dissertation University of Guelph, Ontario, Canada.

Gogoi, P., and Singh, R.K., 2011. Differential effect of some arbuscular mycorrhiza fungi on growth of (*Piper longum* L.) (Piperaceae). Indian Journal of Science and Technology 4(2): 119-125.

Gozubuyuk, Z., Sahin, U., Ozturk, I., Celik, A., and Adiguzel, M.C., 2014. Tillage effects on certain physical and hydraulic properties of a loamy soil under a crop rotation in a semi-arid region with a cool climate. Catena 118: 195-205.

Grabowski, P.P., Haggblade, S., Kabwe, S., and Tembo, G., 2014. Minimum tillage adoption among commercial smallholder cotton farmers in Zambia, 2002 to 2011. Agricultural Systems 131: 34–44.

Habibzadeh, Y., Jalilian, J., Zardashti, M.R., Pirzad, A., and Eini, O., 2015. Some morpho-physiological characteristics of mung bean mycorrhizal plants under different irrigation regimes in field condition. Journal of Plant Nutrition 38(11): 1754-1767.

Halvorson, A.D., Black, A.L., Krupinsky, J.M., and Merrill, S.D., 1999. Dryland winter wheat response to tillage and nitrogen within an annual cropping system. Agronomy Journal 91: 702–707.

Halvorson, A.D., Black, A.L., Krupinsky, J.M., Merrill, S.D., Wienhold, B.G., and Tanaka, D.L., 2000. Spring wheat response to tillage and nitrogen fertilization in rotation with sunflower and winter wheat. Agronomy Journal 92: 136-144.

Halvorson, A.D., Wienhold, B.J., and Black, A.L., 2001. Tillage and nitrogen fertilization influence grain and soil nitrogen in an annual cropping system. Agronomy Journal 93: 836–841.

He, Y., Dong, Y., Xiao, S., Peng, Q., Liu, X., and Sun, L., 2013. Effects of nitrogen fertilization on soil microbial biomass and community functional diversity in temperate grassland in Inner Mongolia, China. Clean- Soil, Air, Water 41: 1216–1221.

Hemmat, A., and Eskandari, I., 2004. Tillage system effects upon productivity of a dryland winter wheat–chickpea rotation in the northwest region of Iran. Soil and Tillage Research 78: 69-81.

Houshyar, E., and Esmailpour, M., 2020. The impacts of tillage, fertilizer and residue managements on the soil properties and wheat production in a semi-arid region of Iran. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 19: 225–232.

Ilbas, A.I., and Sahin, S., 2005. *Glomus fasciculatum* inoculation improves soybean production. Acta Agriculture Scandinavica 55(4): 287-292

Jabro, J.D., Stevens, W.B., Evans, R.G., and Iversen, W.M., 2009. Tillage effects on physical properties in two soils of the Northern Great Plains. Applied Engineering in Agriculture 25: 377-382.

Kabiri, V., Raiesi, F., and Ghazavi, M.A., 2015. Six years of different tillage systems affected aggregate associated SOM in a semi-arid loam soil from central Iran. Soil and Tillage Research 154: 114–125.

Kihara, J., Bationo, A., Waswa, B., Kimetu, J.M., Vanlauwe, B., Okeyo, J., Mukalama, J., and Martius, C., 2012. Effect of reduced tillage and mineral fertilizer application on maize and soybean productivity. Experimental Agriculture 48(2): 159–175.

Kristensen, H.L., Debosz, K., and Mccarty, G.W., 2003. Short-term effects of tillage on mineralization of nitrogen and carbon in soil. Soil Biology and Biochemistry 35: 979–986.

Lal, R., 1991. Soil structure and sustainability. Journal of Sustainable Agriculture 1: 67-92.

Lapen, D.R., Topp, G.G., Edwards, M.E., and Curnol, W.E., 2004. Combination cone penetration resistance water content instrumentation to evaluated cone penetration-water content relationships in tillage research. Soil and Tillage Research 79: 51-62.

Liang, Y., Nikolic, M., Peng, Y., and Chen, W., 2005. Organic manure stimulates biological activity and barley growth in soil subject to secondary salinization. Soil Biology and Biochemistry 37: 1185-1195.

López-Garrido, R., Madejón, E., León-Camacho, M., Girón, I., Moreno, F., and Murillo, J.M., 2014. Reduced tillage as an alternative to no-tillage under mediterranean conditions: A case study. Soil and Tillage Research 140: 40-47.

Lou, Y., Xu, M., Chen, X., He, X., and Zhao, K., 2012. Stratification of soil organic C, N and C: N ratio as affected by conservation tillage in two maize fields of China. Catena 95: 124–130.

Luo, Z., Gan, Y., Niu, Y., Zhang, R., Li, L., Cai, L., and Xie, J., 2017. Soil quality and crop yield under long-term

tillage systems. Experimental Agriculture 53(4): 497–511.

Martínez-Mena, M., Garcia-Franco, N., Almagro, M., Ruiz-Navarro, A., Albaladejo, J., de Aguilar, J.M., Gonzalez, D., and Querejeta, J.I., 2013. Decreased foliar nitrogen and crop yield in organic rainfed almond trees during transition from reduced tillage to notillage in a dryland farming system. European Journal of Agronomy 49: 149-157.

Mbuthia, L.W., Acosta-Martínez, V., DeBruyn, J., Schaeffer, S., Tyler, D., Odoi, E., Mpheshea, M., Walker, F., and Eash, N., 2015. Long term tillage, cover crop, and fertilization effects on microbial community structure, activity: Implications for soil quality. Soil Biology and Biochemistry 89: 24–34.

Mc-Vaya, K.A., Buddea, J.A., Fabrizzia, K., Mikhab, M., Ricea, C.W., Schlegelc, A.J., Petersona, D.E., Sweeneyd, D.W., and Thompson, C., 2006. Management effects on soil physical properties in long-term tillage studies in Kansas. Soil Science 70: 434-438.

Mohammad, W., Shah, S., Shehzadi, S., and Shah, S., 2012. Effect of tillage, rotation and crop residues on wheat crop productivity, fertilizer nitrogen and water use efficiency and soil organic carbon status in dry area (rainfed) of north-west Pakistan. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 12: 715-727.

Montemurro, F., and Giorgio, D., 2005. Quality and nitrogen use efficiency of sunflower grown at different nitrogen levels under mediterranean conditions. Journal of plant Nutrition 28: 335-350.

Morugán-Coronado, A., Linares, C., Gómez-López, M.D., Faz, Á., and Zornoza, R., 2020. The impact of intercropping, tillage and fertilizer type on soil and crop yield in fruit orchards under mediterranean conditions: A meta-analysis of field studies. Agricultural Systems 178: 102736.

Mosaddeghi, M.R., Mahboubi, A.A., and Safadoust, A., 2009. Short-term effects of tillage and manure on some soil physical properties and maize root growth in a sandy loam soil in western Iran. Soil and Tillage Research 104: 173–179.

Mu, X., Zhao, Y., Liu, K., Ji, B., Guo, H., Xue, Z., and Li, C., 2016. Responses of soil properties, root growth and crop yield to tillage andcrop residue management in a wheat-maize cropping system on the North China Plain. European Journal of Agronomy 78: 32–43.

Narimatsu, K.C.P., De-Mello, L.M., Domingues, L.S., Chioderoli, C., and Lima, R., 2014. Corn productivity in function of surface application of lime in different management systems and cultural preparation. Engenharia and Agricultural Jaboticabal 34(2): 254-262.

O'Kelly, B.C., 2004. Accurate determination of moisture content of organic soils using the oven drying method. Drying Technology 22(7): 1767-1776.

Oberholzer, H.R., Leifeld, J., and Mayer, J., 2014. Changes in soil carbon and crop yield over 60 years in the Zurich Organic Fertilization experiment, following land-use change from grassland to cropland. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 177: 696–704.

Olaoye, J.O., 2002. Influence of tillage on crop residue cover, soil properties and yield components of cowpea in derived savannah ectones of Nigeria. Soil and Tillage Research 64: 179-187.

Pala, M., Haddad, A., and Piggin, C., 2007. Challenges and opportunities for conservation cropping: ICARDA experience in dry areas. pp. 165-182. The Proceedings of the International Workshop on Conservation Agriculture for Sustainable Land Management to Improve the Livelihood of People in Dry Areas.

Palese, A.M., Vignozzi, N., Celano, G., Agnelli, A.E., Pagliai, M., and Xiloyannis, C., 2014. Influence of soil management on soil physical characteristics and water storage in a mature rainfed olive orchard. Soil and Tillage Research 144: 96-109.

Piggin, C., Haddad, A., Khalil, Y., Loss, S., and Pala, M., 2015. Effects of tillage and time of sowing on bread wheat, chickpea, barley and lentil grown in rotation in rainfed systems in Syria. Field Crops Research 173: 57–67.

Pittelkow, C.M., Linquist, B.A., Lundy, M.E., Liang, X., Van Groenigenc, K.J., Lee, J., Van Gestelc, N., Six, J., Venterea, R.T., and Van Kessel, C., 2020. When does no-till yield more? A global meta-analysis. Agricultural Systems 178: 102736.

Rajput, R.J., 1992. Relationship between N and K in maize. Abstracts of Botany Journal 43: 1693.

Rieger, S., Richner, W., Streit, B., Frossard, E., and Liedgens, M., 2008. Growth, yield, and yield components of winter wheat and the effects of tillage intensity preceding crops, and N fertilisation. European Journal of Agronomy 28: 405–411.

Romaneckas, K., Romaneckienė, R., Šarauskis, E., Pilipavičius, V., and Sakalauskas, A., 2009. The effect of

conservation primary and zero tillage on soil bulk density, water content, and sugar beet growth and weed infestation. Agronomy Research 7: 73-86.

Ruiz-Colmenero, M., Bienes, R., Eldridge, D.J., and Marques, M.J., 2013. Vegetation cover reduces erosion and enhances soil organic carbon in a vineyard in the central Spain. Catena 104: 153-160.

Sabia, E., Claps, S., Morone, G., Bruno, A., Sepe, L., and Aleandri, R., 2015. Field inoculation of arbuscular mycorrhiza on maize (*Zea mays* L.) under low inputs: preliminary study on quantitative and qualitative aspects. Italian Journal of Agronomy 10(1): 607.

Seddaiu, G., Iocola, I., Farina, R., Orsini, R., Lezzi, G., and Roggero, P.P., 2016. Long term effects of tillage practices and N fertilization in rainfed mediterranean cropping systems: Durum wheat, sunflower and maize grain yield. European Journal of Agronomy 77: 166–178.

Sekwakwa, O., and Dikinya, O., 2012. Tillage-induced compaction: Effects on physical properties of agricultural loamy soils. Scientific Research and Essays 7: 1584-1591.

Shirani, H., Hajabbasi, M.A., Afyuni, M., and Hemmat, A., 2002. Effect of farmyard manure and tillage systems on soil physical properties and corn yield in central of Iran. Soil and Tillage Research Journal 68: 101-108.

Shirani, H., Hajabbasi, M.A., Afyuni, M., and Hemmat, A., 2002. Effect of farmyard manure and tillage systems on soil physical properties and corn yield in central Iran. Soil and Tillage Research 68: 101–108.

Simoes, M.P., Belo, A.F., Pinto-Cruz, C., and Pinheiro, A.C., 2014. Natural vegetation management to conserve biodiversity and soil water in olive orchards. The Spanish Journal of Agricultural Research 12: 633–643.

Singh, B.R., and Haile, M., 2007. Impact of tillage and nitrogen fertilization on yield, nitrogen use efficiency of (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) and soil properties. Soil and Tillage Research 94: 55-63.

Singh, Y., Ladha Khind, J.K., and Bueno, C.S., 2004. Effects of residue decomposition on productivity and soil fertility in rice-barley rotation. Soil Science Society of America Journal 68: 854-864.

Smith, S.E., Facelli, E., Pope, S., and Smith, F.A., 2010. Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. Plant and Soil 326(1-2): 3-20.

Sohrabi, S.S., Fateh, A., Aynehband, A., and Rahnema, A., 2014. Study the effect of residue management and different nitrogen sources on wheat yield. Journal of Agroecology 6(3): 645-655. (In Persian with English Summary)

Sudheesh, M., and Ken, F., 2014. Soil water conservation and nitrous oxide emissions from different crop sequences and fallow under mediterranean conditions. Soil and Tillage Research 143: 123-129.

Sultana, S., Ullah, J., Karim, F., and Asaduzzaman, M.D., 2009. Response of mung bean to integrated nitrogen and weed managements. American Eurasian Journal of Agronomy 2(2): 104-108.

Treseder, K.K., 2008. Nitrogen additions and microbial biomass: A meta-analysis of ecosystem studies. Ecology Letters 11: 1111-20.

Turk, M.A., Tawaha, A.M., and El-Shatnawi, M.K.J., 2003. Response of lentil to plant density, sowing date, phosphorus fertilization and ethephon application in the absence of moisture stress. Journal of Agronomy 189: 1-6.

Wilson, G.W.T., Rice, C.W., Rillig, M.C., Springer, A., and Hartnett, D.C., 2009. Soil aggregation and carbon sequestration are tightly correlated with the abundance of arbuscular mycorrhiza fungi: Results from long-term field experiments. Ecology Letter 12: 452-461.

Wolff, M.W., Alsina, M.M., Stockert, C.M., Khalsa, S.D.S., and Smart, D.R., 2018. Minimum tillage of a cover crop lowers net GWP and sequesters soil carbon in a California vineyard. Soil and Tillage Research 175: 244-254.

Wolton, W., 2005. Leaf area index and radiation as related to corn yield. Agronomy Journal 65: 459–46.

Wright, A.L., Dou, F., and Hons, F.M., 2007. Soil organic C and N distribution for wheat cropping systems after 20 years of conservation tillage in central Texas. Agriculture, Ecosystems and Environment 121: 736-744.

Zornoza, R., Acosta, J.A., Bastida, F., Domínguez, S.G., Toledo, D.M., and Faz, A., 2015. Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. Soil 1: 173-185.

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 739-757

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۷۵۷-۷۳۹

Effects of Different Tillage Systems, Nitrogen Fertilizer Rates, and Mycorrhiza Inoculation on some Soil Physical Properties and Yield of Mung Bean (*Vigna radiata* L.)

B. Lotfi[1], A. Maleki[2*], M. Mirzaeiheydari[3], M. Rostaminiya[4] and F. Babaii[5]
Submitted: 24-12-2020
Accepted: 09-06-2021

Lotfi, B., Maleki, A., Mirzaeiheydari, M., Rostaminiya, M., and Babaii, F., 2022. Effects of different tillage systems, nitrogen fertilizer rates, and mycorrhiza inoculation on some soil physical properties and yield of mung bean (*Vigna radiata* L.). Journal of Agroecology 13(4):739-757.

Introduction

Tillage intensity and tillage system can affect biological, physical, and chemical properties of the soil. Suitable soil management is essential to achieve sustainable agricultural production especially in drought-prone regions. More application of machineries in a tillage system will result in more soil compaction which in turn increases soil bulk density and decreases its air and water permeability. Additionally, it has been well documented that the compact soil hampers the downward growth of the crop roots. The soil with good physical quality will provide aeration and water as well as non-impeditive mechanical resistance for root proliferation. Moldboard plowing is currently applied in around 65% of tillage practices although the agricultural extension services have tried to convince farmers to apply reduced tillage system by replacing moldboard plow with chisel plow to mitigate adverse effects of moldboard plowing especially in arid and semi-arid regions. Conservation tillage practices, especially reduced tillage, have been introduced to Iranian farmers since 1999. Mycorrhiza is the product of an association between a fungus and plant root that enhance the tolerance levels of plants against the drought, salinity and high heavy metal contents. The aim of the present study were to evaluate the effects of tillage systems, nitrogen levels, and mycorrhiza inoculation on yield and yield components of mung bean and soil criteria.

Materials and Methods

The experiment was conducted in Darehshahr research field in two growing seasons (2017 and 2018). The experimental layout was split plot based on a randomized complete block design with three replications. Treatments consisted of three tillage systems as conventional, conservation and no tillage as main plot, four nitrogen levels including 0% (as control), 33%, 66% and 100% of recommended fertilizer as sub plot, and two levels of mycorrhiza fungi inoculation (Contains arbuscular mycorrhiza fungi of *Glomus mosseae* strains, counting 10^7 to 10^8 (CFU / g.) Prepared by Soil and Water Research Institute) (no symbiosis (as control) and with symbiosis) as sub-sub-plot. Studied traits were yield components (such as 1000-seed weight, No. of seeds per pod, No. of pods per plant), seed yield and harvest index of mung bean and moisture content, cone index and

1- Ph.D. Student of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Islamic Azad University, Ilam Branch, Ilam, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Islamic Azad University, Ilam Branch, Ilam, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Islamic Azad University, Ilam Branch, Ilam, Iran.
4- Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.
5- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Islamic Azad University, Ilam Branch, Ilam, Iran.
(*Corresponding Author: maleki97@yahoo.com)
Doi:10.22067/agry.2021.67873.1005

organic carbon percent of soil. For analysis of variance SAS 9.4 was used. All the means were compared according to Duncan test ($p \leq 0.05$).

Results and Discussion

The results revealed that the highest 1000-seed weight (57.48 g) was obtained from no-tillage and the highest number of seeds per pod (10.64 seeds per pod) and the number of pods per plant (61.04 pods per plant) were obtained from conservation tillage. The highest seed yield was obtained from conservation tillage + application of 100% N fertilizer with 2941 $kg.ha^{-1}$. The highest seed weight, number of seeds per pod, and number of pods per plant were obtained from 66% N fertilizer application. Mycorrhiza inoculation increased harvest index, seed yield and its components. The soil bulk density in the no-tillage system had the highest value. The maximum and the minimum soil moisture contents were observed for non-tillage and conventional tillage systems, respectively. The highest soil cone index (2.25 MPa) was obtained from no-tillage and 66% N fertilizer and the lowest (1.07 MPa) was for conventional tillage system+ without nitrogen application. The highest and the lowest soil organic carbon were related to no-tillage and conventional tillage systems with 0.68% and 0.32%, respectively.

Conclusion

In general, the conservation tillage system+ application of 66% N fertilizer and inoculation with mycorrhiza had a relative advantage impact on yield and related traits. In addition, the soil physical traits and organic carbon content were improved affected as declined tillage systems. The long-term field experiment points out the beneficial impacts of reduced tillage and no tillage systems that, in addition to preserving both soil physical (such as cone index) and chemical criteria (and organic carbon), fertility and biological activity, could increase yield and exhibit a comparable yield over a long-term period as in conventional plough. Currently, there is no mung bean variety appropriate to Iran. Improving some varieties with higher yield which are tolerant to warm climate and water deficiency seems essential to improve the sustainability of local seed production. Investigating into the effect of mung bean tillage and fertilizer consumption on the weed type and density is also suggested for future studies.

Keywords: Bulk density, Cone index, Organic carbon, Symbiosis fungi

Contents

The Effects of Management Practices on Soil Physical and Chemical Properties of Esfahan groecosystems **591**
M. Karimian Kelishadrokhi, A. Koocheki and M. Nassiri Mahallati

Evaluation of Soil Ecosystem Services and Carbon Balance for Different Agroecosystems in Khorasan **616**
A.Koocheki and S. Khorramdel

The Effects of Tillage and N Application Rate on Soil Quality in Corn-Canola-Corn Rotation **629**
S.Sh. Moinoddini, A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati and A. Borzouei

Assessing the Comparative Advantage of Naked-Seeded Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) and Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Intercropping as Affected by Drought Stress **651**
Masumi1, R. Moradi, N. Pourghasemian and M. Naghizadeh

Study on Relationships among Bread Wheat Landraces from Geographical Origins throughout Iran under Supplemental Irrigation and Rain-Fed Conditions **667**
H. Hatamzadeh, S. Golkari, I. Bernousi, R. Mohammadi and S. Singh

Determining Indicators for Agritourism Development Potential Evaluation in Iran **686**
M. Zare, A. Mahdavi damghani, H. Mahmoudi, F. Aghamir and F. Asadian Ardakani

Evaluation of Quantitative and Qualitative of *Medicago scutellata* Affected by Sowing Date, Sowing Depth and Seeding Rate **703**
S. Sharafi and M. Ramroudi

Evaluation of Morphological Traits, Yield and Essential Oil Changes of Basil (*Ocimum basilicum* L.) under Influence of Organic Fertilizers **720**
Y. Nasiri

Application of Sulfur and Biofertilizers on Growth Indices, Radiation Absorption and Use Efficiency of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) **737**
J. Nabati, A. Nezami, A. Yousefi, E. Oskoueian and A. Oskoueian

Effects of Different Tillage Systems, Nitrogen Fertilizer Rates and Mycorrhiza Inoculation on some Soil Physical Properties and Yield of Mung Bean (*Vigna radiata* L.) **756**
B. Lotfi, A. Maleki, M. Mirzaeiheydari, M. Rostaminiya and F. Babaii

Journal of Agroecology (Quarterly)

Vol. 13 No. 4 Winter 2022

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

Dr. Mohammad Pessarakli, Research Professor, School of Plant Sciences, the University of Arizona

Dr. Surur Khorramdel, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Adel Dabagh Mohammadi Nasab, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

Dr. Mehdi Rastgoo, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Parviz Rezvani Moghaddam, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Ahmad Zare Fazabadi, Agricultural Research Institute of Khorasan Razavi

Prof. Saeed Zehtab Salmasi, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

Dr. Hamid Shahandeh Research Soil Scientist, Soil and Crop Sciences Department, Texas A & M University

Prof. Reza Ghorbani, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Alireza Koocheki, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Mohammad Galavi, Faculty of Agriculture, Zabol University

Prof. Mehdi Nassiri Mahallati, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

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. 13 No. 4

Winter 2022

Journal of Agroecology (Quarterly)

ISSN: 2008-7713

Contents

The Effects of Management Practices on Soil Physical and Chemical Properties of Esfahan groecosystems 591
M. Karimian Kelishadrokhi, A. Koocheki and M. Nassiri Mahallati

Evaluation of Soil Ecosystem Services and Carbon Balance for Different Agroecosystems in Khorasan 616
A.Koocheki and S. Khorramdel

The Effects of Tillage and N Application Rate on Soil Quality in Corn-Canola-Corn Rotation 629
S.Sh. Moinoddini, A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati and A.Borzouei

Assessing the Comparative Advantage of Naked-Seeded Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) and Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Intercropping as Affected by Drought Stress 651
Masumi1, R. Moradi, N. Pourghasemian and M. Naghizadeh

Study on Relationships among Bread Wheat Landraces from Geographical Origins throughout Iran under Supplemental Irrigation and Rain-Fed Conditions 667
H. Hatamzadeh, S. Golkari, I. Bernousi, R. Mohammadi and S. Singh

Determining Indicators for Agritourism Development Potential Evaluation in Iran 686
M. Zare, A. Mahdavi damghani, H. Mahmoudi, F. Aghamir and F. Asadian Ardakani

Evaluation of Quantitative and Qualitative of *Medicago scutellata* Affected by Sowing Date, Sowing Depth and Seeding Rate 703
S. Sharafi and M. Ramroudi

Evaluation of Morphological Traits, Yield and Essential Oil Changes of Basil (*Ocimum basilicum* L.) under Influence of Organic Fertilizers 720
Y. Nasiri

Application of Sulfur and Biofertilizers on Growth Indices, Radiation Absorption and Use Efficiency of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) 737
J. Nabati, A. Nezami, A. Yousefi, E. Oskoueian and A. Oskoueian

Effects of Different Tillage Systems, Nitrogen Fertilizer Rates and Mycorrhiza Inoculation on some Soil Physical Properties and Yield of Mung Bean (*Vigna radiata* L.) 756
B. Lotfi, A. Maleki, M. Mirzaeiheydari, M. Rostaminiya and F. Babaii