نشریه علمی

بوم شناسی کشاورزی (فصلنامه)

جلد ۱۴ شماره ۳

پاییز ۱۴۰۱

(شماره پیاپی ۵۳)

شاپا: ۲۰۰۸-۷۷۱۳

عنوان مقالات

ارزیابی تراکم، زیست‌توده و تنوع زیستی علف‌های هرز در کشت مخلوط ردیفی کاهو بیج (*Lactuca sativa* L. var. capitata) و گل عسلی (*Lobularia maritima* (L.) Desv.) ۳۸۱

محمد حسن هاتفی فرجان، علیرضا کوچکی و مهدی نصیری محلاتی

ارزیابی ردپای اکولوژیکی دانشجویان دانشگاه فردوسی مشهد ۴۰۱

علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی و مریم جوادی

بررسی عملکرد و اجزای عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و سطوح بقایا در شرایط آب و هوایی مشهد ۴۱۷

ال‌ناز ابراهیمیان، علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی، سرور خرم‌دل و علیرضا بهشتی

بررسی مؤلفه‌های انرژی و اثرات زیست‌محیطی در سامانه‌های مختلف زراعی تولید برنج (*Oryza sativa* L.) با استفاده از روش ارزیابی چرخه زندگی در مازندران ۴۳۱

زهرا صابر، محمدعلی اسماعیلی، همت‌اله پیردشتی، علی متولی و اشکان نیوی پله سرائی

ارزیابی کارآیی کودهای دامی در تولید گیاه دارویی آویشن دنایی (*Thymus daenensis* L.) ۴۵۱

عسگر قنبری عدیوی، سینا فلاح، زهرا لری گونینی و مجتبی کریمی

ارزیابی زراعی و اقتصادی نظام‌های کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare*) با دو گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) و سیر (*Allium sativum*) ۴۶۹

یاسر اسماعیلیان، مسعود عشقی‌زاده و ابوالفضل توسلی

اثر کود زیستی نیتروکسین بر برخی ویژگی‌های مورفو-فیزیولوژیکی اکوتیپ‌های سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) تحت تنش خشکی ۴۸۷

زهرا صیدی، نصرت‌اله عباسی، محمد جواد زارع و بتول زارعی

استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره در تعیین عوامل مؤثر بر کارآیی مصرف آب ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) در شرایط کاربرد هم‌زمان نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار ۵۱۱

محسن جهان، محمد بهزاد امیری، میلاد صالح‌آبادی، نگار ناصری و صدیقه عباسی

بررسی اثر قارچ مایکوریزا، ورمی‌کمپوست و هیومیک اسید بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و عملکردی گیاه ماریتیغال (*Silybum marianum*) ۵۳۳

فروزان نیک‌خواه تابینی، علیرضا لادن مقدم، پژمان مرادی، وحید عبدوسی و مهدی رضایی

بررسی ویژگی‌های مورفولوژیکی، عملکردی و فیتوشیمیایی گیاه دارویی پریلا ارغوانی (*Perilla frutescens* var. crispa) در سه مکان مختلف کشت ۵۵۱

معصومه عیدوزایی، ابوذر علیزاده، صمد نژاد ابراهیمی، امیر صحرارو، محمد حسین میرجلیلی و جواد هادیان

ارزیابی کاربرد بیوچار به‌همراه کودهای آلی و زیستی بر کمیت و کیفیت اسانس گیاه نعنا فلفلی (*Mentha piperita* L.) در کشاورزی اکولوژیک ۵۶۳

فائزه زعفریان، وحید اکبرپور، محمد کاوه و مریم حبیبی

مقایسه روش‌های زمین‌آمار و سنجش از دور در برآورد عملکرد دانه برنج (*Oryza sativa* L.) در استان گیلان ۵۸۱

پویا اعلایی بازگیایی، بهنام کامکار، ابراهیم امیری، حسین کاظمی و مجتبی رضایی

نشریه بوم شناسی کشاورزی (فصلنامه)
دانشگاه فردوسی مشهد

با شماره پروانه ۸۹/۲۲۵۱۵ مورخه ۸۹/۹/۲۸ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی
درجه علمی پژوهشی شماره ۸۹/۳/۱۱/۵۲۴۷۹ مورخه ۸۹/۹/۸ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

بر اساس مصوبه وزارت عتف از سال ۱۳۹۸ ، کلیه نشریات دارای درجه" علمی -پژوهشی "به نشریه" علمی "تغییر نام یافتند.

جلد ۱۴ شماره ۳ پاییز ۱۴۰۱

صاحب امتیاز و ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

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

اعضای هیئت تحریریه (به‌ترتیب حروف الفبا)

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

ارزیابی تراکم، زیست‌توده و تنوع زیستی علف‌های هرز در کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ (*Lactuca sativa* L. var. capitata) و گل عسلی (*Lobularia maritima* (L.) Desv.) ۳۸۱

محمد حسن هاتفی فرجیان، علیرضا کوچکی و مهدی نصیری محلاتی

ارزیابی ردپای اکولوژیکی دانشجویان دانشگاه فردوسی مشهد ۴۰۱

علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی و مریم جوادی

بررسی عملکرد و اجزای عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و سطوح بقایا در شرایط آب و هوایی مشهد ۴۱۷

ال‌ناز ابراهیمیان، علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی، سرور خرم‌دل و علیرضا بهشتی

بررسی مؤلفه‌های انرژی و اثرات زیست‌محیطی در سامانه‌های مختلف زراعی تولید برنج (*Oryza sativa* L.) با استفاده از روش ارزیابی چرخه زندگی در مازندران ۴۳۱

زهرا صابر، محمدعلی اسماعیلی، همت‌اله پیردشتی، علی متولی و اشکان نبوی پله سرائی

ارزیابی کارآیی کودهای دامی در تولید گیاه دارویی آویشن دنایی (*Thymus daenensis* L.) ۴۵۱

عسکر قنبری عدیوی، سینا فلاح، زهرا لری گوئینی و مجتبی کریمی

ارزیابی زراعی و اقتصادی نظام‌های کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare*) با دو گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) و سیر (*Allium sativum*) ۴۶۹

یاسر اسماعیلیان، مسعود عشقی‌زاده و ابوالفضل توسلی

اثر کود زیستی نیتروکسین بر برخی ویژگی‌های مورفو-فیزیولوژیکی اکوتیپ‌های سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) تحت تنش خشکی ۴۸۷

زهرا صیدی، نصرت‌اله عباسی، محمد جواد زارع و بتول زارعی

استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره در تعیین عوامل مؤثر بر کارآیی مصرف آب ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) در شرایط کاربرد هم‌زمان نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار ۵۱۱

محسن جهان، محمد بهزاد امیری، میلاد صالح‌آبادی، نگار ناصری و صدیقه عباسی

بررسی اثر قارچ مایکوریزا، ورمی‌کمپوست و هیومیک اسید بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و عملکردی گیاه ماریتیغال (*Silybum marianum*) ۵۳۳

فروزان نیک‌خواه نایینی، علیرضا لادن مقدم، پژمان مرادی، وحید عبدوسی و مهدی رضایی

بررسی ویژگی‌های مورفولوژیکی، عملکردی و فیتوشیمیایی گیاه دارویی پریلا ارغوانی (*Perilla frutescens* var. crispa) در سه مکان مختلف کشت ۵۵۱

معصومه عیدوزایی، ابوذر علیزاده، صمد نژاد ابراهیمی، امیر صحرارو، محمد حسین میرجلیلی و جواد هادیان

ارزیابی کاربرد بیوچار به‌همراه کودهای آلی و زیستی بر کمیت و کیفیت اسانس گیاه نعنا فلفلی (*Mentha piperita* L.) در کشاورزی اکولوژیک ۵۶۳

فائزه زعفریان، وحید اکبرپور، محمد کاوه و مریم حبیبی

مقایسه روش‌های زمین‌آمار و سنجش از دور در برآورد عملکرد دانه برنج (*Oryza sativa* L.) در استان گیلان ۵۸۱

پویا اعلایی بازکیایی، بهنام کامکار، ابراهیم امیری، حسین کاظمی و مجتبی رضایی

اسامی ارزیابان جلد ۱۴ شماره ۳ (پاییز ۱۴۰۱) نشریه بوم شناسی کشاورزی (به ترتیب الفبا)

دکتر مجید آقاعلیخانی	دانشگاه تربیت مدرس
دکتر محمدبهزاد امیری	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر مجید امینی	دانشگاه شاهد
دکتر امیربهزاد بذرگر	دانشگاه پیام نور– نیشابور
دکتر علیرضا پیرزاد	دانشگاه ارومیه
دکتر مژگان ثابت تیموری	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر محمدرضا جلال کمالی	موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه و اصلاح نهال و بذر
دکتر سید مهدی جوادزاده	دانشگاه آزاد اسلامی– ایرانشهر
دکتر سعید خاوری خراسانی	مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
دکتر سرور خرم دل	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر محمد خیرخواه	مجتمع آموزش عالی شیروان
دکتر مهدی راستگو	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر سید محمد سیدی	دانش آموخته دکتری دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر الهام عزیزی	دانشگاه پیام نور– سبزوار
دکتر مرتضی عظیم زاده	دانشگاه آزاد اسلامی– شیروان
دکتر محمدعلی غلامی سفیدکوهی	دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
دکتر حمید رضا فلاحی	دانشگاه بیرجند
دکتر حسن فیضی	دانشگاه تربت حیدریه
دکتر مسعود قدسی	دانشگاه لرستان
دکتر سجاد کردی	دانشگاه تبریز
دکتر هدا محمدی	دانش آموخته دکتری دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر روح اله مرادی	دانشگاه کرمان
دکتر سید یوسف موسوی طغانی	دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
دکتر عبدالمجید مهدوی دامغانی	دانشگاه شهید بهشتی
دکتر مهدی نصیری محلاتی	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 بهروه‌وری نهاده‌ها، جایگزینی عملیات و نهاده‌های بوم سازگار و در نهایت، مرحله تجدید ساختار بوم‌نظام را دربردارد. به نظر می‌رسد که پیمودن چنین راهی جز با تغییر نگرش‌ها و بازتعریف مفاهیم رایج در فرآیندی تدریجی میسر نخواهد بود.

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

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

با احترام، پرویز رضوانی مقدم

سردبیر نشریه بوم‌شناسی کشاورزی

به‌نام خدا

پذیرش مقاله برای چاپ در نشریه

مقدمه

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

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

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

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

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

راهنمای نحوه نگارش و تهیه مقالات

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

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

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

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

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

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

فهرست منابع:

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

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

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

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

مثال‌هایی از نحوه نوشتن فهرست منابع در ذیل آمده است:

۱- مجلات:

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

۲- کتاب تالیف شده:

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

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

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

۴- مقاله در نشریه برخط (On-line):

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

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

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

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

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

۷- رساله‌های تحصیلی:

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

۸- کنفرانس‌ها ی علمی:

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

۹- گزارش‌های علمی:

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

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

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

۱۰- نرم افزار های کامپیوتری:

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

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

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

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

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

صندوق پستی: ۱۱۶۳-۹۱۷۷۵

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

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

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

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

CC BY

Research Article
Vol. 14, No. 3, Fall 2022, p. 379-397

Evaluation of Density, Dry Weight, and Biodiversity of Weeds in Row Intercropping of Lettuce (*Lactuca sativa* var. capitata L.) and Alyssum (*Lobularia maritima* (L.) Desv.)

M.H. Hatefi Farajian[1], A. Koocheki[2*] and M. Nassiri Mahallati[2]

Received: 16-11-2016
Revised: 28-12-2016
Accepted: 01-01-2017
Available Online: 13-12-2022

How to cite this article:
Hatefi Farajian, M.H., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M., 2022. Evaluation of density, dry weight, and biodiversity of weeds in row intercropping of lettuce (*Lactuca sativa* var. capitata L.) and alyssum (*Lobularia maritima* (L.) Desv.). Journal of Agroecology 14(3): 379-397
DOI: 10.22067/jag.v1i1.60368

Introduction

Diversification through the use of intercropping systems is known to enhance stability. Intercropping can potentially reduce pests and weeds, increase system production and increase the exploitation of available environmental resources, compared to monocultures. Ronald and Charles (2012) stated that weeds biomass decreased in the intercropping of maize and squash due to squash ghosting on weeds. They also reported that the intercropping of pelargoniums (*Pelargonium sp.*) and mint (*Mentha arvensis* L.) decreased weed growth and biomass.

Materials and Methods

This experiment was conducted in the 2014-2015 growing season based on a randomized complete block design with three replications at the Agricultural Research Station, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. Experimental treatments were 1 row lettuce + 1 row alyssum (1:1), 2 row lettuce + 2 row alyssum (2:2), 3 row lettuce + 3 row alyssum (3:3), monocultures of lettuce and alyssum. Alyssum transplants were sown on 08/04/2015, and lettuce transplants were sown on 21/04/2015 in rows with a distance of 50 cm. During the growing season, the composition of weed species, together with weed density and dry matter, were measurd at 2 times in randomly sampled 0.6×0.6 m quadrates. Using the species frequency Margalef richness index and several diversity indices, including Shannon- Weiner and Simpson's index and species evenness, were calculated for each treatment.

Results and Discussion

At first and second sampling, the highest density of weeds was observed in 2 row Lettuce + 2 row alyssum (2:2) with 282.4 and 122.03 plants per square meter, respectively. The lowest density of weeds was observed through the first and the second sampling, respectively, in Lettuce monoculture with 111.11 plants per square meter and in 1 row lettuce + 1 row alyssum (1:1) with 41.66 plants per square meter, respectively. In the first sampling, the highest and lowest Shannon-Wiener diversity index were observed in 2 row lettuce + 2 row alyssum (2:2) and 3 row lettuce + 3 row alyssum (3:3) with 0.53 and 0.35, respectively. In the second sampling, highest and lowest Shannon-Wiener diversity index was observed, in 1 row lettuce + 1 row alyssum (1:1) and 2 row lettuce + 2 row alyssum (2:2) with 0.37 and 0.12, respectively. Also, in the first sampling, the highest and lowest Simpson's diversity index was observed, in 2 row lettuce + 2 row alyssum (2:2) and 3 row lettuce + 3 row alyssum (3:3) with 0.66 and 0.44, respectively. In the second sampling, the highest and lowest Simpson's diversity index was observed, in 2 row lettuce + 2 row alyssum (2:2) and alyssum monoculture with 0.46 and 0.05, respectively. In the first sampling, the highest and lowest Shannon-Wiener evenness index were observed, in 2 row lettuce + 2 row alyssum (2:2) and 3

1-M.Sc. of Agroecology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
* Corresponding author: akooch@um.ac.ir

row lettuce + 3 row alyssum (3:3) with 0.41 and 0.25, respectively. In the second sampling, the highest and lowest Shannon-Wiener evenness index were observed in lettuce monoculture and 2 row lettuce + 2 row alyssum (2:2) with 0.31 and 0.11, respectively. In the first sampling, the highest and lowest Margalef richness index were observed in lettuce monoculture and 3 row lettuce + 3 row alyssum (3:3) with 1.48 and 0.98, respectively. In the second sampling, the highest and lowest Margalef richness index in 1 row lettuce + 1 row alyssum (1:1) and alyssum monoculture with 1.63 and 0.53, respectively.

Conclusion

The results showed that the ecological characteristics of ecosystems, such as diversity and density of weeds, were affected by row intercropping patterns. In almost all cases except the Margalef species richness index, intercropping 2 row lettuce + 2 row alyssum was better compared to other patterns of cropping. It can be concluded that the most important advantage of intercropping is the stability of canopy structure in terms of weeds and crop population and therefore enhancing the competition ability of the crops.

Keywords: Planting pattern, Shannon-Weiner diversity index, Simpson’s diversity index, Margalef species richness index.

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

مقاله پژوهشی

ارزیابی تراکم، زیست‌توده و تنوع زیستی علف‌های هرز در کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ (*Lactuca sativa* L. var. capitata) و گل عسلی (*Lobularia maritima* (L.) Desv.)

محمد حسن هاتفی فرجیان[1]، علیرضا کوچکی[2*] و مهدی نصیری محلاتی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۲۶
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۱۰/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۲

هاتفی فرجیان، م.ح.، کوچکی ع.، و نصیری محلاتی، م.، ۱۴۰۱. ارزیابی تراکم، زیست‌توده و تنوع زیستی علف‌های هرز در کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ (*Lactuca sativa* L. var. capitata) و گل عسلی (*Lobularia maritima* (L.) Desv.). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۳): ۳۹۷-۳۷۹.

چکیده

به‌منظور بررسی اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی بر تراکم، زیست‌توده و تنوع زیستی علف‌های هرز، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۱۳۹۴- ۱۳۹۳ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل الگوهای کشت مخلوط ردیفی ۱ ردیف کاهو پیچ + ۱ ردیف گل عسلی (۱:۱)، ۲ ردیف کاهو پیچ + ۲ ردیف گل عسلی (۲:۲)، ۳ ردیف کاهو پیچ + ۳ ردیف گل عسلی (۳:۳) و کشت خالص دو گونه بود. نتایج نشان داد که اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی بر تمامی صفات مورد مطالعه در هر دو مرحله نمونه‌برداری معنی‌دار بود. بیشترین تراکم علف‌های هرز در الگوی کاشت ۲:۲ به‌ترتیب با ۲۸۲/۴ و ۱۲۲/۰۳ بوته در مترمربع در هر دو مرحله نمونه‌برداری مشاهده شد. در مرحله اول و دوم نمونه‌برداری، بیشترین زیست‌توده علف‌های هرز به‌ترتیب در الگوی کاشت ۱:۱ و ۲:۲ با ۵۸/۳۳ و ۶۲/۰۸ گرم در مترمربع مشاهده شد. همچنین، بیشترین مقدار شاخص تنوع شانون- وینر، در الگوی کاشت ۲:۲ و ۱:۱ به‌ترتیب با ۰/۵۳ و ۰/۳۷ در مرحله اول و دوم نمونه‌برداری مشاهده شد. بیشترین مقدار شاخص تنوع سیمپسون، در الگوی کاشت ۲:۲ به‌ترتیب با ۰/۶۶ و ۰/۴۶ در هر دو مرحله نمونه‌برداری مشاهده شد و در نهایت، بیشترین مقدار شاخص غنای گونه‌ای مارگالف، در الگوی کشت خالص کاهو پیچ و الگوی کشت مخلوط ردیفی ۱:۱ به‌ترتیب با ۱/۴۸ و ۱/۶۳ در مرحله اول و دوم نمونه‌برداری مشاهده شد. به‌طور کلی، الگوهای کشت مخلوط ردیفی ۱ ردیف کاهو پیچ + ۱ ردیف گل عسلی (۱:۱) و ۲ ردیف کاهو پیچ + ۲ ردیف گل عسلی (۲:۲)، بیشترین میزان را از نظر اکثر شاخص‌های تنوع، یکنواختی و غنای گونه‌ای مورد بررسی در این تحقیق دارا بودند.

واژه‌های کلیدی: الگوی کاشت، شاخص تنوع، غنای گونه‌ای، یکنواختی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: (Email: akooch@um.ac.ir

DOI: 10.22067/jag.v1i1.60368

مقدمه

با افزایش روزافزون جمعیت کشور و محدودبودن زمین‌های مناسب کاشت، استفاده از نظام کشت مخلوط برای تولید بیشتر، اهمیت ویژه‌ای یافته است. اخیراً با آشکارشدن معضلات کشاورزی تک‌کشتی از جمله آلودگی آب‌ها، خاک و همچنین کاهش توان تولید زمین‌های زراعی، ایجاد خطرات زیست‌محیطی و خسارت شدید جانبی بر زنجیره حیاتی در بوم‌نظام‌های زراعی و طبیعی و افزایش هزینه‌های تولید، توجه محققین بیش از پیش به حفظ ثبات و بهره‌وری نظام‌های تولید کشاورزی معطوف شده است (Bedoussac & Justes, 2010). یکی از راهکارهای افزایش ثبات، ایجاد تنوع از طریق به‌کارگیری نظام‌های چندکشتی است. در این رابطه، از کشت مخلوط به‌دلیل قابلیت کاهش معضل آفات و علف‌های هرز، به‌عنوان ابزاری سودمند جهت افزایش عملکرد یک یا تمام گونه‌های همراه و ارتقای بهره‌برداری از منابع زیست‌محیطی موجود، در مقایسه با بوم‌نظام‌های زراعی تک‌کشتی یاد شده است (Park et al., 2002).

کاهو پیچ (*Lactuca sativa* L. var. capitata) از خانواده Asteraceae، گیاهی یک‌ساله، علفی، خودگرده‌افشان و نیمه‌مقاوم نسبت به سرما است. برگ‌های ترد این نوع کاهو به‌خوبی یکدیگر را می‌پوشانند، به همین دلیل قابلیت حمل و نقل و نگهداری بالایی نسبت به سایر کاهوها دارد (Javanmardi, 2010). گل عسلی با نام علمی (*Lobularia maritima* (L.) Desv.) گیاهی است دارای ارقام یک‌ساله و چندساله از خانواده Brassicaceae که بومی جنوب اروپا، غرب آسیا و شمال آفریقا و به‌طور کلی، متعلق به مناطق مدیترانه‌ای با آب و هوای معتدل می‌باشد (Ghasemi Ghahsareh & Kafi, 2012). این گیاه دارای گل‌های معطر و بسیار زیبایی بوده و در مرحله گل‌دهی به‌صورت فرشی از گل، زمین را می‌پوشاند و از این جهت، گیاه زینتی محبوبی محسوب می‌شود. گل عسلی یکی از گونه‌هایی می‌باشد که اغلب در مدیریت زیستگاه به‌منظور مهار زیست‌شناختی حفاظتی مورد مطالعه قرار گرفته است (Fiedler et al., 2008). در آزمایشی به‌مدت بیش از ده سال، گل عسلی به‌عنوان گیاه جاذب حشرات مفید در مزارع کاهوی ارگانیک کالیفرنیا برای جلب حشرات پروازی بالغ (مگس‌های سیرفید) کشت شده است که از دانه گرده و شهد این گیاه تغذیه کرده‌اند (Bugg et al., 2008). در مطالعه‌ای مشاهده شد که کشت مخلوط کاهو با گل عسلی در کالیفرنیا تعداد لارو حشرات پروازی (که مهم‌ترین دشمنان طبیعی شته‌ها در کاهو هستند) را افزایش می‌دهد (Smith & Chaney, 2007; Smith et al., 2008).

علف‌های هرز از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید در کشت‌بوم‌های زراعی هستند. رقابت علف‌های هرز با گیاهان برای دستیابی به منابع تولید (نور، آب و مواد غذایی) منجر به کاهش علف‌های هرز در نظام‌های فشرده کشاورزی می‌شود (Legere et al., 2005). درحالی‌که در نظام‌های کشاورزی بوم‌شناختی، علف‌های هرز به‌عنوان بخشی از تولیدکنندگان اولیه مزارع شناخته می‌شوند که از کارکردهای بوم‌شناختی مهمی همچون چرخش مواد غذایی، حفاظت خاک و حمایت از سطوح بالاتر در زنجیره غذایی برخوردار هستند (Hyvonen & Huusela-Veistola, 2008). وجود تنوعی از علف‌های هرز در مزرعه می‌تواند از طریق تشدید رقابت بین گونه‌ها و جلوگیری از توزیع غالبیت بین چندین گونه، خود عاملی برای مهار علف‌های هرز باشد و بنابراین، تقاضا برای نهاده‌های بیرونی را کاهش دهد (Mohler & Liebman, 1987).

محققین بسیاری به نقش مثبت کشت مخلوط در کاهش خسارات علف‌های هرز اشاره کرده‌اند (Midya et al., 2005). توانایی کشت مخلوط برای رقابت با علف‌های هرز وابسته به عواملی نظیر ترکیب گیاهان زراعی، ارقام انتخابی، تراکم کشت، سهم هر یک از گیاهان زراعی در کشت مخلوط، ترتیب و فاصله قرارگرفتن آن‌ها از یکدیگر و حاصلخیزی و وضعیت رطوبتی خاک است (Moody & Shett, 1989). کور-هیلیو و همکاران (Corre-Hellou et al., 2011) با بررسی زیست‌توده و جمعیت علف هرز در کشت مخلوط نخود و جو گزارش کردند که زیست‌توده علف‌های هرز در تیمار کشت خالص نخود سه برابر بیشتر از مخلوط دو گونه و کشت خالص جو بود. آن‌ها اظهار داشتند که کشت مخلوط اثر به‌سزایی در سرکوب علف‌های هرز، حتی با کاربرد مقادیر کمتر جو در مخلوط، دارد. رونالد و چارلز (Ronald & Charles, 2012) عنوان کردند که در کشت مخلوط ذرت و کدو، با اضافه شدن بوته‌های کدو، به‌دلیل سایه‌اندازی کدو بر علف‌های هرز زیست‌توده علف‌های هرز کاهش یافت. بومان و همکاران (Baumann et al., 2001; Baumann, et al., 2000) اظهار داشتند که کشت مخلوط گیاهانی با قدرت رقابتی ضعیف نظیر تره‌فرنگی (*Allium porrum* L.) با کرفس (*Apium graveolens*

L.) برای ممانعت رشد و تولید بذر علف‌های هرز مفید است. نامبردگان مشاهده کردند که زیست‌توده و پتانسیل تولید بذر علف‌های هرز در کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی تره‌فرنگی کاهش یافت که دلیل این امر را افزایش جذب نور توسط تاج‌پوشش و در نتیجه، افزایش توان رقابتی مخلوط ذکر کردند. رائو (Rao, 2002) گزارش کرد که کشت مخلوط شمعدانی (*Pelargonium* sp.) و نعناع (*Mentha arvensis* L.) منجر به کاهش رشد و زیست‌توده علف‌های هرز شد. نتایج تحقیقی بر روی کشت مخلوط گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) و گل جعفری (*Tagetes erecta*)، نشان داد که در نمونه‌برداری اول، بیشترین تراکم علف‌های هرز در واحد سطح در تک‌کشتی گوجه‌فرنگی (به تعداد ۹۶/۷۸ بوته در مترمربع) و کشت مخلوط گوجه‌فرنگی و گل جعفری با نسبت ۱:۳ دارای کمترین تراکم علف هرز به تعداد ۶۲/۳۷ بوته در مترمربع بود. وزن خشک کل علف‌های هرز نیز در نمونه‌برداری اول کمتر از نمونه‌برداری دوم بود و در هر دو مرحله نمونه‌برداری، بیشترین وزن خشک کل علف‌های هرز در الگوی مخلوط با نسبت ۱:۳ مشاهده شد. همچنین کمترین مقادیر شاخص‌های تنوع شانون، مارگالف و سیمپسون علف‌های هرز در الگوی کشت مخلوط گوجه‌فرنگی و گل جعفری با نسبت ۱:۱ مشاهده شد (Koocheki et al., 2013). اسدی و همکاران (Asadi et al., 2014) در مطالعه تنوع علف‌های هرز در مخلوط سیر (*Allium sativum* L.) و اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) نشان دادند که در کلیه مراحل نمونه‌برداری، بیشترین شاخص‌های تنوع شانون- وینر و سیمپسون در الگوی تک‌کشتی اسفناج، تحت تیمار کودی ۱۰ تن در هکتار کود دامی به‌دست آمد. به‌طور کلی، در زمان بسته شدن پوشش کانوپی در بین الگوهای کشت مخلوط مورد بررسی، الگوی کشت ۴:۴ اسفناج و سیر در شرایط اعمال ۱۰ تن در هکتار کود دامی دارای کم‌ترین وزن خشک و تراکم علف‌های هرز در واحد سطح بود، امّا کم‌ترین میزان شاخص‌های تنوع شانون- وینر، مارگالوف و سیمپسون در الگوی کشت ۳:۳ در شرایط اعمال ۲۰ تن در هکتار کود دامی حاصل شد. بدین منظور، این مطالعه با هدف بررسی اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی بر تراکم، زیست‌توده و تنوع علف‌های هرز در شرایط آب و هوایی مشهد طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور مقایسه الگوهای کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی از نظر تراکم، زیست‌توده و تنوع علف‌های هرز، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد، با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۹۹/۲ متر از سطح دریا اجرا شد. خاک محل آزمایش دارای بافت سیلتی‌لومی بود. تیمارهای آزمایش شامل الگوهای کشت مخلوط ردیفی ۱ ردیف کاهو پیچ + ۱ ردیف گل عسلی (۱:۱)، ۲ ردیف کاهو پیچ + ۲ ردیف گل عسلی (۲:۲)، ۳ ردیف کاهو پیچ + ۳ ردیف گل عسلی (۳:۳)، کشت خالص کاهو پیچ و کشت خالص گل عسلی بود. ابتدا کرت‌هایی به ابعاد ۳/۵ در ۳ متر ایجاد و در داخل هر کرت ۶ ردیف برای کاشت در نظر گرفته شد. فاصله کرت‌ها از یکدیگر یک و فاصله بلوک‌ها از یکدیگر نیز یک متر بود. کاشت نشای گل عسلی در تاریخ ۲۰ فروردین ماه ۱۳۹۴ و نشای کاهو پیچ در تاریخ دوم اردیبهشت ماه ۱۳۹۴ به‌صورت نشاهای چهار برگی که از قبل آماده شده بودند، در زمین اصلی که قبلاً آبیاری شده بود، انجام شد. برای هر دو گیاه فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به‌فاصله هر پنج روز یک‌بار به‌روش نشتی تا آخر فصل رشد انجام گرفت. در زمان آماده‌سازی زمین و در طول فصل رشد هیچ‌گونه کود شیمیایی، زیستی، علف‌کش، آفت‌کش و قارچ‌کشی استفاده نگردید. عملیات وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی دو بار در طول فصل رشد انجام گرفت. لازم به ذکر است که قبل از هر مرحله وجین، نمونه‌گیری به‌جهت اندازه‌گیری تراکم و تنوع علف‌های هرز انجام شد. نمونه‌برداری از جمعیت علف‌های هرز با کوادراتی به ابعاد ۰/۶×۰/۶ مترمربع در دو مرحله قبل و بعد از بسته‌شدن کانوپی به‌ترتیب در هفته سوم اردیبهشت‌ماه و هفته چهارم خرداد ماه انجام گرفت. سپس علف‌های هرز هر کوادرات به تفکیک گونه شمارش شدند. سپس نمونه‌ها در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. تراکم نسبی گونه‌های علف هرز به‌صورت تراکم گونه نسبت به تراکم کل گونه‌ها محاسبه گردید. برای تعیین تنوع علف‌های هرز از شاخص تنوع شانون-وینر (معادله ۱)، شاخص تنوع سیمپسون (معادله

۲)، شاخص یکنواختی شانون- وینر (معادله ۳)، شاخص یکنواختی سیمپسون (معادله ۴) و شاخص غنای گونه‌ای مارگالف (معادله ۵) با استفاده از نرم‌افزار Ecological Methodology (Krebs, 1999) استفاده شد (Ejtehadi et al., 2009Gliessman, 1997 ;).

معادله (۱) $H'= -\Sigma(\frac{ni}{N}\times\ln\frac{ni}{N})$

معادله (۲) $1-D= 1-\frac{\sum ni(ni-1)}{N(N-1)}$

معادله (۳) $E=\frac{H'}{\ln(S)}$

معادله (۴) $\frac{1}{D}=\frac{1}{\frac{\sum ni(ni-1)}{N(N-1)}}$

معادله (۵) $M=\frac{S-1}{logN}$

در این معادله‌ها، H': شاخص تنوع شانون- وینر، ni: تعداد گونه افراد i ام، N: تعداد کل افراد، 1-D: شاخص تنوع سیمپسون، E: شاخص یکنواختی شانون- وینر، $\frac{1}{D}$: شاخص یکنواختی سیمپسون، M: شاخص غنای گونه‌ای مارگالف و S: تعداد گونه‌های موجود می‌باشد.

به‌منظور تجزیه واریانس داده‌ها از نرم‌افزار Minitab-17 و جهت مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. برای رسم شکل‌ها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

شناسایی علف‌های هرز

مجموعاً نه گونه علف هرز در هر دو مرحله نمونه‌برداری مشاهده شد که هفت گونه یک‌ساله و دو گونه چندساله بودند. گونه‌های هرز مشاهده شده متعلق به نه تیره مختلف بودند. بیشترین تعداد گونه با نه گونه در مرحله دوم نمونه‌برداری مشاهده شد. با گذشت زمان، حضور گونه‌های هرز چندساله در مزرعه افزایش یافت. در میان گونه‌های مشاهده شده، شش گونه هرز توق (*Xanthium strumarium* L.)، سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.)، تاتوره (*Datura stramonium* L.)، علف هفت‌بند (*Polygonium aviculare* L.)، پیچک صحرایی (*Convolvulus arvensis* L.) و پنیرک (*Malva sylvestris* L.) دارای مسیر فتوسنتزی سه کربنه و پهن‌برگ، گونه هرز تاج‌خروس ایستاده (*Amaranthus retroflexus* L.) دارای مسیر فتوسنتزی چهارکربنه و پهن‌برگ، گونه هرز قیاق (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) دارای مسیر فتوسنتزی چهارکربنه و باریک‌برگ و گونه هرز خرفه (*Portulaca oleracea* L.) دارای مسیر فتوسنتزی CAM و پهن‌برگ بودند. چهار گونه توق، تاج‌خروس ایستاده، سلمه‌تره و قیاق در هر دو مرحله نمونه‌برداری حضور داشتند، درحالی‌که سایر گونه‌ها به‌صورت موقت و تنها در مرحله دوم نمونه-برداری مشاهده شدند (جدول ۱).

نتایج پژوهشی بر روی کشت مخلوط گوجه‌فرنگی و گل جعفری نشان داد که، در مجموع، در کرت‌های آزمایشی مورد بررسی ۱۲ گونه علف‌هرز مشاهده شد که بیشترشان پهن‌برگ و یک‌ساله بودند. در بین علف‌های هرز مورد بررسی، شش گونه با مسیر فتوسنتزی سه‌کربنه و چهار گونه با مسیر فتوسنتزی چهارکربنه شناسایی شد (Koocheki et al., 2013).

اثر کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ با گل عسلی بر تراکم نسبی علف‌های هرز

تراکم نسبی گونه‌های علف هرز مشاهده شده در نسبت‌های کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی در دو مرحله نمونه‌برداری در جدول ۲ نشان داده شده است.

بیشترین دامنه تراکم نسبی علف‌های هرز در مرحله اول نمونه-برداری، برای قیاق (۶۸/۶۶-۴۲ درصد) و در مرحله دوم نمونه‌برداری برای تاج‌خروس ایستاده (۱۵/۳۳-۲/۳۳ درصد) به‌دست آمد. کم‌ترین دامنه تراکم نسبی نیز در مرحله اول برای سلمه‌تره (۱۳/۳۳-۶/۶۶ درصد) مشاهده شد و همچنین کم‌ترین دامنه تراکم نسبی در مرحله دوم برای توق (۲/۶۶-۱/۳۳ درصد) به‌دست آمد (جدول ۲). در مقایسه بین تیمارهای کشت خالص کاهو پیچ و گل عسلی مشاهده شد که غنای علف‌های هرز در این تیمارها در مرحله اول نمونه‌برداری مشابه هم و برابر با چهار گونه بود، درحالی‌که تعداد گونه‌ها در نمونه-برداری دوم به‌ترتیب به هفت و چهار رسید. در مرحله اول، قیاق با ۶۸/۶۶ درصد بیشترین و توق با ۲/۶۶ درصد کم‌ترین گونه و در مرحله دوم، قیاق با ۸۵ درصد بیشترین و خرفه با ۰/۲ درصد کم‌ترین گونه مشاهده شده در مزرعه بودند. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2012) در بررسی کشت مخلوط ردیفی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) و گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) مشاهده کردند که در مراحل اول، دوم و سوم نمونه‌برداری سلمه تره بیشترین فراوانی نسبی را در مقایسه با سایر گونه‌ها نشان داد.

جدول ۱- نام علمی و گروه‌های کارکردی علف‌های هرز مشاهده شده در الگوهای کشت مخلوط ردیفی و کشت خالص کاهو پیچ و گل عسلی در مراحل مختلف نمونه‌برداری

Table 1- Scientific name and Functional groups of weeds observed in row intercropping patterns and monoculture of lettuce and alyssum in different sampling dates

نام فارسی گونه Persian name of the species	نام علمی گونه The scientific name of the species	خانواده Family	شکل رویشی Life form	مسیر فتوسنتزی Photosynthetic direction	چرخه رویشی Life cycle
مرحله اول نمونه‌برداری The first sampling date					
توق Common cocklebur	*Xanthium strumarium* L.	Asteraceae	پهن‌برگ Broad leaves	C_3	یک‌ساله Annual
تاج‌خروس ایستاده Red-root amaranth	*Amaranthus retroflexus* L.	Amaranthaceae	پهن‌برگ Broad leaves	C_4	یک‌ساله Annual
سلمه‌تره Lamb's quarters	*Chenopodium album L.*	Chenopodiaceae	پهن‌برگ Broad leaves	C_3	یک‌ساله Annual
قیاق Johnson grass	*Sorghum halepense* (L.) Pers.	Poaceae	باریک‌برگ Grasses	C_4	چندساله Perennial
مرحله دوم نمونه‌برداری The second sampling date					
توق Common cocklebur	*Xanthium strumarium* L.	Asteraceae	پهن‌برگ Broad leaves	C_3	یک‌ساله Annual
تاج‌خروس ایستاده Red-root amaranth	*Amaranthus retroflexus* L.	Amaranthaceae	پهن‌برگ Broad leaves	C_4	یک‌ساله Annual
سلمه‌تره Lamb's quarters	*Chenopodium album L.*	Chenopodiaceae	پهن‌برگ Broad leaves	C_3	یک‌ساله Annual
قیاق Johnson grass	*Sorghum halepense* (L.) Pers.	Poaceae	باریک‌برگ Grasses	C_4	چندساله Perennial
پیچک صحرایی Field bindweed	*Convolvulus arvensis* L.	Convulvulaceae	پهن‌برگ Broad leaves	C_3	چندساله Perennial
خرفه Common purslane	*Portulaca oleracea* L.	Portulacaceae	پهن‌برگ Broad leaves	CAM	یک‌ساله Annual
تاتوره Jimson weed	*Datura stramonium* L.	Solanaceae	پهن‌برگ Broad leaves	C_3	یک‌ساله Annual
علف هفت‌بند Common knotgrass	*Polygonum aviculare* L.	Polygonaceae	پهن‌برگ Broad leaves	C_3	یک‌ساله Annual
پنیرک Common mallow	*Malva sylvestris* L.	Malvaceae	پهن‌برگ Broad leaves	C_3	چندساله Perennial

جدول ۲- تراکم نسبی (درصد) گونه‌های علف هرز در الگوهای کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی در مراحل مختلف نمونه‌برداری

Table 2- Weeds relative density (%) in row intercropping patterns of Lettuce and Alyssum in different sampling dates

الگوهای کشت مخلوط ردیفی Row intercropping patterns					
کاهو پیچ Lettuce	1	2	3	100	0
گل عسلی Alyssum	1	2	3	0	100
نام علمی گونه The scientific name of the species	**مرحله اول نمونه‌برداری The first sampling date**				
Xanthium strumarium L.	5.66	18.66	2.66	11.33	6.66
Amaranthus retroflexus L.	19.33	29.66	19.66	33.66	16.66
Chenopodium album L.	13.33	8.33	7.66	11.66	6.66
Sorghum halepense (L.) Pers.	59.66	42	68.66	42.66	68.66
	مرحله دوم نمونه‌برداری The second sampling date				
Xanthium strumarium L.	1.66	1.33	-	2.66	1.33
Amaranthus retroflexus L.	8.33	15.33	8.33	2.33	11.33
Chenopodium album L.	4.66	0.66	1.33	2.33	-
Sorghum halepense (L.) Pers.	73.33	75.66	82.33	80.66	85
Convolvulus arvensis L.	3.66	5.53	2.33	1	1
Portulaca oleracea L.	1.66	0.2	3.33	0.66	-
Datura stramonium L.	3.66	-	0.66	8	-
Polygonum aviculare L.	1.66	-	-	-	-
Malva sylvestris L.	1.66	-	-	-	-

در مرحله چهارم، خرفه فراوان‌ترین گونه در مقایسه با سایر گونه-های علف هرز بود. نتایج پژوهشی بر روی کشت مخلوط اسفناج و سیر نشان داد که در اغلب تیمارهای مورد بررسی اعم از انواع الگوهای کشت مورد مطالعه و سطوح مختلف کود دامی، شاه‌تره (*Fumaria officinalis* L.) به‌عنوان علف هرز غالب مشاهده شد. به‌طور کلی، بیشترین تراکم و وزن خشک نسبی علف‌های هرز نیز در شرایط عدم اعمال کود دامی حاصل شد (Asadi et al., 2014). آزمایشی نشان داد که بیشترین دامنه فراوانی نسبی علف‌های هرز در مراحل اول، دوم و سوم نمونه‌برداری به‌ترتیب برای سلمه‌تره، دانارک و تلخه مشاهده شد. کم‌ترین دامنه فراوانی نسبی در مرحله اول مربوط به دلفینیوم و شاهتره بود. پایین‌ترین دامنه فراوانی نسبی در مراحل دوم و سوم به‌ترتیب برای گونه‌های سوروف (*Echinochloa crus-galli* L.) و ازمک (*Lepidium draba* L.) به‌دست آمد (Khorramdel et al., 2014).

اثر کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ با گل عسلی بر تراکم علف‌های هرز

نتایج تجزیه واریانس اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی بر تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز در جدول ۳ نشان داده شده است.

اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی بر تراکم علف‌های هرز در مراحل مختلف نمونه‌برداری معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود (جدول ۳). در هر دو مرحله نمونه‌برداری، بیشترین تراکم علف‌های هرز در الگوی ۲ ردیف کاهو پیچ + ۲ ردیف گل عسلی (۲:۲) به‌ترتیب با ۲۸۲/۴ و ۱۲۲/۰۳ بوته در مترمربع مشاهده شد. همچنین، کم‌ترین تراکم علف‌های هرز در مرحله اول و دوم نمونه‌برداری به‌ترتیب در کشت خالص کاهو پیچ با ۱۱۱/۱۱ بوته در مترمربع و الگوی کشت مخلوط ردیفی ۱ ردیف کاهو پیچ + ۱ ردیف گل عسلی (۱:۱) با ۴۱/۶۶ بوته در مترمربع مشاهده شد (شکل ۱).

در مرحله اول نمونه‌برداری، دلیل پایین‌بودن تراکم علف‌های هرز در کشت خالص کاهو پیچ، تراکم و سطح برگ بالاتر و پوشش کامل-تر این گیاه بر روی سطح زمین نسبت به کشت مخلوط با گل عسلی بوده و همین امر نفوذ نور به درون کانوپی را کاهش داده و از رشد علف‌های هرز جلوگیری کرده است در نتیجه، کاهو پیچ برای جذب حداکثری منابع نسبت‌به علف‌های هرز برتری رقابتی داشته است. همچنین در الگوی کشت مخلوط ردیفی ۲ ردیف کاهو پیچ + ۲ ردیف

گل عسلی (۲:۲)، با توجه به این که تعداد ردیف گل عسلی در این الگوی کاشت بیشتر از کاهو پیچ بود و همچنین به‌دلیل این که گل عسلی پوشش کاملی بر روی سطح زمین ایجاد نکرده بود، علف‌های هرز رشد بیشتری داشته و تراکم علف‌های هرز در این نسبت کاشت افزایش پیدا کرده است. در مرحله دوم نمونه‌برداری، علت اصلی کاهش تراکم علف‌های هرز در الگوی کشت مخلوط ردیفی ۱ ردیف کاهو پیچ + ۱ ردیف گل عسلی (۱:۱) این است که در این نسبت کاشت، در کنار هر ردیف گل عسلی، یک ردیف کاهو پیچ قرار گرفته که خود باعث پوشش کامل‌تر فاصله بین ردیف توسط کاهو پیچ نسبت به الگوی کشت مخلوط ردیفی ۲ ردیف کاهو پیچ + ۲ ردیف گل عسلی (۲:۲) شده و در نتیجه، تراکم علف‌های هرز کاهش پیدا کرد. درصورتی‌که در الگوی کشت مخلوط ردیفی ۲ ردیف کاهو پیچ + ۲ ردیف گل عسلی (۲:۲)، تعداد ردیف کاهو پیچ نسبت به گل عسلی کمتر بوده و به‌دلیل عدم پوشش کامل سطح زمین توسط گل عسلی، تراکم علف‌های هرز در این الگوی کاشت بالاتر بود. به‌طور کلی، تراکم بیشتر علف‌های هرز در کشت مخلوط، به‌معنی تسخیر منابع به‌وسیله این گونه‌ها و در نتیجه، بروز محدودیت برای گیاهان زراعی خواهد بود (Koocheki & Khajeh Hosseini, 2008). رضازاده (Rezazadeh, 2016) در مطالعه کشت مخلوط ارقام گوجه‌فرنگی و شنبلیله نشان داد که در نمونه‌برداری اول، تیمار ۵۰٪ شنبلیله + گوجه‌فرنگی ۱۱۱ فلات و ۵۰٪ شنبلیله + گوجه‌فرنگی کارون فلات به‌ترتیب با ۱۴/۸۴ و ۶۶/۳۰ گونه در مترمربع کم‌ترین و بیشترین تعداد گونه علف‌هرز و در نمونه‌برداری دوم، ۱۵۰٪ شنبلیله + گوجه‌فرنگی ۱۱۱ فلات و ۱۰۰٪ شنبلیله + گوجه‌فرنگی کارون فلات به‌ترتیب با ۱۶/۴۱ و ۵۳/۶۴ گونه در مترمربع کم‌ترین و بیشترین تعداد گونه علف‌هرز را به‌خود اختصاص دادند. بر اساس نتایج تحقیق انجام شده بر روی کشت مخلوط ماش و کنجد، بیشترین تراکم علف‌های هرز باریک‌برگ و پهن‌برگ به‌ترتیب در الگوی کشت مخلوط ۵۰٪ ماش + ۵۰٪ کنجد و فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر و الگوی کشت مخلوط ۷۵٪ ماش + ۲۵٪ کنجد و فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و کم‌ترین تراکم علف‌های هرز باریک‌برگ و پهن‌برگ به‌ترتیب در کشت خالص ماش و فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و کشت خالص ماش در هر دو فاصله بین ردیف ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر به‌دست آمد (Rastgoo et al., 2013). همچنین مجنون‌حسینی و کلار (Majnoon Hosseini & Colar, 1988) در بررسی اثر سیستم کشت مخلوط لپه هندی (*Ceci neri* L.)– ماش مشاهده نمودند که کاشت یک ردیف ماش در بین خطوط لپه هندی باعث خفه‌شدن علف‌های هرز گردید. آن‌ها همچنین با کاشت دو ردیف ماش بین خطوط لپه هندی به این نتیجه رسیدند که کنترل علف‌های هرز به‌نحو مؤثرتری انجام می‌گیرد.

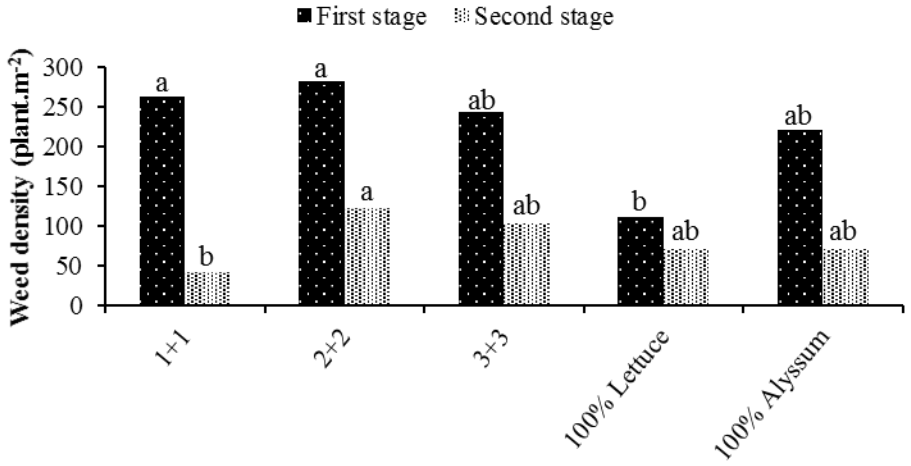
جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی بر تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز در مراحل مختلف نمونه‌برداری

Table 3- Variance analysis (mean of squares) of effect of row intercropping patterns of lettuce and alyssum on weeds density and dry weight in different sampling dates

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	مرحله اول نمونه‌برداری The first sampling date		مرحله دوم نمونه‌برداری The second sampling date	
		تراکم علف‌های هرز Weeds density	وزن خشک علف‌های هرز Weeds dry weight	تراکم علف‌های هرز Weeds density	وزن خشک علف‌های هرز Weeds dry weight
تکرار Replication	2	10887^{ns}	608.8^{ns}	1174.2^{ns}	543.6^{ns}
تیمار Treatment	4	13548^{*}	732.1^{*}	2957.8^{*}	901.7^{**}
خطا Error	8	2213	181.5	600.2	154.4
ضریب تغییرات CV (%)		20.99	30.07	29.95	39.54

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

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



شکل ۱- اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی بر تراکم علف‌های هرز در مراحل مختلف نمونه‌برداری

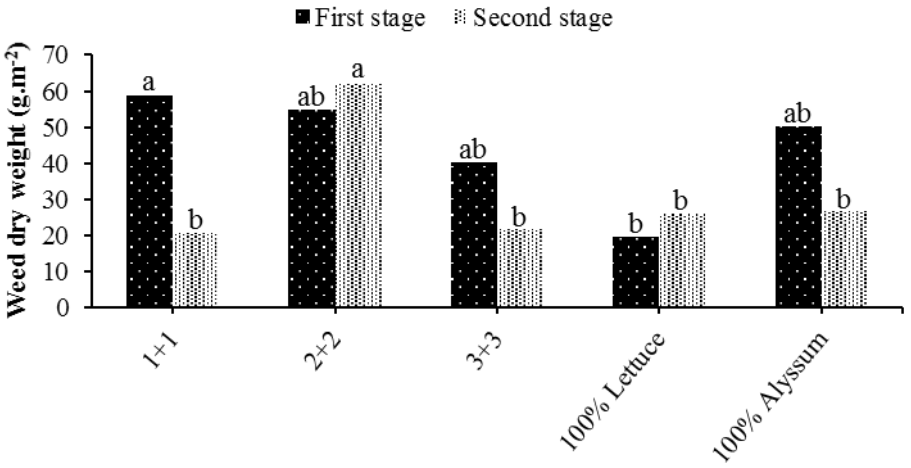
Fig. 1- Effect of row intercropping patterns of lettuce and alyssum on weeds density in different sampling dates

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with the same letter(s) have no significant difference at 5% probability level, according to Tukey Test.

اثر کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ با گل عسلی بر زیست-توده علف‌های هرز

اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی بر زیست‌توده علف‌های هرز در مراحل مختلف نمونه‌برداری معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود (جدول ۳). در مرحله اول نمونه‌برداری، بیشترین و کم-ترین زیست‌توده علف‌های هرز در الگوی کشت مخلوط ردیفی ۱ ردیف کاهو پیچ + ۱ ردیف گل عسلی (۱:۱) و کشت خالص کاهو پیچ به‌ترتیب با ۵۸/۳۳ و ۱۹/۷۵ گرم در مترمربع مشاهده شد. همچنین، در مرحله دوم نمونه‌برداری، بیشترین و کم‌ترین زیست‌توده علف‌های هرز، در الگوی کشت مخلوط ردیفی ۲ ردیف کاهو پیچ + ۲ ردیف گل عسلی (۲:۲) و الگوی کشت مخلوط ردیفی ۱ ردیف کاهو پیچ + ۱ ردیف گل عسلی (۱:۱) به‌ترتیب با ۶۲/۰۸ و ۲۰/۶۸ گرم در مترمربع مشاهده شد (شکل ۲).



شکل ۲- اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی بر زیست‌توده علف‌های هرز در مراحل مختلف نمونه‌برداری

Fig. 2- Effect of row intercropping patterns of lettuce and alyssum on weeds dry weight in different sampling dates

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with the same letter(s) have no significant difference at 5% probability level, according to Tukey Test.

در مرحله اول نمونه‌برداری، در کشت خالص کاهو پیچ، به‌دلیل تراکم بوته بالاتر، سطح برگ بیشتر، پوشش بیشتر کانوپی این گیاه بر روی پشته‌ها و پرکردن فاصله بین ردیف، تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز در مقایسه با الگوهای کشت مخلوط پایین‌تر بود. همچنین در الگوی کشت مخلوط ردیفی ۱ ردیف کاهو پیچ + ۱ ردیف گل عسلی (۱:۱)، به‌دلیل این که ۵۰٪ کرت‌ها توسط گل عسلی اشغال شده بود و نیز در ابتدای فصل به‌دلیل پایین‌بودن سطح برگ و فضای کمی که هر دو گیاه اشغال می‌کنند، زیست‌توده علف‌های هرز بالاتر بود. در مرحله دوم نمونه‌برداری، در الگوی کشت مخلوط ردیفی ۱ ردیف کاهو پیچ + ۱ ردیف گل عسلی (۱:۱)، با وجود این که این الگوی کاشت در مرحله اول از زیست‌توده بالاتری نسبت به بقیه الگوهای کاشت برخوردار بود، ولی با گذر زمان و در نمونه‌برداری دوم با توجه به این که کانوپی هر دو گیاه بسته شده بود و نفوذ نور نیز به درون کانوپی کمتر شده بود و همچنین این الگوی کاشت در مرحله دوم از تراکم علف‌هرز پایین‌تری نیز برخوردار بود، زیست‌توده کم‌تری در مقایسه با سایر الگوهای کشت داشت. الگوی کشت مخلوط ردیفی ۲ ردیف گل عسلی + ۲ ردیف کاهو پیچ (۲:۲) به‌دلیل وجود تعداد ردیف بیشتر گل عسلی که در مقایسه با کاهو پیچ از سطح برگ و سطح کانوپی کم‌تری نیز برخوردار است، نتوانست فضاهای خالی بین ردیف‌ها را به‌طور کامل پر کند و در نتیجه، نفوذ نور به درون کانوپی بیشتر و رقابت بر سر منابع محیطی بین گیاه و علف‌های هرز بالاتر رفت و باعث افزایش تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز شد. بر اساس نتایج تحقیقی بر روی کشت مخلوط ماش (*Vigna radiata* L.) و کنجد (*Sesamum indicum* L.)، بیشترین زیست‌توده علف‌های هرز باریک‌برگ و پهن‌برگ به‌ترتیب در الگوی کشت مخلوط ۲۵٪ ماش + ۷۵٪ کنجد و فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر و الگوی کشت مخلوط ۷۵٪ ماش + ۲۵٪ کنجد و فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر و کم‌ترین تراکم علف‌های هرز باریک‌برگ و پهن‌برگ در کشت خالص ماش و فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر به‌دست آمد (Rastgoo et al., 2013). نتایج پژوهشی نشان داد که کشت خالص لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) و کشت خالص ریحان (*Ocimum basilicum* L.) در شرایط عدم کنترل علف‌های هرز با مصرف کود نیتروژن در سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب کم‌ترین و بیشترین تعداد و زیست‌توده علف‌های هرز را نسبت به تیمارهای کشت مخلوط افزایشی داشتند. در واقع، در کشت خالص ریحان به‌دلیل رشد آهسته این گیاه در اوایل فصل رشد و عدم هم‌پوشانی در بین ردیف‌های کاشت، آشیان‌های بیشتری در اختیار علف‌های هرز قرار گرفت و در نتیجه، تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز افزایش یافت (Abadian et al., 2014). بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین وزن خشک علف‌های هرز در کشت خالص لوبیا (۷۱/۲۹ گرم در مترمربع) و کم‌ترین وزن خشک علف‌های هرز (۱۰/۲۴ گرم در مترمربع) در نسبت کشت مخلوط ۱۰۰٪ زنیان + ۵۰٪ لوبیا مشاهده شد (Khorramdel et al., 2014). گزارش شده است که در کشت مخلوط افزایشی لوبیا چشم بلبلی با سورگوم (*Sorghum bicolor*)، تعداد و تراکم علف‌های هرز نسبت به کشت خالص به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Sanjani et al., 2009). آجینهو و همکاران (Agegnehu et al., 2006) گزارش کردند که با افزایش ۱۲/۵ تا ۶۲/۵ درصد باقلا (*Vicia faba* L.) در مخلوط با جو (*Hordeum vulgare* L.)، زیست‌توده علف‌های هرز از یک روند کاهشی برخوردار بود و کم‌ترین زیست‌توده علف‌های هرز مربوط به تیمار جو به‌علاوه ۶۲/۵ درصد از تراکم مطلوب باقلا بود.

اثر کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ با گل عسلی بر تنوع علف‌های هرز

شاخص تنوع شانون- وینر و سیمپسون

اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی بر شاخص تنوع شانون- وینر و شاخص تنوع سیمپسون در مراحل مختلف نمونه‌برداری معنی‌دار ($p\leq ۰/۰۵$) بود (جدول ۴).

در مرحله اول نمونه‌برداری، بیشترین و کم‌ترین مقدار شاخص تنوع شانون- وینر، در الگوی کشت مخلوط ردیفی ۲ ردیف کاهو پیچ + ۲ ردیف گل عسلی (۲:۲) و الگوی کشت مخلوط ردیفی ۳ ردیف کاهو پیچ + ۳ ردیف گل عسلی (۳:۳) به‌ترتیب با ۰/۵۳ و ۰/۳۵ مشاهده شد (شکل ۳).

در الگوهای کشت مخلوط ردیفی با افزایش درصد حضور کاهو پیچ (الگوی کشت مخلوط ردیفی ۱ ردیف کاهو پیچ + ۱ ردیف گل عسلی) و همچنین با متراکم‌تر کشت شدن این گیاه (سه ردیف کنار هم در الگوی کشت مخلوط ردیفی ۳ ردیف کاهو پیچ + ۳ ردیف گل عسلی (۳:۳)، از میزان شاخص تنوع شانون- وینر در این الگوهای کاشت کاسته شد.

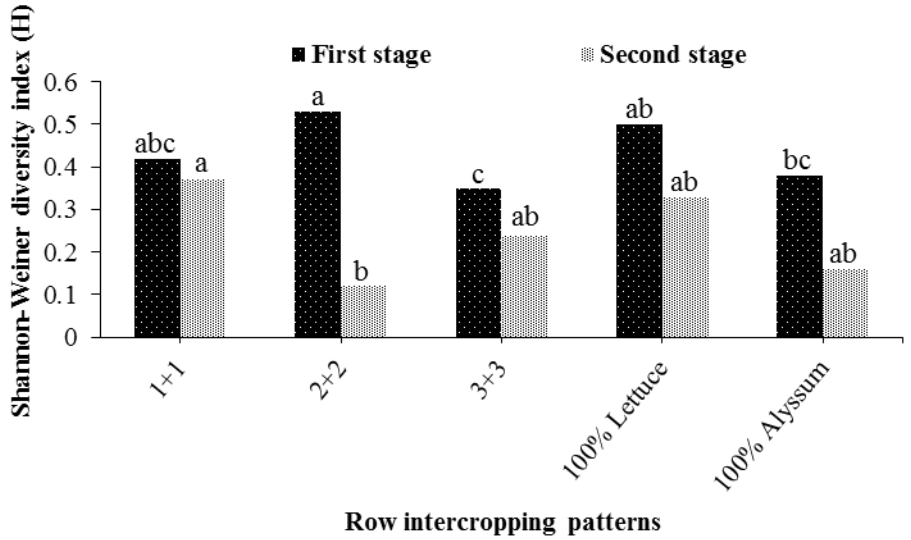
جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی بر شاخص تنوع شانون- وینر و شاخص تنوع سیمپسون علف‌های هرز در مراحل مختلف نمونه‌برداری

Table 4- Variance analysis (mean of squares) of effect of row intercropping patterns of lettuce and alyssum on weeds Shannon-Weiner diversity index and Simpson's diversity index in different sampling dates

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	مرحله اول نمونه‌برداری The first sampling date		مرحله دوم نمونه‌برداری The second sampling date	
		شاخص تنوع شانون- وینر Shannon-Weiner diversity index	شاخص تنوع سیمپسون Simpson's diversity index	شاخص تنوع شانون- وینر Shannon-Weiner diversity index	شاخص تنوع سیمپسون Simpson's diversity index
تکرار Replication	2	0.005^{ns}	0.008^{ns}	0.04^{ns}	0.002^{ns}
تیمار Treatment	4	0.01^{**}	0.02^{**}	0.03^{*}	0.07^{*}
خطا Error	8	0.002	0.003	0.007	0.02
ضریب تغییرات CV (%)		10.87	10.76	35.28	45.55

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

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



شکل ۳- اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی بر شاخص تنوع شانون- وینر علف‌های هرز در مراحل مختلف نمونه‌برداری

Fig. 3- Effect of row intercropping patterns of lettuce and alyssum on weeds Shannon-Weiner diversity index in different sampling dates

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

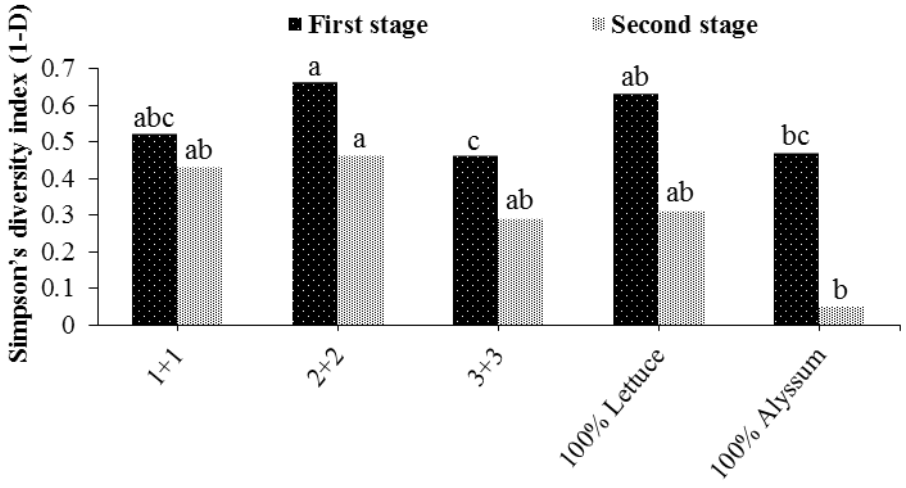
Means with the same letter(s) have no significant difference at 5% probability level, according to Tukey Test.

دلیل این امر را می‌توان به سطح برگ بیشتر کاهو پیچ و درصد فضای بیشتری که بر روی زمین اشغال می‌کند و همچنین تراکم پایین‌تر علف‌های هرز در الگوهای کشت مخلوط ردیفی ۱ ردیف کاهو پیچ + ۱ ردیف گل عسلی (۱:۱) و ۳ ردیف کاهو پیچ + ۳ ردیف گل عسلی (۳:۳) نسبت داد.

در مرحله دوم نمونه‌برداری، بیشترین و کم‌ترین مقدار شاخص تنوع شانون- وینر، در الگوی کشت مخلوط ردیفی ۱ ردیف کاهو پیچ + ۱ ردیف گل عسلی (۱:۱) و الگوی کشت مخلوط ردیفی ۲ ردیف کاهو پیچ + ۲ ردیف گل عسلی (۲:۲) به‌ترتیب با ۰/۳۷ و ۰/۱۲ مشاهده شد (شکل ۳). با توجه به این‌که تراکم علف‌های هرز در

الگوهای کشت مخلوط ردیفی در هر دو مرحله نمونه‌برداری بالاتر از الگوهای کشت خالص بود، مقدار شاخص تنوع شانون- وینر نیز در این الگوهای کشت بالاتر از کشت خالص بود. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2013) با ارزیابی تنوع علف‌های هرز در الگوی کشت مخلوط ارزن دم روباهی (*Setaria italica* L.) و لوبیا نشان دادند که در هر دو نمونه‌برداری قبل و بعد از بسته‌شدن پوشش گیاهی، شاخص تنوع شانون- وینر به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارها قرار گرفتند. نام‌بردگان اظهار داشتند که کم‌ترین مقدار شاخص شانون- وینر در الگوی کشت مخلوط لوبیا و ارزن مشاهده شد. در پژوهشی، کم‌ترین میزان شاخص تنوع شانون- وینر در الگوی کشت ۳:۳ سیر و اسفناج در شرایط اعمال ۲۰ تن در هکتار کود دامی حاصل شد (Asadi et al., 2014). بلکشا و همکاران (Blackshow et al., 1998) دریافتند که روش‌های مختلف مدیریت زراعی، تراکم و تنوع علف‌های هرز را تحت تأثیر قرار داد.

اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی بر شاخص تنوع سیمپسون علف‌های هرز در مراحل مختلف نمونه‌برداری معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۵$) بود (جدول ۴). در مرحله اول نمونه‌برداری، بیشترین و کم‌ترین مقدار شاخص تنوع سیمپسون، در الگوی کشت مخلوط ردیفی ۲ ردیف کاهو پیچ + ۲ ردیف گل عسلی (۲:۲) و الگوی کشت مخلوط ردیفی ۳ ردیف کاهو پیچ + ۳ ردیف گل عسلی (۳:۳) به‌ترتیب با ۰/۶۶ و ۰/۴۶ مشاهده شد (شکل ۴).



شکل ٤- اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی بر شاخص تنوع سیمپسون علف‌های هرز در مراحل مختلف نمونه‌برداری

Fig. 4- Effect of row intercropping patterns of lettuce and alyssum on weeds Simpson's diversity index in different sampling dates

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with the same letter(s) have no significant difference at 5% probability level, according to Tukey Test.

همان‌طور که در رابطه با شاخص تنوع شانون- وینر عنوان شد، دلیل اصلی افزایش شاخص تنوع سیمپسون در الگوی کشت مخلوط ردیفی ۲ ردیف کاهو پیچ + ۲ ردیف گل عسلی (۲:۲) نیز افزایش تراکم علف‌های هرز به‌دلیل کم‌تر بودن درصد حضور کاهو پیچ به‌عنوان گیاهی که فضاهای خالی موجود بر روی زمین را به نسبت گل عسلی بیشتر می‌پوشاند، بوده است که به‌تبع آن افزایش تنوع در این الگوی کاشت منجر شده است. در پژوهشی، کم‌ترین مقدار شاخص تنوع سیمپسون در الگوی کشت مخلوط گوجه‌فرنگی و گل جعفری با نسبت (۱:۱) مشاهده شد (Koocheki et al., 2013).

در مرحله دوم نمونه‌برداری، بیشترین و کم‌ترین مقدار شاخص تنوع سیمپسون، در الگوی کشت مخلوط ردیفی ۲ ردیف کاهو پیچ + ۲ ردیف گل عسلی (۲:۲) و کشت خالص گل عسلی به‌ترتیب با ۰/۴۶ و ۰/۰۵ مشاهده شد (شکل ۴). در الگوهای کشت خالص، علت پایین تر بودن شاخص تنوع سیمپسون در کشت خالص گل عسلی نسبت به کشت خالص کاهو پیچ، تراکم پایین‌تر علف‌های هرز به‌دلیل رقابت درون‌گونه‌ای به‌وجود آمده در این الگوی کاشت و به تبع آن افزایش

رشد رویشی گل عسلی و پوشش کامل‌تر زمین توسط این گیاه بوده است. در پژوهشی در مرحله دوم نمونه‌برداری، بیشترین شاخص تنوع سیمپسون در الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ زنیان + ۲۵٪ لوبیا و کم‌ترین شاخص تنوع سیمپسون در الگوی کشت خالص لوبیا به‌دست آمد (Khorramdel et al., 2014). در تحقیقی، در کلیه مراحل نمونه‌برداری، بیشترین شاخص تنوع سیمپسون در الگوی تک‌کشتی اسفناج، تحت تیمار کودی ۱۰ تن در هکتار کود دامی مشاهده شد که با نتایج این پژوهش در تضاد بود و کم‌ترین میزان شاخص تنوع سیمپسون در الگوی کشت ۳:۳ در شرایط اعمال ۲۰ تن در هکتار کود دامی حاصل شد (Asadi et al., 2014). گلیسمن (Gliessman, 1995) اظهار داشت که افزایش تنوع گیاهی در اکوسیستم‌های زراعی، با تقلید از فرآیندهای بوم‌شناختی طبیعی منجر به استفاده مؤثر از منابع، افزایش تنوع زیستی و در نتیجه، پایداری این نظام‌ها می شود.

شاخص یکنواختی شانون- وینر و سیمپسون

اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی بر شاخص یکنواختی شانون- وینر و شاخص یکنواختی سیمپسون در مراحل مختلف نمونه‌برداری معنی‌دار ($p \leq ۰/۰۵$) بود (جدول ۵).

در مرحله اول نمونه‌برداری، بیشترین و کم‌ترین مقدار شاخص یکنواختی شانون- وینر، در الگوی کشت مخلوط ردیفی ۲ ردیف کاهو پیچ + ۲ ردیف گل عسلی (۲:۲) و الگوی کشت مخلوط ردیفی ۳ ردیف کاهو پیچ + ۳ ردیف گل عسلی (۳:۳) به‌ترتیب با ۰/۴۱ و ۰/۲۵ مشاهده شد (شکل ۵).

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در میان الگوهای کشت مخلوط ردیفی، الگوی کشت مخلوط ردیفی ۲ ردیف کاهو پیچ + ۲ ردیف گل عسلی (۲:۲) هم شاخص تنوع شانون- وینر و هم شاخص یکنواختی شانون- وینر بالاتری نسبت به دیگر الگوهای کاشت داشت. در میان الگوهای کشت خالص نیز، کشت خالص گل عسلی با توجه به شاخص تنوع شانون- وینر پایین‌تر نسبت به الگوی کشت خالص کاهو پیچ، از شاخص یکنواختی شانون- وینر پایین‌تری برخوردار بود. در پژوهشی در بررسی شاخص یکنواختی شانون- وینر مشخص گردید که نسبت تراکمی ۵۰٪ کنجد + ۵۰٪ ماش بالاترین میزان این شاخص (۰/۱۴) را دارا بود و کم‌ترین مقدار این شاخص نیز در نسبت تراکمی ۷۵٪ کنجد + ۲۵٪ ماش با ۰/۰۴ به‌دست آمد (Rastgoo et al., 2013).

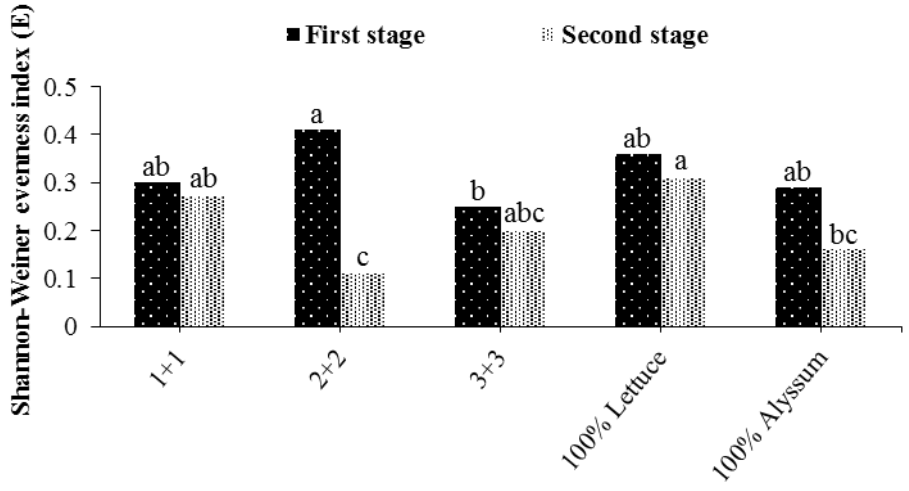
جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی بر شاخص یکنواختی شانون- وینر و شاخص یکنواختی سیمپسون علف‌های‌هرز در مراحل مختلف نمونه‌برداری

Table 5- Variance analysis (mean of squares) of effect of row intercropping patterns of lettuce and alyssum on weeds Shannon-Weiner evenness index and Simpson's evenness index in different sampling dates

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	مرحله اول نمونه‌برداری The first sampling date		مرحله دوم نمونه‌برداری The second sampling date	
		شاخص یکنواختی شانون- وینر Shannon-Weiner evenness index	شاخص یکنواختی سیمپسون Simpson's evenness index	شاخص یکنواختی شانون- وینر Shannon-Weiner evenness index	شاخص یکنواختی سیمپسون Simpson's evenness index
تکرار Replication	2	0.0001^{ns}	0.13^{ns}	0.02^{ns}	0.29^{ns}
تیمار Treatment	4	0.01^{*}	0.76^{**}	0.01^{**}	0.25^{*}
خطا Error	8	0.002	0.08	0.002	0.04
ضریب تغییرات CV (%)		14.54	12.37	22.73	14.71

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

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



شکل ۵- اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی بر شاخص یکنواختی شانون- وینر علف‌های هرز

Fig. 5- Effect of row intercropping patterns of lettuce and alyssum on weeds Shannon-Weiner evenness index in different sampling dates

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with the same letter(s) have no significant difference at 5% probability level, according to Tukey Test.

در مرحله دوم نمونه‌برداری، بیشترین و کم‌ترین مقدار شاخص یکنواختی شانون- وینر، در الگوی کشت خالص کاهو پیچ و الگوی کشت مخلوط ردیفی ۲ ردیف کاهو پیچ + ۲ ردیف گل عسلی (۲:۲) به‌ترتیب با ۰/۳۱ و ۰/۱۱ مشاهده شد (شکل ۵). در این مرحله، در میان الگوهای کشت خالص، کشت خالص کاهو پیچ نسبت به الگوی کشت خالص گل عسلی با توجه به شاخص تنوع شانون- وینر بالاتر، از شاخص یکنواختی شانون- وینر بالاتری نیز برخوردار بود. همچنین در میان الگوهای کشت مخلوط ردیفی، الگوی کشت مخلوط ردیفی ۱ ردیف کاهو پیچ + ۱ ردیف گل عسلی (۱:۱) با توجه به شاخص تنوع شانون- وینر بالاتر، از شاخص یکنواختی شانون- وینر بالاتری نیز برخوردار بود. همچنین از نظر آماری، تفاوت معنی‌داری بین الگوی کشت خالص کاهو پیچ و الگوی کشت مخلوط ردیفی ۱ ردیف کاهو پیچ + ۱ ردیف گل عسلی (۱:۱) وجود نداشت.

اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی بر شاخص یکنواختی سیمپسون در مراحل مختلف نمونه‌برداری معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود (جدول ۵). در مرحله اول نمونه‌برداری، بیشترین و کم‌ترین مقدار شاخص یکنواختی سیمپسون، در الگوی کشت مخلوط ردیفی ۲ ردیف کاهو پیچ + ۲ ردیف گل عسلی (۲:۲) و الگوی کشت مخلوط ردیفی ۳ ردیف کاهو پیچ + ۳ ردیف گل عسلی (۳:۳) به‌ترتیب با ۳ و ۱/۰۹ مشاهده شد (شکل ۶).

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در میان الگوهای کشت مخلوط ردیفی، الگوی کشت مخلوط ردیفی ۲ ردیف کاهو پیچ + ۲ ردیف گل عسلی (۲:۲) با توجه به این که دارای شاخص تنوع سیمپسون بالاتری نسبت به دیگر الگوهای کاشت بود، از شاخص یکنواختی سیمپسون بالاتری نیز برخوردار بود. در میان الگوهای کشت خالص نیز، کشت خالص گل عسلی با توجه به شاخص سیمپسون پایین‌تر نسبت به الگوی کشت خالص کاهو پیچ، از شاخص یکنواختی سیمپسون پایین‌تری برخوردار بود.

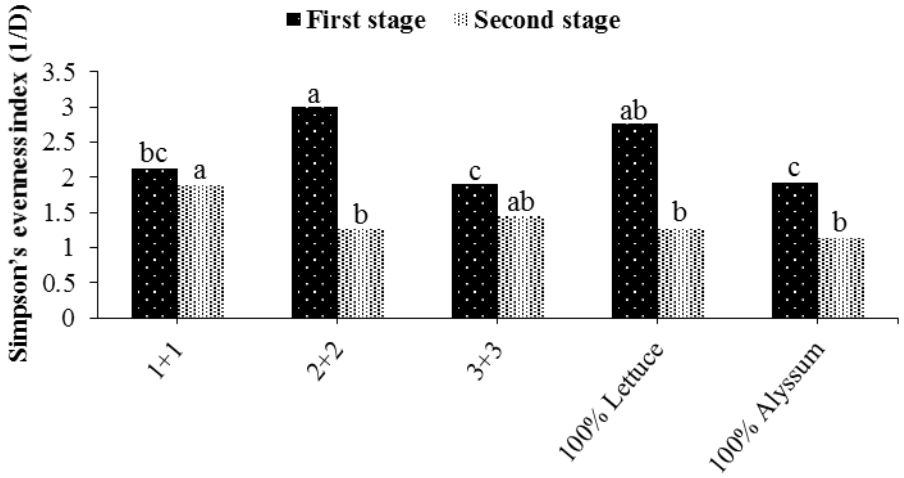
در مرحله دوم نمونه‌برداری، بیشترین و کم‌ترین مقدار شاخص یکنواختی سیمپسون، در الگوی کشت مخلوط ردیفی ۱ ردیف کاهو پیچ + ۱ ردیف گل عسلی (۱:۱) و الگوی کشت خالص گل عسلی به‌ترتیب با ۱/۸۸ و ۱/۱۴ مشاهده شد (شکل ۶). در بین الگوهای کشت مخلوط، الگوی کشت مخلوط ردیفی ۱ ردیف کاهو پیچ + ۱ ردیف گل عسلی (۱:۱) با توجه به این که شاخص تنوع سیمپسون بالایی داشت، از شاخص یکنواختی سیمپسون بالاتری نسبت به سایر الگوهای کشت مخلوط ردیفی برخوردار بود. همچنین در بین الگوهای کشت خالص، الگوی کشت خالص گل عسلی با توجه به این که از شاخص تنوع سیمپسون کم‌تری در مقایسه با الگوی کشت خالص کاهو پیچ برخوردار بود، شاخص یکنواختی سیمپسون پایین‌تری نیز در مقایسه با الگوی کشت خالص کاهو پیچ داشت. در پژوهشی، بیشترین

شاخص یکنواختی سیمپسون در تیمار کشت خالص گندم (۱۳/۳۶) و کم‌ترین شاخص یکنواختی سیمپسون در تیمار کلزا- گندم- کلزا و گندم- کلزا- کلزا به‌ترتیب با (۵/۰۳ و ۵/۰۴) مشاهده شد که با نتایج این پژوهش در تضاد بود (Karimian, 2015).

شاخص غنای گونه‌ای مارگالف

اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی بر شاخص غنای گونه‌ای مارگالف در مراحل مختلف نمونه‌برداری معنی-دار ($p \leq ۰/۰۵$) بود (جدول ۶).

در مرحله اول نمونه‌برداری، بیشترین و کم‌ترین مقدار شاخص غنای گونه‌ای مارگالف، در الگوی کشت خالص کاهو پیچ و الگوی کشت مخلوط ردیفی ۳ ردیف کاهو پیچ + ۳ ردیف گل عسلی (۳:۳) به‌ترتیب با ۱/۴۸ و ۰/۹۸ مشاهده شد (شکل ۷).



شکل ٦- اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی بر شاخص یکنواختی سیمپسون علف‌های هرز در مراحل مختلف نمونه‌برداری

Fig. 6- Effect of row intercropping patterns of lettuce and alyssum on weeds Simpson's evenness index in different sampling dates

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with the same letter(s) have no significant difference at 5% probability level, according to Tukey Test.

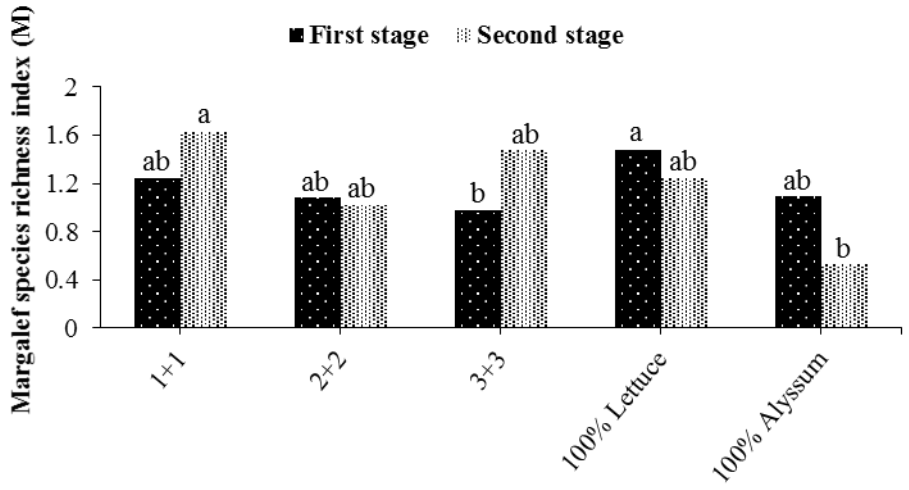
جدول ٦- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی بر شاخص غنای گونه‌ای مارگالف علف‌های هرز در مراحل مختلف نمونه‌برداری

Table 6- Variance analysis (mean of squares) of effect of row intercropping patterns of lettuce and alyssum on weeds Margalef species richness index in different sampling dates

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	مرحله اول نمونه‌برداری The first sampling date	مرحله دوم نمونه‌برداری The second sampling date
تکرار Replication	2	0.01ns	0.24ns
تیمار Treatment	4	0.11*	0.55*
خطا Error	8	0.02	0.14
ضریب تغییرات CV (%)		14.55	32.17

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

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



شکل ۷- اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی کاهو پیچ و گل عسلی بر شاخص غنای گونه‌ای مارگالف علف‌های هرز در مراحل مختلف نمونه‌برداری

Fig. 7- Effect of row intercropping patterns of lettuce and alyssum on weeds Margalef species richness index in different sampling dates

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means with the same letter(s) have no significant difference at 5% probability level, according to Tukey Test.

در بین الگوهای کشت خالص، الگوی کشت خالص کاهو پیچ به‌دلیل شاخص تنوع شانون- وینر و شاخص تنوع سیمپسون بالاتر نسبت به الگوی کشت خالص گل عسلی، از شاخص غنای گونه‌ای مارگالف بالاتری نیز نسبت به آن برخوردار بود. در بین الگوهای کشت مخلوط ردیفی، با متراکم‌تر کشت شدن کاهو پیچ در الگوهای کشت مخلوط، از میزان شاخص غنای گونه‌ای مارگالف کاسته شد. در پژوهشی، کم‌ترین مقدار شاخص غنای گونه‌ای مارگالف در هر دو سال زراعی، در الگوی کشت مخلوط ارزن- شنبلیله- زنیان- کنجد مشاهده شد (Azizi et al., 2009). اسدی و همکاران (Asadi et al., 2014) گزارش کردند که در کشت مخلوط سیر و اسفناج، کم‌ترین میزان شاخص غنای گونه‌ای مارگالف در الگوی کشت ۳:۳ در شرایط اعمال ۲۰ تن در هکتار کود دامی حاصل شد. در پژوهشی، کم‌ترین مقدار شاخص غنای گونه‌ای مارگالف در هر دو مرحله نمونه‌برداری، در الگوی کشت مخلوط گوجه‌فرنگی و گل جعفری با نسبت ۱:۱ مشاهده شد (Koocheki et al., 2013).

در مرحله دوم نمونه‌برداری، بیشترین و کم‌ترین مقدار شاخص غنای گونه‌ای مارگالف، در الگوی کشت مخلوط ردیفی ۱ ردیف کاهو پیچ + ۱ ردیف گل عسلی (۱:۱) و الگوی کشت خالص گل عسلی به‌ترتیب با ۱/۶۳ و ۰/۵۳ مشاهده شد (شکل ۷). در بین الگوهای کشت مخلوط ردیفی، الگوی کشت مخلوط ردیفی ۱ ردیف کاهو پیچ + ۱ ردیف گل عسلی (۱:۱)، به‌دلیل شاخص تنوع شانون- وینر بالاتر نسبت به سایر الگوهای کشت مخلوط، از شاخص غنای گونه‌ای مارگالف بالاتری نیز نسبت به آن‌ها برخوردار بود، ولی اختلاف معنی‌داری با سایر الگوهای کشت مخلوط ردیفی نداشت. در بین الگوهای کشت خالص، الگوی کشت خالص کاهو پیچ، شاخص تنوع شانون- وینر، شاخص تنوع سیمپسون و شاخص غنای گونه‌ای مارگالف بیشتری در مقایسه با الگوی کشت خالص گل عسلی داشت. اسدی و همکاران (Asadi et al., 2014) گزارش کردند که در کشت مخلوط سیر و اسفناج، در مرحله دوم نمونه‌برداری، بیشترین مقدار شاخص غنای گونه‌ای مارگالف، در الگوی کشت مخلوط ۴:۴ سیر و اسفناج و تک‌کشتی سیر به‌مقدار ۱/۱۰ مشاهده شد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، با افزایش تنوع گیاهان در بوم‌نظام‌های زراعی آشیان‌های کم‌تری در اختیار علف‌های هرز قرار گرفته که این امر باعث کاهش تعداد و تراکم گونه‌های مختلف علف‌های هرز می‌شود. نتایج نشان داد که ویژگی‌های اکولوژیکی بوم‌نظام از جمله تنوع، ترکیب و تراکم علف‌های هرز تحت تأثیر الگوهای کشت مخلوط ردیفی قرار گرفت. در مرحله اول نمونه‌برداری، تقریباً در تمام موارد ذکرشده به‌جز شاخص غنای گونه‌ای مارگالف، الگوی کشت مخلوط

ردیفی ۲ ردیف کاهو پیچ + ۲ ردیف گل عسلی نسبت به سایر الگوهای کشت برتری داشت و نیز از نظر شاخص غنای گونهای مارگالف، الگوی کشت مخلوط ردیفی ۱ ردیف کاهو پیچ + ۱ ردیف گل عسلی در مقایسه با سایر الگوهای کشت برتری داشت. همچنین در مرحله اول نمونهبرداری، الگوی کشت خالص کاهو پیچ از نظر تراکم و زیستتوده و نیز الگوی کشت مخلوط ردیفی ۳ ردیف کاهو پیچ + ۳ ردیف گل عسلی از نظر کلیه شاخصهای مورد بررسی کم-ترین میزان را دارا بودند. در نهایت، میتوان اینگونه نتیجه گرفت که مهمترین مزیت کشت مخلوط اثر تکمیلکنندگی آن در استفاده از منابع محیطی است، که نتیجه آن پایداری و افزایش عملکرد کمّی و کیفی، بهبود چرخه عناصر غذایی در خاک و افزایش تنوع میباشد.

References

Abadian, H., Yarnia, M., Pirdashti, H., Abasi, R., and Farahvash, F., 2014. Evaluation of basil (*Ocimum basilicum*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) intercropping at different nitrogen fertilizer levels and its effect on weed density. Specialized Semiannual Journal of Iranian Weeds Knowledge 10(2): 187-199. (In Persian with English Summary)

Agegnehu, G., Ghizaw, A., and Sinebo, W., 2006. Yield performance and land use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. European Journal Agronomy 25: 202-207. https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.05.002

Asadi, G., Ghorbani, R., and Azizi, E., 2014. The effect of manure rates on diversity and density of weeds in intercropping of spinach (*Spinacia oleracea* L.) and garlic (*Allium sativum* L.). Journal of Plant Protection 28(3): 325-337. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/JPP.V28I3.43563

Azizi, G., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Rezvani Moghaddam, P., 2009. Effect of plant diversity and nutrient resource on weed composition and density in different cropping systems. Journal of Iranian Field Crop Research 7(1): 115-125. (In Persian with English Summary)

Baumann, D.T., Bastiaans, L., and Kropff, M.J., 2001. Effects of intercropping on growth and reproductive capacity of late-emerging *Senecio vulgaris* L., with special reference to competition for light. Annals of Botany 87: 209-217. DOI: 10.1006/anbo.2000.1320

Baumann, D.T., Kropff, M.J., and Bastiaans, L., 2000. Intercropping leeks to suppress weeds. Weed Research 40: 361-376. DOI: 10.1046/j.1365-3180.2000.00197.x

Bedoussac, L., and Justes, E., 2010. Dynamic analysis of competition and complementarity for light and N use to understand the yield and the protein content of a durum wheat-winter pea intercrop. Plant and Soil 330: 37-54. https://doi.org/10.1007/s11104-010-0303-8

Blackshow, R.E., Molnar, L.J., Chevalier, D.F., and Lindwall, C.W., 1998. Factors affecting of the weed-sensing detect spray system. Weed Science 46: 127-137.

Bugg, R.L., Colfer, R.G., Chaney, W.E., Smith, H.A., and Cannon, J., 2008. Flower flies (Syrphidae) and other biological control agents for aphids in vegetable crops. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. https://doi.org/10.3733/ucanr.8285

Corre-Hellou, G., Dibet, A., Hauggaard-Nielsen, H., Crozat, Y., Gooding, M., Ambus, P., Dahlmann, C., von Fragstein, P., Pristeri, A., Monti, M., and Jensen, E.S., 2011. The competitive ability of pea–barley intercrops against weeds and the interactions with crop productivity and soil N availability. Field Crops Research 122(3): 264-272. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.04.004

Ejtehadi, H., Sepehry, A., and Akkafi, H.R., 2009. Methods of Measuring Biodiversity. Ferdowsi University of Mashhad Press, Iran. 228 p. (In Persian)

Fiedler, A.K., Landis, D.A., and Wratten, S.D., 2008. Maximizing ecosystem services from conservation biological control: the role of habitat management. Biological Control 45: 254–271. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.12.009

Ghasemi Ghahsareh, M., and Kafi, M., 2012. Scientific and Practical Floriculture. Author Press, 420 p.

Gliessman, S.R., 1995. Sustainable agriculture: An agroecological perspective. Advances in Plant Pathology II: 45-57. https://doi.org/10.1016/S0736-4539(06)80005-X

Gliessman, S.R., 1997. Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture. Arbor Press, 357 p.

Hyvonen, T., and Huusela-Veistola, E., 2008. Arable weeds as indicators of agricultural intensity-A case study from Finland. Biological Conservation 141: 2857-2864. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.08.022

Javanmardi, J., 2010. Growing organic vegetables. University of Mashhad Press, Iran. 349 p. (In Persian)

Karimian, K., 2015. Investigation of yield, radiation use efficiency and biodiversity of arthropods and weeds in wheat and canola intercropping. Ph.D. Dissertation Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

Kenny, A.J., and Krebs, C.J., 2001. Ecological Methodology program package, version 7.0. University of British Columbia, https://ecological-methodology.software.informer.com/7.0/.

Khorramdel, S., Mahmoodi, G., Abdollahi, F., and Hasanzadeh, H.R., 2014. Evaluation of growth indices and diversity of weeds in replacement and additive intercropping series of ajowan (*Trachyspermum ammi* L.) with bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Research in Crop Ecosystems 1(3): 59-70. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., and Khajeh Hosseini, M., 2008. Modern Agronomy. University of Mashhad Press, Iran. 704 p. (In Persian)

Koocheki, A., Asadi, G.A., Ghorbani, R., and Azizi, E., 2013. Investigation of marigold interference effect on weed composition and diversity of tomato in an intercropping system. Journal of Environmental Sciences 11(2): 23-34. (In Persian with English Summary)

Koocheki., A., Nassiri Mahallati, M., and Sanjani, S., 2013. Evaluation of weed diversity and modeling light interception and distribution in multiple and sole cropping of millet (*Setaria italica* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 11(2): 215-225. (In Persian with English Summary). Doi: 10.22067/GSC.V11I2.26131

Koocheki, A., Shabahang, J., Khorramdel, S., and Amin Ghafouri, A., 2012. Row intercropping of borage (*Borago officinalis* L.) with bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on possible evaluating of the best strip width and assessing of its ecological characteristics. Journal of Agroecology 4(1): 1-11. (In Persian with English Summary). Doi: 10.22067/jag.v4i1.14951

Legere, A., Stevenson, F.C., and Benoit, D.L., 2005. Diversity and assembly of weed communities: Contrasting responses across cropping systems. Weed Research 45: 303-315. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2005.00459.x

Majnoon Hosseini, N., and Colar, G.S., 1988. Study of weed control in mixed cropping of cowpea and mung bean. Iranian Journal of Agriculture Science 19: 9-12. (In Persian with English Summary)

Midya, A., Bhattacharjee, K., Ghose, S.S., and Banik, S.D., 2005. Deferred seeding of blackgram (*Phaseolus mungo* L.) in rice (*Oryza sativa* L.) field on yield advantages and smothering of weeds. Journal of Agronomy and Crop Science 191: 195-201. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2005.00157.x

Mohler, C.L., and Liebman, M., 1987. Weed productivity and composition in sole crops and intercrops of barley and field pea. Journal of Applied Ecology 24: 685-699. https://doi.org/10.2307/2403903

Moody, K., and Shett, S.V.R., 1989. Weed management in intercrops, on Proc. Int. Workshop intercropping. ICRISAT. Hyderabad India, p. 229-237.

Park, S.E., Benjamin, L.R., and Watkinson, A.R., 2002. Comparing biological productivity in cropping systems: A competition approach. The Journal of Applied Ecology 39: 416-426. https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2002.00732.x

Rastgoo, S., Aynehband, A., and Fateh, E., 2013. Study of the properties of the weed communities in the mixture of sesame and mung bean using diversity indices. The Second National Congress on Organic and Conventional Agriculture, Ardabil, Iran. p. 295-299. (In Persian)

Rao, B.R.R., 2002. Biomass yield, essential oil composition of rose-scented geranium (*Pelargonium species*) as influenced by row spacing and intercropping with corn mint (*Mentha arvensis* L. f. Piperascens Malinv). Industrial Crops and Products 16: 133-144. https://doi.org/10.1016/S0926-6690(02)00038-9

Rezazadeh, M., 2016. The effect of row intercropping of fenugreek and tomato on competition indices and species diversity of weeds, pests and disease. M.Sc. Thesis Agriculture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

Ronald, M., and Charles, K., 2012. Weed suppression and component crops response in maize/pumpkin intercropping systems in Zimbabwe. Journal of Agriculture Science 4(7): 231-236. DOI:10.5539/jas.v4n7p231

Sanjani, S., Hosseini, M.B., Chaichi, M.R., and Rezvan Beidokhti, S., 2009. Effect of additive intercropping sorghum: cowpea on weed biomass and density in limited irrigation system. Iranian Journal of Field Crops Research 7(1): 85-95. (In Persian with English Summary)

Smith, H.A., and Chaney, W.E., 2007. A survey of syrphid predators of *Nasonovia ribisnigri* in organic lettuce on the

Central Coast of California. Journal of Economic Entomology 100: 39–48. DOI: 10.1603/0022-0493(2007)100[39:asospo]2.0.co;2

Smith, H.A., Chaney, W.E., and Bensen, T.A., 2008. Role of syrphid larvae and other predators in suppressing aphid infestations in organic lettuce on California's Central Coast. Journal of Economic Entomology 101: 1526–1532. https://doi.org/10.1603/0022-0493(2008)101[1526:roslao]2.0.co;2

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

CC BY

Research Article
Vol. 14, No. 3, Fall 2022, p. 399-413

The Ecological Footprint of Students for the Campus of Ferdowsi University of Mashhad (FUM)

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

Received: 01-06-2020
Revised: 27-06-2020
Accepted: 23-08-2020
Available Online: 13-12-2022

How to cite this article:
Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Javadi, M., 2022. The ecological footprint of students for the campus of Ferdowsi University of Mashhad (FUM). Journal of Agroecology 14(3): 399-413.
DOI: 10.22067/jag.v16i1.87148

Introduction

The ecological footprint (EF) is an area of biologically productive land capable of meeting all human needs (food, clothing, and construction) and accommodating their production waste. Therefore, the application of ecological footprint in combination with social and economic impact assessment can provide the basis for measuring triple sustainability indices (social, economic, and ecological). Universities worldwide are among the institutions that are increasingly focusing on promoting sustainability and often use ecological footprints as a good indicator for measuring their sustainability. Universities are considered to be one of the largest consumers of paper, energy, and water. Because they utilize these resources for education and research activities, it is expected that a sustainable university should minimize adverse environmental, economic, social, and health impacts and help society move towards a sustainable lifestyle. However, the ecological footprint of Iranian universities is not documented. Therefore, the purpose of this study was to calculate the ecological footprint of students of the Ferdowsi University of Mashhad ,the third biggest university in the country.

Materials and Methods

In this study, EF on the campus of Ferdowsi University of Mashhad (FUM) was calculated by using two standard international methods, including Ecological Footprint Network (EFN) Questionnaire and Ecological Footprint Analysis (EFA). In the EFN method, the questionnaire designed by Global Footprint Network was used. In the EFA method, the university information (energy consumption, food, and construction) was obtained from the relevant departments, and finally, the total footprint was calculated using the standard EF accounting method.

Results and Discussion

The results showed that the total ecological footprint of the campus was 1.51 g/ha, which is less than reported values for the world (2.80) and national (3.20) footprints. This is due to the fact that students use public transportation services and produce less waste. On the other hand, due to the recycling of a significant amount of waste produced at the university, the energy footprint of university students has decreased, which has ultimately reduced the total footprint of students compared to the national and global levels. The EF in this study consists of three components i.e. energy, food, and build up. Among the components, food with 57.3% had the highest share of total footprint and therefore had the most significant impact on increasing the total EF. After the food footprint, the energy with 0.35 g ha (23%), had the highest share of total footprint. While the Build up with 19.7 g ha, had the least significant impact on increasing the total EF. There was no difference between the EF of males and females students. However, the footprint of bachlor students was higher than Msc and PhD students. Architecture students

1- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2- Ph.D. Student of Agro-ecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
(*- Corresponding author Email: akooch@um.ac.ir)

had the most (1.77), while theology students had the lowest EF (1.30 g/ha). Finally, the results of the present study show that Ecological Footprint is one of the appropriate indicators for measuring the sustainability of universities and can help managers and decision makers in universities to move towards sustainability goals.

Conclusion

The EF is an accurate index for evaluating environmental sustainability, and since reconsideration of the current lifestyles should be started by academic societies, planning for a detailed accounting of EF for university campuses over the country is required.

Acknowledgments

This research (Grant No. 47890) was funded by the Vice Chancellor for Research of the Ferdowsi University of Mashhad, which is hereby acknowledged. We also thank the Vice administration and support and management of the Department of Nutrition of Ferdowsi University of Mashhad and their colleagues for providing the necessary information and data for the present study.

Keywords: Development, Food Footprint, Global Footprint Network (GFN), Sustainability**.**

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

مقاله پژوهشی

ارزیابی ردپای اکولوژیکی دانشجویان دانشگاه فردوسی مشهد

علیرضا کوچکی[1*]، مهدی نصیری محلاتی[1] و مریم جوادی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۱۲
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۰۴/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۲

کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م.، و جوادی، م.، ۱۴۰۱. ارزیابی ردپای اکولوژیکی دانشجویان دانشگاه فردوسی مشهد. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۳): ۴۱۳-۳۹۹.

چکیده

از آغاز قرن حاضر، دانشگاه‌های سراسر جهان، به‌طور روزافزون بر پایداری خود تمرکز نموده و به دنبال شاخص‌هایی برای سنجش آن می‌باشند. ردپای اکولوژیکی از جمله شاخص‌هایی است که دانشگاه‌ها برای ارزیابی وضعیت پایداری از آن استفاده کرده‌اند. بنا به تعریف، رد پای اکولوژیکی به مساحتی از زمین‌های دارای قابلیت تولید زیستی گفته می‌شود که قادر به تأمین نیازهای بشری (غذا، پوشاک و ساخت و ساز) بوده و همچنین بتواند ضایعات تولیدی آن‌ها را در خود جای دهد. در تحقیق حاضر، ردپای اکولوژیکی دانشجویان دانشگاه فردوسی مشهد، از طریق دو روش، شامل تکمیل پرسش‌نامه موجود در شبکه جهانی ردپا (EFN) و آنالیز ردپای اکولوژیکی (EFA) محاسبه شد. در روش EFN، پرسش‌نامه موجود در شبکه جهانی ردپا با توجه به شرایط ایران بومی‌سازی شد و در اختیار مصاحبه‌شوندگان قرار گرفت. در روش EFA نیز اطلاعات لازم در مورد منابع مصرفی دانشگاه (انواع انرژی، مواد غذایی و مساحت لازم برای ساخت و ساز)، از بخش‌های مختلف دانشگاه تهیه گردید و در نهایت، مقدار این شاخص محاسبه شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که ردپای اکولوژیکی دانشجویان دانشگاه فردوسی مشهد در سال تحصیلی ۹۷-۱۳۹۶، معادل ۱/۵۱ هکتار جهانی بوده که از میانگین جهانی (۲/۸) و ملی (۳/۲) به‌طور قابل توجهی کمتر است. به نظر می‌رسد که این امر به‌دلیل استفاده بیشتر دانشجویان از سرویس‌های حمل و نقل عمومی، استفاده کمتر از کالاهای مصرفی در طی یک سال و لذا تولید کمتر ضایعات و از طرفی، به‌دلیل بازیافت حجم قابل توجهی از ضایعات تولیدی در دانشگاه باشد که همین مسئله باعث کاهش چشمگیر ردپای انرژی دانشجویان دانشگاه و در نهایت، کاهش ردپای اکولوژیکی کل در مقایسه با سطح ملی و جهانی شده است. ردپای محاسبه شده در این تحقیق شامل سه جزء انرژی، غذا و ساخت و ساز بود که در بین اجزای تشکیل‌دهنده، ردپای غذا با ۵۷/۳ درصد، بیشترین سهم را در ردپای دانشگاه داشت. ردپای انرژی با ۰/۳۵ هکتار جهانی، بعد از ردپای غذا، بیشترین سهم را در ردپای کل دانشگاه داشت، درحالی‌که ردپای ساخت و ساز با ۰/۳۰ هکتار جهانی، تأثیر کمتری بر این شاخص داشت. بین ردپای اکولوژیکی دانشجویان دختر و پسر تفاوتی وجود نداشت، ولی در بین مقاطع تحصیلی، ردپای دانشجویان کارشناسی با ۱/۵۶ هکتار جهانی بزرگ‌تر از دانشجویان مقاطع تحصیلات تکمیلی بود. ردپای دانشجویان دانشکده معماری ۱/۷۷ هکتار جهانی به‌دست آمد که در مقایسه با دانشجویان سایر دانشکده‌ها، در بیشترین مقدار بود درحالی‌که دانشجویان دانشکده الهیات با ۱/۳۰ هکتار جهانی، کمترین مقدار ردپا را داشتند. در نهایت، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که ردپای اکولوژیکی، یکی از شاخص‌های مناسب برای سنجش پایداری دانشگاه‌ها بوده و می‌تواند به مدیران و تصمیم‌گیرندگان دانشگاه‌ها برای رسیدن به اهداف پایداری کمک کند.

واژه‌های کلیدی: پایداری، توسعه، ردپای غذا، شبکه جهانی ردپا

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

DOI: 10.22067/jag.v16i1.87148

مقدمه

طی سه دهه گذشته، تقاضای روز افزون برای غذا و سایر خدمات و بهره‌برداری شدید از منابع طبیعی، پیامدهای اکولوژیکی نگران‌کننده‌ای را به همراه داشته است. زیرا اقتصاد و جمعیت جهانی به‌طور فزاینده‌ای در حال رشد بوده، درحالی‌که ظرفیت منابع کره زمین، ثابت است(Galli et al., 2012) و بنابراین قادر به پاسخگویی این حجم از تقاضا نخواهد بود. بررسی‌های مختلف نیز مؤید این واقعیت نگران‌کننده می‌باشد که ۲۵ درصد از زمین‌های جهان به‌طور قابل ملاحظه‌ای توسط فعالیت‌های انسانی تخریب شده و۶۰ درصد از اکوسیستم‌های این سیاره در حال حاضر آسیب دیده و در معرض مخاطره است (UNEP, 2015). این بحران‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، ناشی از الگوی ناپایدار مصرف و تولید می‌باشد (Clay, 2011)، زیرا انسان اکنون منابع موجود را بیش از هر زمان دیگری به مصرف می‌رساند (Steffen et al., 2015)، بنابراین برای رسیدن به توسعه پایدار، تغییرات اساسی در روش مصرف و تولید جوامع ضروری به نظر می‌رسد (UNEP, 2012).

از میان معیارهای مختلفی که برای برآورد پایداری بوم‌نظام‌ها ارائه شده است، می‌توان به شدت بهره‌برداری از منابع طبیعی اشاره کرد که با شاخصی موسوم به ردپای اکولوژیکی سنجیده می‌شود. شاخص ردپای اکولوژیکی برای اولین بار در اوایل دهه ۱۹۹۰ توسط واکرناگل و ریس در دانشگاه بریتیش کلمبیا در ونکوور کانادا توسعه پیدا کرد. بنا به تعریف، رد پای اکولوژیکی به مساحتی از زمین‌های دارای قابلیت تولید زیستی گفته می‌شود که قادر به تأمین نیازهای بشری (غذا، پوشاک و ساخت و ساز) بوده و همچنین بتواند ضایعات تولیدی آن‌ها را در خود جای دهد (Wackernagel & Rees, 1996) لذا بزرگ بودن ردپای اکولوژیکی، حاکی از سطح پایداری کمتر می‌باشد (Dietrich, 2013). این شاخص که در واقع نشان‌دهنده مقدار زمین مورد نیاز برای برآودن نیازهای کشورها، شهرها، سازمان‌ها و افراد از منابع اکولوژیکی بوده، معمولاً با واحد هکتار جهانی سنجیده می‌شود و یک هکتار جهانی برابر با یک هکتار زمین با میانگین تولید جهانی است (Kitzes et al., 2007). به بیان ساده‌تر ردپای اکولوژیکی، نوعی اندازه‌گیری دقیق از شدت مصرف منابع طبیعی توسط افراد است (Medina & Toledo, 2016) که در سطوح مختلف جهانی، منطقه‌ای، ملی و شهری قابل ارزیابی می‌باشد (See et al., 2016)، بنابراین یکی از اهداف تعیین ردپای اکولوژیکی، آگاه ساختن افراد و جوامع از الگوهای مناسب مصرف در جهت کاهش اثرات زیست‌محیطی می‌باشد (Franz & Papyrakis, 2011). بر این اساس، کاربرد ردپای اکولوژیکی در ترکیب با ارزیابی اثرات اجتماعی و اقتصادی می‌تواند زمینه اندازه‌گیری شاخص‌های سه‌گانه پایداری (اجتماعی، اقتصادی و اکولوژیکی) را فراهم آورد (Dawe et al., 2004). دانشگاه‌های سراسر جهان از جمله مؤسساتی هستند که همواره به ارتقاء سطح پایداری خود تمرکز داشته‌اند (Conway et al., 2008) و معمولاً از ردپای اکولوژیکی به‌عنوان شاخص مناسبی برای اندازه‌گیری پایداری خود استفاده می‌کنند (See et al., 2016)

دانشگاه‌ها بسیار شبیه به شهرهای کوچک می‌باشند (Alshuwaikhat & Abubakar, 2008). دانشجویان و کلیه افراد مربوط به محیط دانشگاهی، مساحت زیادی را اشغال کرده، جمعیت روبه رشدی داشته و در طی روز مسافت زیادی را برای فعالیت‌های آموزشی و تحقیقاتی خود طی می‌کنند. محیط فیزیکی دانشگاه‌ها، طیف وسیعی از انواع ساختمان‌ها مانند بخش اداری، کلاس‌های درس، خوابگاه، آزمایشگاه، مراکز بهداشتی و سالن‌های اجتماعات را پوشش می‌دهد که این امر می‌تواند از طریق مصرف منابعی مانند انرژی و آب و همچنین تولید ضایعات، اثراتی را بر محیط زیست و پایداری داشته باشد (Bennett et al., 2006). علاوه‌براین دانشگاه‌ها به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان کاغذ، انرژی و آب محسوب می‌شوند (Baboulet et al., 2010) و به‌دلیل این که از منابع موجود به‌منظور آموزش و تحقیق بهره می‌برند، انتظار می‌رود بتوانند با ارزیابی دقیق وضعیت پایداری، اثرات نامطلوب ناشی از فعایت‌های خود را به حداقل رسانده و الگویی برای سایر جوامع باشند (Velazquez et al., 2006). تعیین ردپای اکولوژیکی دانشگاه‌ها، از دیرباز مورد توجه بوده و دانشگاه‌های بسیاری مانند دانشگاه نیوکاسل (Flint, 2001)، تورنتو (Conway et al., 2008) ردلندز (Venetoulis, 2001)، فیلیپین (Medina & Toledo, 2016) و مالزی (See et al., 2016) از این شاخص بهره برده‌اند. به‌عنوان نمونه، ردپای اکولوژیکی دانشجویان تحصیلات تکمیلی دانشگاه کاتولیک لون در کشور بلژیک، ۰/۳۵ هکتار جهانی به‌ازای هر نفر برآورد شده است. در این دانشگاه، ردپای انرژی با ۸۶ درصد، بیشترین

سهم را در ردپای کل داشت، درحالی‌که ردپای ساخت و ساز و غذا، به‌ترتیب با ۹/۴۲ و ۴/۷۷ درصد سهم کمتری داشتند. مقدار ردپای محاسبه شده در این تحقیق، ۱۲۰۰ برابر ظرفیت زیستی دانشگاه مورد نظر بود. لذا پژوهشگران راه حل اساسی برای کاهش مقدار این شاخص را افزایش آگاهی و مشارکت دانشجویان در محاسبه ردپای اکولوژیکی بیان نمودند (Lambrechts & Liedekerke, 2014). اندازه‌گیری ردپای اکولوژیکی دانشجویان دانشگاه ردلندز در ایالت کالیفرنیا نشان داد که رد پای اکولوژیکی دانشجویان این دانشگاه در سال مورد بررسی، ۰/۹ هکتار به‌ازای هر فرد بود. بیشترین میزان ردپا مربوط به انرژی و حمل و نقل (به‌ترتیب با ۵۰ و ۳۲/۵ درصد از ردپای کل) و کم‌ترین میزان نیز مربوط به ردپای آب (پنج درصد از ردپای کل) بود (Venetoulis, 2001). ارزیابی ردپای اکولوژیکی دانشجویان دانشگاه نیوکاسل در کشور انگلستان نیز نشان داد که مقدار ردپای اکولوژیکی کل دانشجویان ۳۵۹۲ و به‌ازای هر فرد ۰/۱۹ هکتار جهانی بود. در این تحقیق نیز انرژی با ۵۱ درصد بیشترین سهم، غذا با شش درصد کم‌ترین و ردپای ساخت وساز نیز با ۴۳ درصد، ردپای کل را تشکیل دادند (Flint, 2001).

با وجودی‌که محاسبه و تجزیه و تحلیل ردپای اکولوژیکی دانشگاه‌ها در بسیاری از کشورهای جهان به‌عنوان یکی از اولویت‌های پژوهشی مورد توجه می‌باشد، ولی در ایران اطلاعات منتشر شده‌ای در مورد هیچیک از دانشگاه‌های کشور در دسترس نمی‌باشد. لذا این تحقیق، با هدف محاسبه ردپای اکولوژیکی دانشجویان دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد و به نظر می‌رسد این دانشگاه، اولین مرکز آموزش عالی در سطح کشور باشد که چنین مطالعه‌ای در آن صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

مکان مطالعه

دانشگاه فردوسی مشهد، بزرگ‌ترین دانشگاه شرق کشور است که هم اکنون بیش از ۲۵۰۰۰ دانشجو در مقاطع و رشته‌های مختلف تحصیلی، ۸۱۰ عضو هیأت علمی و ۲۵۰۰ کارمند در آن به تحصیل و کار مشغولند. در سال تحصیلی۹۷-۱۳۹۶ (سال انجام تحقیق) تعداد دانشجویان این دانشگاه، ۲۵۳۲۸ نفر بود که از این تعداد ۱۲۹۸۴ دانشجو در مقطع کارشناسی و ۱۲۳۴۴ دانشجو در مقاطع تحصیلات تکمیلی به تحصیل اشتغال داشتند. تعداد دانشکده‌های این دانشگاه ۱۲ و شامل دانشکده‌های ادبیات، الهیات، تربیت بدنی، دامپزشکی، علوم اداری و اقتصادی، علوم پایه، علوم تربیتی و روان‌شناسی، علوم ریاضی، مهندسی، کشاورزی، معماری، منابع طبیعی و محیط زیست می‌باشد. این دانشگاه با مساحتی معادل ۶۰ هکتار فضای سبز، از پردیسی بسیار وسیع برخوردار است و بیش از یک دهه است که به‌عنوان دانشگاه سبز، در جهت حفظ محیط زیست و رسیدن به اهداف توسعه پایدار تلاش می‌کند.

روش جمع‌آوری دادها

در این تحقیق، رد پای اکولوژیکی دانشجویان دانشگاه، از طریق دو روش پرکاربرد برای محاسبه این شاخص شامل تکمیل پرسش‌نامه موجود در شبکه جهانی ردپا (EFN[1]) و آنالیز ردپای اکولوژیکی (EFA[2])، اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل شد. لازم به ذکر است که در هر دو روش ردپای اکولوژیکی غذا، ساخت و ساز و انرژی اجزای تشکیل‌دهنده ردپای اکولوژیکی کل بودند.

محاسبه ردپای اکولوژیکی به‌روش EFN

در راستای رسیدن به اهداف تحقیق حاضر، از پرسش‌نامه‌های طراحی شده توسط شبکه‌های فعال در زمینه ردپای اکولوژیکی استفاده شد. طی سال‌های اخیر چندین وب‌سایت معروف از سازمان‌های غیردولتی جهانی، مانند صندوق جهانی محیط زیست (WWF[3])، شبکه جهانی ردپا (GFN[4])، شبکه بهترین گام به جلو (BFF[5]) و شبکه بازتعریف پیشرفت (RP[6])، حسابگرهای شخصی را به‌منظور محاسبه ردپا ارائه داده‌اند که برای افراد و مؤسسات، امکان محاسبه اثرات زیست‌محیطی را فراهم می‌آورد. در همین راستا، شبکه جهانی ردپا، یکی از شبکه‌های فعال در زمینه ردپای اکولوژیکی بوده که پرسش‌نامه‌ای را به‌صورت آنلاین در اختیار کاربران قرار می‌دهد. افراد باید اطلاعات مربوط به عادات مصرفی و فعالیت‌های مربوط به مصرف منابع یا تولید ضایعات مانند مصرف غذا، مسکن، انرژی، حمل و نقل و غیره را به محاسبه‌گر وارد کنند تا ردپای آن‌ها را محاسبه نماید. بنابراین در این تحقیق، از پرسش‌نامه موجود در شبکه جهانی

1- Ecological Footprint Network
2- Ecological Footprint Analysis
3- World Wide Fund for Nature
4- Global Footprint Network
5- Best Foot Forward
6- Redefining Progress

ردپا استفاده شد. لازم به ذکر است که این پرسش‌نامه با حذف برخی عادات غذایی و خدمات که در سبک زندگی دانشجویان دانشگاه‌های ایران جایگاهی ندارد، بومی‌سازی شد.

جامعه هدف در این تحقیق شامل تمامی دانشجویان دختر و پسر دانشگاه فردوسی مشهد، اعم از بومی و غیربومی، در تمام مقاطع تحصیلی بود. برای انتخاب حجم نمونه از فرمول کوکران (معادله ۱) استفاده گردید. به این منظور، ابتدا تعداد ۳۰ پرسش‌نامه در بین دانشجویان دانشگاه تکمیل و بعد از تعیین واریانس داده‌ها، تعداد واقعی نمونه مورد نظر، براساس معادله ۱ محاسبه گردید.

معادله (۱)
$$n = \frac{t^2\delta^2}{e^2}$$

که در آن، n: حجم نمونه، t: مقدار متغیر نرمال استاندارد (از جدول t استیودنت)، δ^2: واریانس نمونه و e: مقدار اشتباه مجاز یا درصد خطا می‌باشد که در این مطالعه، معادل ۱۰ درصد در نظر گرفته شد. بر اساس برآورد معادله ۱، تعداد ۶۳۰ پرسش‌نامه تهیه و در بین مصاحبه‌شوندگان (دانشجویان) توزیع گردید که از این تعداد به ۶۰۸ پرسش‌نامه پاسخ کامل و قابل استفاده‌ای داده شد. بعد از کامل شدن پرسش‌نامه، داده‌های حاصل وارد محاسبه‌گر آنلاین شبکه جهانی ردپا شد و ردپای هر فرد با توجه به اطلاعات وارد شده و برحسب هکتار جهانی به‌دست آمد (Medina & Toledo, 2016).

محاسبه ردپای اکولوژیکی به‌روش EFA

به‌منظور آنالیز ردپای اکولوژیکی دانشجویان دانشگاه، اطلاعاتی مانند، میزان مصرف برق دانشگاه، میزان مصرف گاز طبیعی، میزان مصرف گازوئیل و سوخت (مصرف سوخت وسایلی چون اتوبوس، کامیون، خودروهای کوچک دانشگاهی و متفرقه، سوخت مصرفی وسایل مورد نیاز جهت نگهداری و بهبود فضای دانشگاه اعم از وسایل مورد نیاز برای چمن‌زنی، تراکتور، هرس درختان، آبیاری فضای سبز، ترمیم جاده‌ها و غیره)، مسافت، تعداد و ساعت پروازهای انجام شده مربوط به مأموریت‌های اداری و آموزشی دانشگاه، حجم ضایعات تولیدی و بازیافتی در دانشگاه (به تفکیک نوع زباله)، مساحت کل دانشگاه و میزان مصرف مواد غذایی خام (انواع مواد غذایی شامل غلات، روغن، حبوبات، شیر، لبنیات، گوشت و سایر گروه‌های مواد غذایی) برای یک سال تحصیلی (سال تحصیلی ۹۷-۱۳۹۶) با کمک مدیریت اداری و پشتیبانی دانشگاه، از مراکز مربوطه دانشگاه تهیه شد.

بعد از جمع‌آوری اطلاعات لازم، ردپای اکولوژیکی هرکدام از منابع مصرفی (ردپای انرژی شامل برق، گاز، سوخت و ضایعات، ردپای غذا و ردپای ساخت و ساز) به‌طور جداگانه و از طریق معادلاتی که در ادامه ارائه شده محاسبه و نهایتاً از مجموع ردپای انرژی، غذا و ساخت و ساز، ردپای کل بر حسب هکتار جهانی محاسبه گردید (Venetoulis, 2001). ردپای اکولوژیکی سرانه بر حسب هکتار جهانی به‌ازای هر نفر نیز، با تقسیم ردپای کل بر جمعیت دانشگاه (۲۸۶۳۸ نفر) محاسبه شد. لازم به ذکر است که به‌دلیل حضور بیشتر دانشجویان ساکن خوابگاه در دانشگاه و بنابراین استفاده دائم از منابع و امکانات موجود، سهم آن‌ها در ردپای کل بیشتر درنظر گرفته شد. بنابراین ۷۵ درصد مقدار منابع مصرفی برای کل جمعیت دانشگاه (شامل دانشجویان خوابگاهی و غیرخوابگاهی) و ۲۵ درصد مصرف منابع تنها برای دانشجویان خوابگاهی (۵۳۲۸ نفر) در نظر گرفته شد.

محاسبه ردپای انرژی (شامل انرژی الکتریکی، گاز طبیعی، سوخت و ضایعات)

انرژی الکتریکی

معادله (۲)
$$E=\left(\frac{ENG\times 0.00005}{2}\times 47\right)\times 0.986$$

که در آن E: ردپای انرژی الکتریکی بر حسب هکتار جهانی و ENG : میزان مصرف برق سالانه بر حسب کیلووات ساعت می‌باشد.

گاز طبیعی

معادله (۳)
$$NG=\left(\frac{NGT\times 0.353\times 0.0015}{2}\times 47\right)\times 0.986$$

که در آن، NG: ردپای گاز طبیعی بر حسب هکتار جهانی و NGT: میزان مصرف سالانه گاز طبیعی بر حسب متر مکعب می‌باشد.

سوخت

معادله (۴)
$$G=\left(\frac{GV\times 3.78\times 19.6/7000}{2}\times 47\right)\times 0.986$$

که در این معادله، G: ردپای سوخت مصرفی مربوط به خودروها و وسایل نقلیه بر حسب هکتار جهانی و GV: حجم سوخت مصرفی

مربوط به فعالیت‌های دانشگاهی طی یک سال تحصیلی و بر حسب لیتر می‌باشد.

$$AT = \left(\frac{(D/587 \times 0.5)}{2} \times 47\right) \times 0.986$$ معادله (۵)

که در آن، AT: ردپای سوخت مصرفی هواپیما (هکتار جهانی) و D: مسافت طی شده با هواپیما مربوط به فعالیت‌های دانشگاهی طی یک سال تحصیلی و برحسب مایل می‌باشد.

$$F = G + AT$$ معادله (۶)

که در این معادله، F: ردپای سوخت مصرفی کل، G: ردپای سوخت خودورها و وسایل نقلیه و AT: ردپای سوخت مصرفی هواپیما و همگی بر حسب هکتار جهانی می‌باشند.

ضایعات

معادله (۷)

$$RW = \left((P \times 0.001) + (A \times 0.00004) + (PI \times 0.0005)\right)$$

که در این معادله نیز، RW: ردپای ضایعات بازیافتی بر حسب هکتار جهانی، P: مقدار مصرف کاغذ، A: مصرف آلومینیوم و Pl: مصرف پلاستیک بر حسب کیلوگرم می‌باشد.

$$PP = \left(E + NG + F + RW\right)$$ معادله (۸)

که در آن، PP: ردپای انرژی کل، E: ردپای انرژی الکتریکی، NG: ردپای گاز طبیعی، F: ردپای سوخت و RW: ردپای ضایعات بر حسب هکتار جهانی می‌باشد که به‌ترتیب از معادلات ۲، ۳، ۶ و ۷ به‌دست می‌آیند.

محاسبه ردپای غذا

محاسبه ردپای غذا طی چارچوبی مشخص و استاندارد (Wackernagel et al., 2004; Kitzes et al., 2000) و به‌ترتیب مراحل زیر انجام شد؛

محاسبه میزان مصرف هر یک از گروه‌های مواد غذایی: در این مرحله، میزان مصرف هر گروه از محصولات غذایی (غلات، گیاهان روغنی، حبوبات، گیاهان ریشه‌ای و غده‌ای، سبزیجات، محصولات قندی، خشکبار، میوه‌جات، مرکبات، تخم مرغ، گوشت، شیر و آبزیان) بعد از تهیه اطلاعات مورد نظر از اداره تغذیه دانشگاه، به‌طور جداگانه محاسبه گردید.

محاسبه مساحت لازم یا ردپا برای انواع محصولات غذایی: مساحت لازم برای هر نوع محصول غذایی از معادله ۹ محاسبه گردید.

$$Ai = \frac{Ci}{Yi}$$ معادله(۹)

که در آن، Ai: مساحت لازم برای محصول i (هکتار)، Ci: میزان مصرف محصول i (تن) و Yi: میانگین جهانی عملکرد محصول i (تن در هکتار) می‌باشد.

تبدیل مساحت به هکتار جهانی: مواد غذایی مختلف از انواع زمین‌های زراعی تأمین می‌شوند، برای مثال، تولید لبنیات یا گوشت علاوه‌بر اراضی مرتعی، برای تولید خوراک دام به زمین‌های زراعی نیز نیاز دارد، درحالی‌که تولید غلات تنها در زمین‌های زراعی انجام می‌شود. بدیهی است که قابلیت تولید اراضی مختلف با هم یکسان نبوده و درنتیجه، مساحت آن‌ها قابل مقایسه نمی‌باشد. برای رفع این مشکل، مساحت محاسبه شده برای هر نوع محصول باید به واحد هکتار جهانی تبدیل شود. این عمل یعنی معادل‌سازی مساحت اراضی با استفاده از ضرایب معادل (ef)[1] مربوط به هر نوع کاربری زمین انجام می‌شود (Hails et al., 2006). برای مثال، ضریب تبدیل برای اراضی مرتعی ۰/۴۸ هکتار جهانی بر هکتار می‌باشد. بنابراین، هر هکتار زمین زراعی معادل ۲/۲ هکتار جهانی و هر هکتار مرتع معادل ۰/۴۸ هکتار جهانی می‌باشد. این ضرایب با توجه به ظرفیت تولید انواع اراضی ثابت نبوده و در طی زمان تغییر می‌کند. مقادیر استاندارد ضرایب تبدیل معمولاً توسط شبکه جهانی ردپای اکولوژیکی گزارش می‌شود.

به این ترتیب، در تحقیق حاضر نیز با استفاده از این ضرایب تبدیل، ردپای اکولوژیکی هر محصول (efi) بر حسب هکتار جهانی و از معادله زیر محاسبه گردید.

$$efi = Ai \times fe,i$$ معادله (۱۰)

که در آن، fe,i: ضریب تبدیل محصول i (هکتار جهانی بر هکتار) و Ai: مساحت لازم برای تأمین نیاز مصرف محصول i (هکتار) می‌باشند.

محاسبه ردپا اکولوژیکی غذا: در نهایت، ردپای اکولوژیکی (EF) برای کل مواد غذایی بر حسب هکتار جهانی از معادله ۱۱ به‌دست آمد:

1- Equivalence factor

معادله (۱۱) $$EF = \sum_{i=1}^{n} efi$$

ردپای غذای سرانه بر حسب هکتار جهانی به‌ازای هر نفر نیز با تقسیم کردن ردپای اکولوژیکی غذا بر جمعیت دانشجویان دانشگاه (۲۵۳۲۸ نفر) به تفکیک خوابگاهی و غیرخوابگاهی بودن محاسبه گردید.

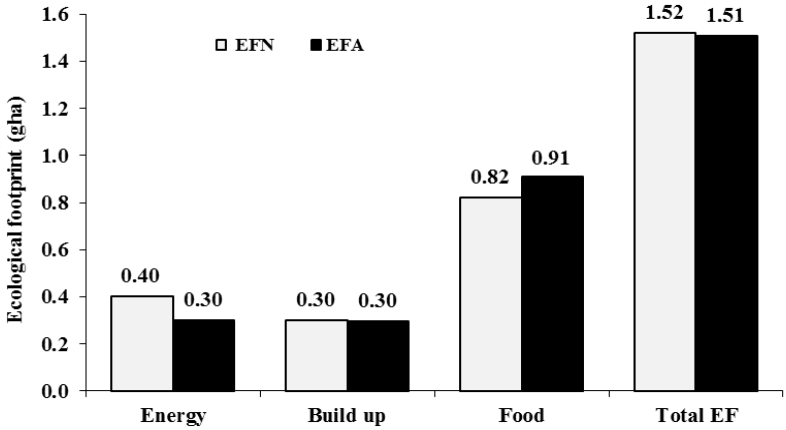
محاسبه ردپای ساخت و ساز

برای محاسبه ردپای ساخت و ساز (مسکن) نیز از اطلاعات پرسش‌نامه موجود در شبکه جهانی ردپا استفاده شد.

نتایج و بحث

مقایسه ردپای کل و اجزای تشکیل‌دهنده آن در دو روش EFN و EFA

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که ردپای اکولوژیکی دانشجویان دانشگاه فردوسی مشهد در دو روش EFA و EFN تفاوتی با یکدیگر نداشته و به‌طور میانگین معادل ۱/۵ هکتار جهانی به‌ازای هر نفر می‌باشد (شکل ۱). بنابراین، اگر چه محاسبه ردپای اکولوژیکی در دو روش EFA و EFN متفاوت بود، امّا نتیجه نهایی تفاوت چندانی نداشت.

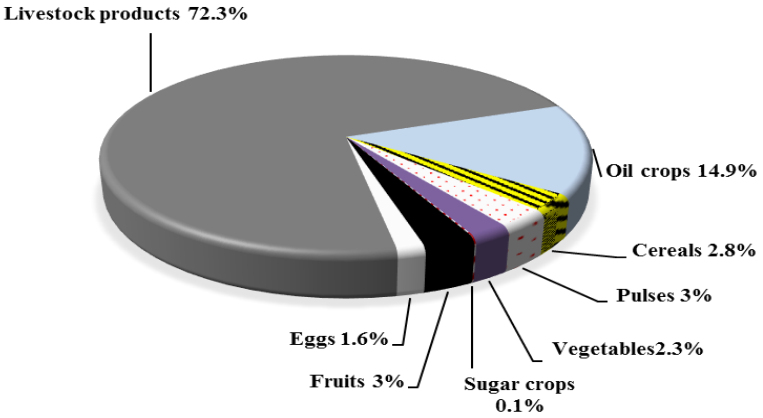


شکل ۱- ردپای اکولوژیکی کل و اجزای تشکیل‌دهنده آن با استفاده از دو روش EFN و EFA
Fig. 1- Total ecological footprint (EF) and its components using EFN and EFA methods

به‌طور کلی، ردپای اکولوژیکی شامل سه جزء اصلی یعنی غذا، ساخت و ساز و انرژی می‌باشد (WWF, 2012). در تحقیق حاضر، ردپای غذای دانشجویان دانشگاه فردوسی مشهد در روش EFN معادل ۰/۸۲ و در روش EFA برابر با ۰/۹۱ هکتار جهانی به‌ازای هر نفر محاسبه شد. بنابراین مساحت لازم برای تولید مواد غذایی مورد استفاده در دانشگاه طی یک سال تحصیلی و برای تمامی دانشجویان معادل ۵۹۷۶ هکتار جهانی می‌باشد که در بین گروه‌های غذایی مورد استفاده، سهم تولیدات دامی با ۷۲/۳ درصد و گیاهان روغنی با ۱۴/۹ درصد، از سایر گروه‌های غذایی مورد استفاده بیشتر بود (شکل ۲). بالاتر بودن سهم تولیدات دامی در ردپای غذای دانشگاه، از یک طرف به‌دلیل مصرف زیاد این تولیدات در برنامه غذایی دانشجویان و از طرفی، به‌دلیل محاسبه ردپای این تولیدات بر اساس میزان علوفه مصرفی در تولید این محصولات و لذا بیشتر بودن مساحت اراضی لازم برای این منظور می‌باشد، زیرا کارایی تبدیل علوفه به گوشت بسته به نوع دام از سه تا شش متغیر است، یعنی برای تولید هر کیلوگرم گوشت به سه تا شش کیلوگرم علوفه نیاز است (WWF, 2002).

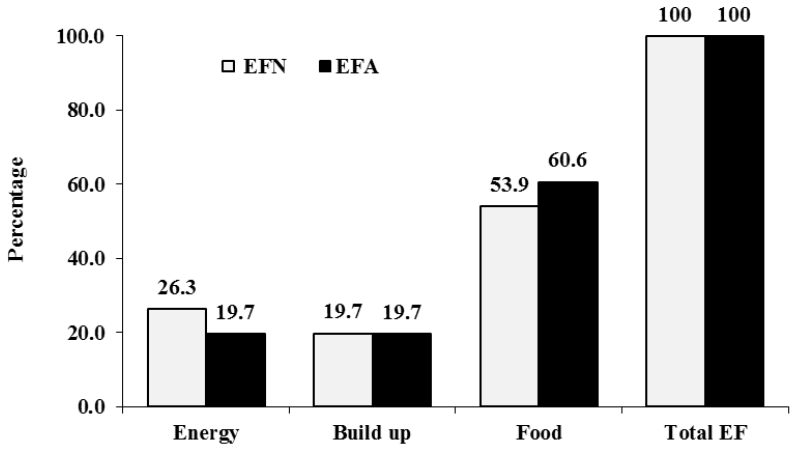
معمولاً شاخص ساخت و ساز (مسکن و سایر فضاهای مورد استفاده) دارای سهم اندکی از ردپای کل می‌باشد (Gan et al., 2012). در تحقیق حاضر نیز مقدار این جزء معادل ۰/۳۰ هکتار جهانی به‌ازای هر فرد محاسبه شد که در هر دو روش مورد استفاده (EFN و EFA) با ۱۹/۷ درصد، کمترین سهم را در ردپای کل داشت

(شکل ۳).



شکل ۲- سهم هر یک از گروه‌های مواد غذایی در میزان کل مصرف غذایی دانشجویان در دانشگاه فردوسی مشهد

Fig. 2- Contribution of different foodstuffs in total food consumption of students in FUM

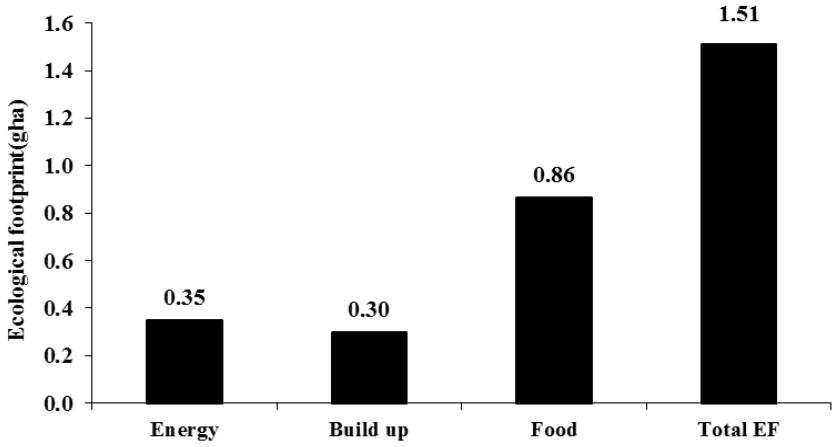


شکل ۳- سهم هر کدام از اجزای ردپا، از ردپای اکولوژیکی کل در دو روش EFN و EFA

Fig. 3- Contribution of each EF component to the total EF in both EFN and EFA methods

اگرچه ردپای غذا در دو روش EFA و EFN، سهم متفاوتی در ردپای کل داشت، امّا در هر دو روش مورد استفاده بیشترین سهم از ردپای کل را به خود اختصاص داد، به‌طوری‌که در روش EFA ۶۰/۶ درصد و در روش EFN ۵۳/۹ درصد از ردپای کل را شامل شد (شکل ۲). ردپای انرژی نیز با ۰/۴۰ و ۰/۳۰ هکتار جهانی به‌ازای هر نفر به‌ترتیب در دو روش EFN و EFA، سهم متفاوتی در ردپای کل دانشجویان دانشگاه داشت، به‌طوری‌که در روش EFN این شاخص ۲۶/۳ درصد از ردپای کل را به خود اختصاص داد، درحالی‌که در روش EFA با سهمی معادل ۱۹/۷ درصد، تأثیر کمتری در ردپای کل داشت (شکل ۳).

به‌منظور بالا بردن دقت و به‌دلیل تفاوت جزئی بعضی از اجزای در محاسبه ردپای اکولوژیکی در دو روش مورد نظر (EFN و EFA)، ردپای اکولوژیکی کل برای دانشجویان دانشگاه فردوسی مشهد، از میانگین دو روش مورد نظر استفاده گردید که مقدار آن معادل ۱/۵۱ هکتار جهانی به‌ازای هر نفر بود (شکل ۴).



شکل ٤- ردپای کل دانشجویان دانشگاه و اجزای تشکیل‌دهنده آن بر مبنای میانگین دو روش محاسباتی مورد استفاده در این تحقیق

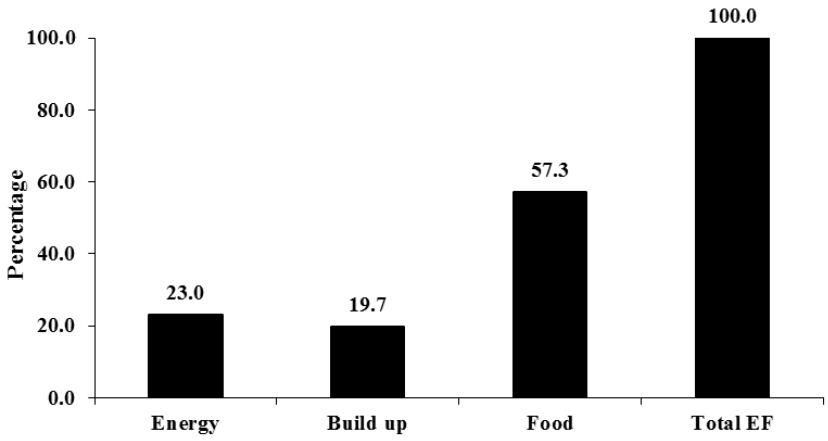
Fig. 4- Total footprint and its constituents averaged over two calculation methods

بررسی اجزای تشکیل‌دهنده ردپای کل دانشجویان نشان داد که سهم هر کدام از اجزا از ردپای کل متفاوت بود، به‌طوری‌که ردپای غذا با ۰/۸۶ هکتار جهانی به‌ازای هر نفر، ۵۷/۳ درصد از ردپای کل را به خود اختصاص داد (شکل ۵). بررسی سهم دانشجویان خوابگاهی و غیرخوابگاهی در ردپای غذای دانشگاه نیز نشان داد که دانشجویان خوابگاهی با ۹۳ درصد، دارای سهم قابل توجهی در ردپای غذای دانشگاه بودند، درحالی‌که دانشجویان غیرخوابگاهی با هفت درصد سهم اندکی در این شاخص داشتند. دلیل بیشتر بودن سهم دانشجویان خوابگاهی در مقایسه با دانشجویان غیرخوابگاهی نیز استفاده دانشجویان خوابگاهی از سه وعده غذایی در دانشگاه می‌باشد، درحالی‌که دانشجویان غیرخوابگاهی تنها مجاز به استفاده از یک وعده غذایی (ناهار) در دانشگاه می‌باشند.

ردپای انرژی با ۰/۳۵ هکتار جهانی به‌ازای هر فرد و سهمی برابر با ۲۳ درصد از ردپای کل، بعد از ردپای غذا، بیشترین سهم و ردپای ساخت و ساز نیز با ۱۹/۷درصد کمترین سهم را در ردپای کل دانشجویان دانشگاه فردوسی مشهد داشتند (شکل ۵). بررسی ردپای اکولوژیکی دانشجویان دانشگاه پلی تکنیک کوآنتلن در کشور کانادا نشان داد که مقدار این شاخص برای دانشجویان دانشگاه معادل ۰/۵۲ هکتار جهانی می‌باشد. سهم اجزای ردپا در دانشگاه مذکور با نتایج تحقیق حاضر متفاوت بوده، به‌طوری‌که در بین اجزای ردپای کل دانشجویان آن، ردپای انرژی با ۹۰/۸ درصد بیشترین سهم را در ردپای کل داشت که دلیل آن استفاده زیاد از مسافرت‌های هوایی و خودروهای شخصی بود که هر کدام به‌ترتیب ۳۲/۳ و ۳۱/۱ درصد از ردپای کل را تشکیل دادند. ردپای ساخت و ساز با ۷/۴ درصد بعد از ردپای انرژی بیشترین سهم را در ردپای کل دانشگاه مذکور داشت، درحالی‌که ردپای غذا با ۱/۸ درصد، به‌عنوان کوچک‌ترین جزء ردپا محاسبه شد (Wolthers et al., 2014).

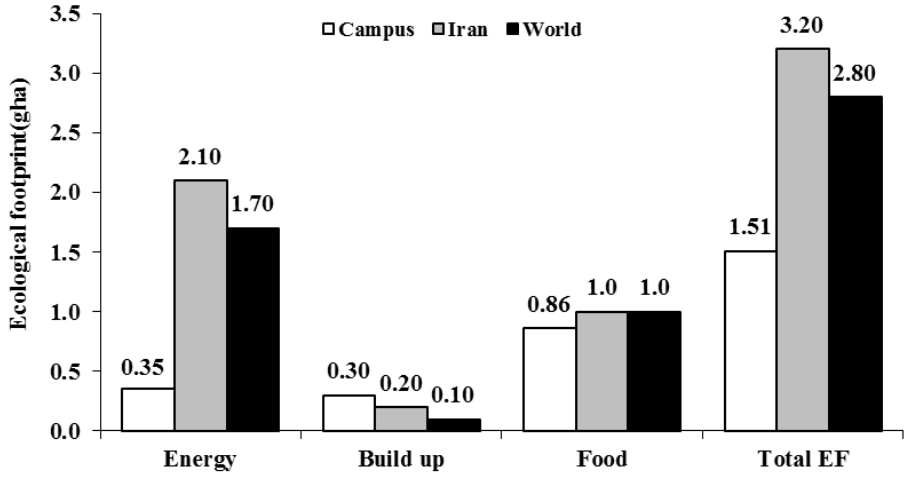
مقایسه ردپای اکولوژیکی دانشجویان دانشگاه فردوسی مشهد با میانگین ایران و جهان طبق گزارش شبکه جهانی ردپا در سال ۲۰۱۸، میانگین جهانی ردپای اکولوژیکی برابر ۲/۸۰ و برای کشور ایران برابر ۳/۲۰ هکتار جهانی به‌ازای هر فرد بوده است (GFN, 2018). این آمار و ارقام نشان می‌دهد که ردپای اکولوژیکی دانشجویان دانشگاه فردوسی مشهد نه تنها از ردپای جهانی بلکه از ردپا در سطح ملی نیز کمتر می‌باشد (شکل ۶). به نظر می‌رسد که این امر به‌دلیل استفاده بیشتر دانشجویان از سرویس‌های حمل و نقل عمومی، استفاده کمتر از کالاهای مصرفی در طی یک سال و لذا تولید کمتر ضایعات و از طرفی، به‌دلیل بازیافت حجم قابل توجهی از ضایعات تولیدی در دانشگاه باشد که همین مسئله باعث کاهش

چشمگیر ردپای انرژی دانشجویان دانشگاه و در نهایت، کاهش ردپای اکولوژیکی کل در مقایسه با سطح ملی و جهانی شده است. در تحقیقی مشابه، محاسبه ردپای اکولوژیکی در بین دانشجویان دانشگاه میندانائو در کشور فیلیپین نشان داد که مقدار این شاخص در بین دانشجویان، نه تنها نسبت به شهروندان عادی بلکه از مقدار جهانی این شاخص نیز کم‌تر می‌باشد، به‌طوری‌که مقدار این شاخص برای دانشجویان ۱/۲۱ و برای شهروندان عادی ۱/۳۰ هکتار جهانی به‌دست آمد. در بین اجزای شاخص مورد محاسبه، رد پای انرژی (با ۴۶ درصد) بیشترین سهم را در میزان ردپای کل دانشجویان آن دانشگاه داشت (Medina & Toledo, 2016).



شکل ۵- سهم اجزای تشکیل‌دهنده ردپا، از ردپای اکولوژیکی کل

Fig. 5- Ecological Footprint components and the contribution of each component

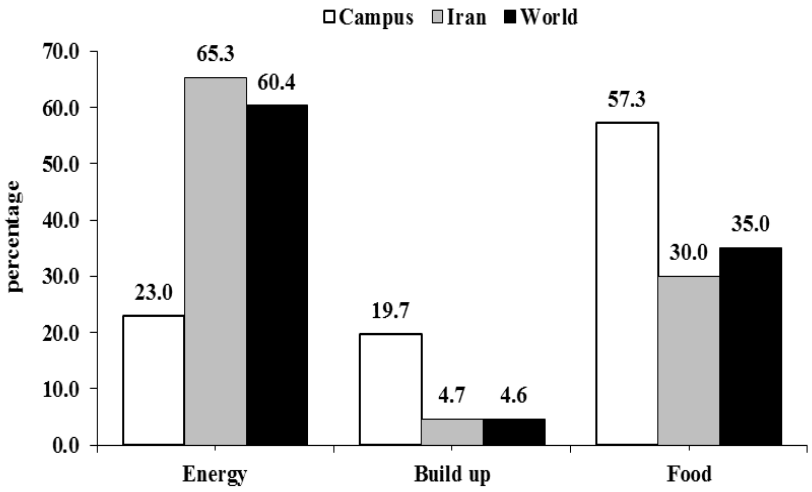


شکل ٦- مقایسه ردپای کل و اجزای تشکیل‌دهنده آن در مقیاس دانشگاه فردوسی مشهد، ملی و جهانی

Fig. 6- Total Ecological Footprint and its components for the Ferdowsi University of Mashhad, global and national scales

بررسی اجزای تشکیل‌دهنده ردپای جهانی و ملی نشان می‌دهد که بیشترین سهم در افزایش این دو شاخص، به‌ترتیب مربوط به

اجزای انرژی و غذا می‌باشد، به‌طوری‌که سهم جزء انرژی در دو میانگین جهانی و ملی به‌ترتیب برابر با ۶۰/۴ و ۶۵/۳ درصد و سهم جزء غذا نیز به‌ترتیب برابر با ۳۵ و ۳۰ درصد از ردپای کل می‌باشد (شکل ۷). اگرچه ردپای ساخت و ساز دانشجویان از میانگین جهانی و ملی بیشتر بود، امّا دلیل کمتر بودن ردپای کل دانشجویان نسبت به میانگین جهانی و ملی، پایین‌تر بودن ردپای انرژی آن‌ها می‌باشد. به نظر می‌رسد دلیل بیشتر بودن جزء ساخت و ساز در ردپای اکولوژیکی دانشجویان دانشگاه نیز وجود فضاهای آموزشی، تفریحی و ورزشی بیشتر در محیط دانشگاه باشد.



شکل ۷- مقایسه درصد اجزای تشکیل‌دهنده ردپای اکولوژیکی در مقیاس دانشگاه فردوسی مشهد، ملی و جهانی

Fig. 7- Comparison of percentages of components for the Ferdowsi University of Mashhad, global, and national scales

مقایسه ردپای اکولوژیکی بر اساس جنسیت، مقطع تحصیلی و دانشکده مقایسه ردپای اکولوژیکی دانشجویان دانشگاه به تفکیک جنسیت نشان داد که مقدار این شاخص برای دانشجویان دختر و پسر یکسان بوده (۱/۵۱) و تفاوتی بین ردپای آن‌ها وجود ندارد. محاسبه ردپای اکولوژیکی دانشجویان دانشگاه پنجاب هند نشان داد که مقدار این شاخص برای دانشجویان (۵/۵۸) در مقایسه با شهروندان عادی (۰/۹۱) بسیار بالاتر بود و بین دانشجویان دختر و پسر دانشگاه، تفاوت معنی‌داری از نظر ردپای اکولوژیکی وجود نداشت. آن‌ها دلیل بالا بودن ردپای اکولوژیکی دانشجویان دختر و پسر را، مصرف بالای انرژی، استفاده بیشتر از تکنولوژی‌های پیشرفته، خرید کالاهای بیشتر و همچنین مصرف بیشتر غذاهایی که تولید و فرآوری آن‌ها اثرات زیست‌محیطی بیشتری را به دنبال دارد، بیان کردند (Raj et al., 2012).

اگرچه ردپای اکولوژیکی دانشجویان دختر و پسر تفاوتی با یکدیگر نداشت، امّا مقدار این شاخص برای مقاطع مختلف تحصیلی متفاوت به‌دست آمد، به‌طوری‌که مقدار ردپای اکولوژیکی برای مقطع کارشناسی ۱/۵۶ و برای مقطع تحصیلات تکمیلی برابر با ۱/۴۶ هکتار جهانی به‌ازاء هر نفر بودکه دلیل این امر، بیشتر بودن شاخص ردپای انرژی (به‌میزان ۱۲ درصد) و غذا (به‌میزان هشت درصد)، در مقطع کارشناسی در مقایسه با تحصیلات تکمیلی می‌باشد. به نظر می‌رسد به‌دلیل بیشتر بودن ساعات آموزشی دانشجویان مقطع کارشناسی نسبت به تحصیلات تکمیلی، این دانشجویان در طول هفته ساعات بیشتری را در پردیس دانشگاه گذرانده و بنابراین، تردد بیشتری با وسایل نقلیه در دانشگاه داشته و همچنین وعده‌های غذایی بیشتری را از غذاخوری دانشگاه استفاده می‌کنند.

بررسی ردپای اکولوژیکی دانشجویان به تفکیک دانشکده نیز

نشان داد که نه تنها مقدار این شاخص برای دانشکده‌های موجود در دانشگاه یکسان نبود، بلکه در بعضی موارد تفاوت قابل توجهی بین دانشکده‌ها مشاهده شد، به‌طوری‌که کمترین مقدار این شاخص با ۱/۳۰ هکتار جهانی مربوط به دانشکده الهیات و بیشترین مقدار آن با ۱/۷۷ هکتار جهانی مربوط به دانشکده معماری بود (جدول ۱). دلیل بیشتر بودن ردپای دانشجویان دانشکده معماری، بالاتر بودن شاخص‌های ردپای غذا و انرژی (ناشی از حمل و نقل و ضایعات) این دانشکده، و از طرفی، دلیل پایین‌تر بودن این شاخص برای دانشجویان دانشکده الهیات، کمتر بودن مقدار ردپای غذا و به‌خصوص انرژی برای این دانشکده بود.

نتایج حاصله همچنین نشان داد که دانشکده‌های مرتبط با گروه‌های علوم انسانی، ردپای کمتر و دانشکده‌های گروه‌های مهندسی، از ردپای اکولوژیکی بیشتری برخوردار بودند. به‌دلیل این که گروه‌های مهندسی برای انجام تحقیقات درسی خود به امکانات و وسایل ازمایشگاهی قابل توجهی نیاز دارند، بنابراین میزان تولید ضایعات و مصرف انرژی آن‌ها در مقایسه با گروه‌های علوم انسانی بیشتر بوده و ردپای اکولوژی بیشتری دارند. مقایسه رشته‌های مختلف برای دانشجویان دانشگاه پنجاب هند از نظر ردپای اکولوژیکی نیز نشان داد که بیشترین ردپای اکولوژیکی مربوط به دانشجویان گروه‌های مهندسی بود. دلیل این امر، بیشتر بودن تعداد دانشجویان خوابگاهی این رشته‌ها بیان شد، زیرا رد پای اکولوژیکی دانشجویان خوابگاهی در تحقیق آن‌ها، به‌طور معنی‌داری (۲۹ درصد) از ردپای اکولوژیکی دانشجویان غیرخوابگاهی بیشتر بود (Raj et al., 2012).

جدول ۱- ردپای اکولوژیکی دانشجویان دانشگاه فردوسی مشهد به تفکیک دانشکده

Table 1- Ecological Footprint of students of FUM for different faculties

دانشکده Faculty	غذا Food	ساخت و ساز Build up	انرژی Energy	ردپای کل Total EF
الهیات و معارف اسلامی Theology and islamic studies	0.75	0.30	0.25	1.30
ادبیات و علوم انسانی Letters and humanities	0.85	0.30	0.37	1.52
علوم تربیتی و روان‌شناسی Education and psychology science (FEP)	0.83	0.30	0.31	1.44
ریاضیات Mathematical sciences	0.77	0.30	0.35	1.42
کشاورزی Agriculture	0.85	0.30	0.30	1.45
تربیت بدنی Sport sciences	0.89	0.30	0.33	1.52
دامپزشکی Veterinary sciences	0.84	0.30	0.33	1.47
علوم اداری و اقتصاد Economics and administrative sciences	0.77	0.30	0.33	1.40
منابع طبیعی و محیط زیست Natural resources and environment	0.97	0.30	0.30	1.57
مهندسی Engineering	0.84	0.30	0.46	1.60
معماری و شهرسازی Architecture and urbanism	0.98	0.30	0.49	1.77
علوم Science	0.92	0.30	0.32	1.54

نتیجه‌گیری

ردپای اکولوژیکی دانشجویان دانشگاه فردوسی مشهد در سال تحصیلی ۱۳۹۷-۱۳۹۶، معادل ۱/۵۱ هکتار جهانی محاسبه شد که از

مقدار آن در سطح جهانی و ملی کمتر می‌باشد. در بین اجزای تشکیل‌دهنده ردپای کل، ردپای غذا بیشترین تأثیر را در افزایش ردپای دانشجویان این دانشگاه داشت. بین ردپای اکولوژیکی دانشجویان دختر و پسر دانشگاه تفاوتی وجود نداشت، امّا در مقایسه دانشجویان کارشناسی و تحصیلات تکمیلی، ردپای دانشجویان کارشناسی بیشتر بود. دانشجویان رشته معماری در مقایسه با دانشجویان سایر دانشکده‌ها، بیشترین و دانشجویان دانشکده الهیات کمترین ردپای اکولوژیکی را داشتند. بررسی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که ردپای اکولوژیکی، شاخص مناسبی برای نشان دادن وضعیت پایداری دانشگاه، شهر و یک جامعه می‌باشد و می‌تواند به مدیران و تصمیم‌گیرندگان برای رسیدن به اهداف پایداری کمک کند. به نظر می‌رسد برای کاهش ردپای دانشجویان و خصوصاً ردپای ملی درکشور، می‌توان از راهکارهای مناسبی مانند افزایش کارایی مصرف انرژی‌های مختلف، تشویق دانشجویان و شهروندان به استفاده بیشتر از سرویس‌های حمل‌ونقل عمومی و استفاده بیشتر از تولیدات گیاهی در رژیم غذایی استفاده کرد.

سپاسگزاری

بودجه این پژوهش (با کد طرح ۴۷۸۹۰) از محل اعتبارات معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین گردید که بدین وسیله از ایشان سپاسگذاری می‌شود. همچنین از مدیریت اداری و پشتیبانی و مدیریت اداره تغذیه دانشگاه، به‌منظور تهیه اطلاعات و داده‌های لازم جهت انجام تحقیق حاضر، کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

Alshuwaikhat, H.M., Abubakar, I., 2008. An integrated approach to achieving campus sustainability: Assessment of the current campus environmental management practices. Journal of Cleaner Production https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.12.002

Baboulet, O., Lenzen, M., 2010. Evaluating the environmental performance of a university. Journal of Cleaner Production 18(12): 1134-1141. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.04.006

Bennett, M., Hopkinson, P., and James, P., 2006. Benchmarking Environmental Performance in the English University Sector. The Experience of the Higher Education Environmental Performance Improvement (HEEPI) Project. Sustainability Accounting and Reporting 409- 430. Biodiversity. Journal of Biological Conservation 173: 121–132. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4974-3_18

Clay, J., 2011. Freeze the footprint of food. Journal of Nature 475: 287–289. https://doi.org/10.1038/475287a

Conway, T.M., Dalton, C., Loo, J., and Benakoun, L., 2008. Developing ecological footprint scenarios on university campuses: A case study of the University of Toronto at Mississauga. International Journal of Sustainability in Higher Education 9(1): 4-20 https://doi.org/10.1108/14676370810842157

Dawe, G.F.M., Vetter, A., and Martin, S., 2004. An overview of ecological footprint and other tools and their application to the development of sustainability process. Journal of Sustainability in Higher Education 4: 340–371. https://doi.org/10.1108/14676370410561063

Dietrich, H.L., 2013. The role of emotion in environmental decision making. Ph.D. Dissertations and Student Research: Nebraska- Lincoln University. Nebraska, USA.

Flint, K., 2001. Institutional ecological footprint analysis: A case study of the University of Newcastle, Australia. Journal of Sustainability in Higher Education 2: 48–62. https://doi.org/10.1108/1467630110380299

Franz, J., and Papyrakis, E., 2011. Reconsidering the ‘ecological footprint’ index: Does it promote sustainable behavior? Available online at Web site http://www.esee2009. Si/papers/Papyrakis (verified 16 June 2011).

Galli, A., Wiedmann T., Ercin E., Knoblauch, D., Ewing, B., and Giljum, S., 2012. Integrating Ecological, Carbon and Water footprint into a “Footprint Family” of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet. Ecological Indicators 16: 100–112. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.017

Gan, Y., Liang, C., Huang, G., Malhi, S.S., Brandt, S.A., and Mupondwa, F.K., 2012. Carbon footprint of canola and mustard is a function of the rate of N fertilizer. International Journal of Life Cycle Assessment 17: 58–68. https://doi.org/10.1007/s11367-011-0337-z

Global Footprint Network (GFN)., 2018. Ecological Footprint. Available at Web site *https://www.footprintnetwork.org*

(verified 20 December 2019).

Hails, C., Loh, J., and Goldfinger, S., 2006. Living Planet Report. World Wide Fund for Nature International (WWF), Zoological Society of London (ZSL), Global Footprint Network, Gland, Switzerland. Available at Web site *https://www.panda.org/livingplanet* (verified 8 June 2010).

Kitzes, J.A., Galli, M., Baglianic, J., Barrett, G., Dige, S., Ede, K., Erb, S., Giljum, H., Haber, C., Hails, L., Jolia - Ferrierj, S., Jungwirt, M., Lenzen, K., Lewis, J., Loh, N., Marchettini, H., Messingero, K., Milnek, R., Molesp, C., Monfred, D., Moran, K., Nakano, A., Pyhalat, W., Rees, C., Simmons, M., Wackernagel, Y., Wada, C., Walsh and Wiedmanm. T., 2009. A research agenda for improving national Ecological Footprint accounts. Journal of Ecological Economics 68: 1991–2007. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.022

Kitzes, J., Peller, A, Goldfinger, S., Wackernagel, M., 2007. Current methods for calculating national ecological footprint accounts. Journal of Environmental Science for Sustainable Society 4(1): 1-9.

Lambrechts, W., and Liedekerke, L.V., 2014. Using ecological footprint analysis in higher education: Campus operations, policy development and educational purposes. Journal of Ecological Indicators 45: 402–406. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.04.043.

Medina, M.A.P., and Toledo-Bruno, A.G., 2016. Ecological footprint of university students: Does gender matter? Global Journal of Environmental Science and Management 2(4): 339-344. https://doi.org/10.22034/gjesm.2016.02.04.003

Raj, S., Goel, S., Sharma, M., and Singh, A., 2012. Ecological footprint score in university students. Journal of Environmental and Occupational Science 1(1): 23-26. DOI : 10.5455/jeos.20120610031942

See, T.A., Weng Wai, C., and Safitri Zen, I., 2016. Ecological Footprint of Research University Students: A Pilot Case Study in Universiti Teknologi Malaysia. MATEC Web of Conferences 66, 00073. January 2016 pp. 1-5. https://doi.org/10.1051/matecconf/20166600073

Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., and Ludwig, C., 2015. The trajectory of the Anthropocene: the great acceleration. The Anthropocene Review 1(2): 81-98. https://doi.org/10.1177/2053019614564785

United Nations Environment Programme (UNEP)., 2012. Global Outlook on Sustainable Consumption and Production Policies: Taking Action Together United Nations Environment Program, Nairobi. Available at Web site www.unenvironment.org (verified 5 February 2013).

United Nations Environment Programme (UNEP)., 2015. Global Outlook on Sustainable Consumption and Production Policies: Taking Action Together United Nations Environment Programme, Nairobi. Available at Web site www.unenvironment.org (verified 25 December 2015).

Velazquez, L., Munguia, N., Platt, A., and Taddei. J., 2006. Sustainable university: What can be the matter? Journal of Cleaner Production 14(9): 810-819. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.12.008

Venetoulis, J., 2001. Assessing the ecological impact of a university, Ecological footprint for the University of Redlands. International Journal of Sustainability in Higher Education 2(2): 180-196. https://doi.org/10.1108/14676370110388381

Wackernagel, M., and Rees, W., 1996. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth, New Society Publishers, and Gabriolia Island, BC. 9(2):135-149.

Wackernagel, M., Monfreda, C., Schulz, N.B., Erb, K.H., Haberl, H., and Krausmann, F., 2004. Calculating national and global ecological footprint time series: resolving conceptual challenges. Journal of Land Use Policy 21: 271–278. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2003.10.006.

Wolthers, H., Williamson, A., Urera, S., Syta, A., Scott, C., Moosuddee, S., McCartney, C., and Burgess, B., 2014. The Ecological Footprint of Kwantlen Polytechnic University. Edited by Sinead Speirs, Corinna Souder and Bill Burgess, Geog 4501, Fall 2014.

World Wide Fund for Nature (WWF)., 2002. Living Planet Report 2002. World Wildlife Found Editor. Available at Web site https://www.worldwildlife.org (verified 5 October 2002).

World Wide Fund for Nature (WWF)., 2012. Living Planet Report 2012: Biodiversity, biocapacity and better choices. Gland, Switzerland. Available at Web site https://www.worldwildlife.org (verified 20 December 2013).

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

CC BY

Research Article
Vol. 14, No. 3, Fall 2022, p. 415-427

Study on Tillage Systems and Residue Management Application on Yield and Yield Components of Wheat (*Triticum aestivum* L.) in Mashhad Condition

E. Ebrahimian[1], A. Koocheki[2*], M. Nassiri Mahallati[2], S. Khorramdel[3], and A. Beheshti[4]

Received: 22-11-2014
Revised: 25-01-2015
Accepted: 05-04-2015
Available Online: 13-12-2022

How to cite this article:
Ebrahimian, E., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Khorramdel, S., and Beheshti, A., 2022. Study on tillage systems and residue management application on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) in Mashhad condition. Journal of Agroecology 14(3): 415-427.
DOI: 10.22067/jag.v1i1.41560

Introduction

The continuation of agricultural operations, based on conventional ploughing along with the removal or burning of plant residues, can lead to soil degradation and erosion. The increase in environmental pollution and the exploitation of new technologies in the direction of sustainable agriculture should be taken into account seriously. Along with conservation tillage, maintaining or adding plant residues, especially wheat mulch, on the soil surface can also be emphasized. Increased yield, stimulated soil microbial activity, improved soil structure and reduced water erosion are among the beneficial consequences of wheat residues on the soil. Determining the effects of crop residue and tillage systems on productivity is essential for sustainable land management. Therefore, the current experiment was carried out to investigate the effect of different tillage systems and wheat residue levels on growth indicators, yield, and yield components of wheat.

Materials and Methods

In order to study the effect of tillage systems and residue management on yield and yield components of wheat, a field study was conducted as a split block experiment in a randomized complete block design with three replications. The experiment was implemented at the experimental site of the Ferdowsi University of Mashhad, Iran, in the 2013 growing season to evaluate the impact of tillage systems and wheat residue application on growth parameters, yield, and yield components of wheat. For this purpose, four different tillage systems (disk, mouldboard plough + disk, sweep plough + disk, and chisel plough + disk) as were employed vertical factors in combination with five different crop residue applications (0, 25, 50, 75, and 100% wheat residue) as horizontal factors. The number of ears per plant, seed number per ear and plant, 1000 seed weight, grain, and biological yields of wheat were determined. Experimental data were analysed considering the analysis of variance using SAS 9.3. In order to determine the statistical differences between treatments, the least significant difference (LSD) was performed at the $p \leq 0.05$.

Results and Discussion

According to the results, the highest leaf area index and crop growth rate of wheat were observed in 167 and 151 days after sowing. These times were equal to the beginning of seed filling. The chisel plough + disk tillage system

1- PhD. Student of Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, International Campus, Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
4- Associate Professor, Research Center for Agriculture and Natural Resources, Mashhad, Iran.
* Corresponding author: akooch@ferdowsi.um.ac.ir

increased the leaf area index and crop growth rate by 14 and 21%, respectively, compared with the mouldboard plough + disk tillage system. In addition, the lowest and the highest ear number per plant and seed yield were observed when disk and chisel plough + disk tillage systems were applied, respectively. In general, the chisel system creates relatively deep furrows in the soil, but unlike the mouldboard plough, it does not cause overturning. As a result, at the same time as a decrease in the loss of moisture and nutrients, slight changes in the soil structure are caused. The results showed that by increasing wheat residues up to 75%, the leaf area index and plant growth rate considerably increased. For example, at the level of 75%, these traits were registered up to 35 and 60%, respectively, more than the control treatment. Moreover, ear number per plant and seed yield significantly increased with increasing crop residue application. In a general statement, providing as much organic matter and nutrients as possible is considered one of the main benefits of applying wheat residues on the soil surface. Hence, an increase in the leaf area index, growth rate, and seed yield of wheat following the application of straw residues may be due to the gradual decay of plant residues during the growing season and, subsequently, the availability of nutrients required for plant growth.

Conclusion

Application of wheat residue and reduced tillage (based on disk and chisel plough) as an ecological approach can be recommended in arid and semi-arid regions of Iran to increase wheat yield and promote sustainable production.

Keywords: Chisel plough, Leaf area index, Mouldboard plough.

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

مقاله پژوهشی

بررسی عملکرد و اجزای عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و سطوح بقایا در شرایط آب و هوایی مشهد

الناز ابراهیمیان[1]، علیرضا کوچکی[2*]، مهدی نصیری محلاتی[2]، سرور خرم‌دل[3] و علیرضا بهشتی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۳/۱۱/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۱/۱۶

ابراهیمیان، ا.، کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م.، خرم‌دل، س.، و بهشتی، ع.، ۱۴۰۱. بررسی عملکرد و اجزای عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و سطوح بقایا در شرایط آب و هوایی مشهد. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۳): ۴۲۷-۴۱۵.

چکیده

به‌منظور بررسی شاخص‌های رشدی، عملکرد و اجزای عملکرد گندم رقم گاسکوژن (*Triticum aestivum* L.) تحت تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و سطوح بقایای گیاهی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت بلوک بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام شد. در این آزمایش نوع مدیریت خاک‌ورزی در چهار سطح (دیسک، گاوآهن برگردان‌دار + دیسک، گاوآهن پنجه غازی + دیسک، گاوآهن قلمی + دیسک) به‌عنوان فاکتور عمودی و مدیریت بقایای گندم در پنج سطح (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد عملکرد کاه گندم) به‌عنوان فاکتور افقی در نظر گرفته شدند. در این آزمایش صفاتی مانند تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله و در بوته، وزن دانه در سنبله و در بوته، وزن هزار دانه و نیز عملکرد دانه و بیولوژیک گندم تعیین شد. نتایج نشان داد که حداکثر شاخص سطح برگ و سرعت رشد گندم به‌ترتیب در ۱۶۷ و ۱۵۱ روز پس از کاشت اتفاق افتاد که تقریباً منطبق با شروع پر شدن دانه بود. در این مرحله، شاخص سطح برگ و سرعت رشد گندم در نتیجه اجرای شخم با گاو آهن قلمی + دیسک ، به‌ترتیب تا ۱۴ و ۲۱ درصد بیش از گاو آهن برگردان + دیسک بود. کمترین و بیشترین تعداد سنبله در بوته و عملکرد دانه به‌طور معنی‌دار در نتیجه استفاده از دیسک و گاو آهن قلمی + دیسک مشاهده شد. همچنین با افزایش سطوح کاربرد بقایای گندم تعداد سنبله در بوته و عملکرد دانه گندم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. طبق نتایج آزمایش، می‌توان در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، کاربرد بقایای گندم همراه با خاک‌ورزی کاهش یافته توسط گاو آهن قلمی را به‌عنوان رهیافت‌های اکولوژیک جهت افزایش عملکرد و تولید پایدار گندم پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: شاخص سطح برگ، شخم حفاظتی، گاو آهن برگردان‌دار، گاو آهن قلمی.

۱- دانشجوی دکتری، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، پردیس بین‌الملل دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۲- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳- استادیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد،ایران.
۴- دانشیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: kooch@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/jag.v1i1.41560

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از محصولات استراتژیک در کشور بوده که حدود ۱۱۸۹ کیلو کالری در روز، انرژی مورد نیاز هر فرد ایرانی را تأمین می‌کند. مصرف سرانه گندم در ایران بالغ بر ۱۵۲/۳۰ کیلوگرم در سال گزارش شده است (FAO, 2011). در سال ۱۳۹۰، سطح زیر کشت گندم در کشور حدود ۶/۴ میلیون هکتار برآورد شده که ۳۹ درصد آن به‌صورت آبی می‌باشد. در این سال، میزان تولید گندم در کشور نیز ۱۲/۳ میلیون تن بوده که ۶۹ درصد آن حاصل کشت آبی است. سطح زیر کشت و تولید گندم آبی در استان خراسان رضوی نیز به‌ترتیب ۲۴۵ هزار هکتار و ۶۱۰ هزار تن برآورد شده است (Jahade Keshavarzi, 2011).

اجرای مداوم عملیات زراعی که اساس آن شخم رایج همراه با حذف بقایای گیاهی یا سوزاندن آن‌ها می‌باشد، سبب تخریب و فرسایش خاک می‌شود (Foroughifar & Poor-Kasmani, 2002; Nasssiri Mahallati et al., 2008). در واکنش به افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، فرسایش خاک و نگرانی‌های عمومی در ارتباط با افزایش بروز آلودگی‌های زیست محیطی، نیاز به به‌کارگیری فناوری‌های جدید در راستای دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار ضروری می‌باشد (Koocheki & Boroumand Rezazadeh, 2009; Limon-Ortega et al., 2008).

انتخاب روش خاک‌ورزی و نوع ادوات مورد استفاده، تأثیر فراوانی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک دارد (Schillinger, 2005; Tripathi et al., 2007). از سوی دیگر، خاک‌ورزی بیش از حد، حذف بقایای گیاهی و به‌ویژه سوزاندن آن‌ها، ضمن تسریع فرسایش، با کاهش باروری و تخریب خاک می‌تواند عملکرد و ثبات اکوسیستم‌های زراعی را در دراز مدت تحت تأثیر قرار دهد (Srinivasan et al., 2012). بنابراین، اجرای عملیاتی مانند بازگرداندن و حفظ بقایای گیاهی (Aoyama et al., 1999; Blair et al., 2006) و به‌ویژه استفاده از شخم حفاظتی (Gale & Cambardella, 2000) می‌تواند در کاهش مشکلات ذکر شده نقش مهمی ایفا نمایند.

خاک‌ورزی حفاظتی مبتنی بر دو اصل کاهش فرسایش و حفظ بقایای گیاهان زراعی در سطح خاک می‌باشد (Nasssiri Mahallati et al., 2008; Koocheki & Boroumand Rezazadeh, 2009). که این دو اصل با پوشش سطح خاک تا حد امکان توسط بقایای گیاهی، عدم تخریب و فشرده‌سازی خاک و همچنین ایجاد تنوع زیستی با استفاده از تناوب زراعی تحقق می‌یابد (Hobbs et al., 2008). کاهش فرسایش و رواناب سطحی، افزایش پایداری خاکدانه‌ها و کاهش تشکیل سله، نفوذپذیری و بهبود محتوی رطوبتی خاک، از جمله فواید استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی می‌باشد (Farooq et al., 2011). اریتز و همکاران (Oritz et al., 2008) بیان نمودند که مزایای سیستم بدون شخم بیشتر تحت تأثیر نگهداری بقایا در سطح خاک می‌باشد و درصد کمی از آن وابسته به عدم خاک‌ورزی است. در راستای اجرای خاک‌ورزی حفاظتی، گاو آهن قلمی و پنجه غازی از جمله ادوات مهم و مؤثری بوده که علاوه‌بر حفظ هر چه بیشتر بقایای گیاهی و ذخیره رطوبتی در خاک، نیاز به نیروی کششی کمتری در مقایسه با ادوات شخم رایج به‌ویژه گاو آهن برگردان دارند (Azim zadeh et al., 2002; Mohammadi Et al., 2009).

در کنار اجرای خاک‌ورزی حفاظتی، حفظ و یا افزودن بقایای گیاهی به‌ویژه کاه و کلش گندم در سطح خاک نیز می‌تواند نقش مؤثری در افزایش حاصلخیزی خاک داشته باشد (Rezvani Moghaddam et al., 2013) در کنار افزایش عملکرد، تحریک فعالیت میکروبی خاک، بهبود ساختمان خاک، افزایش نفوذ پذیری و کاهش فرسایش آبی (De Gryze et al., 2005; Monzon et al., 2006; Bastian et al., 2009) از جمله اثرات مفید کاربرد بقایای گندم در سطح خاک می‌باشند. در مطالعه‌ای پنج ساله به‌منظور ارزیابی تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی (حداقل خاک‌ورزی با حفظ بقایای گیاهی، حداقل خاک‌ورزی بدون وجود بقایای گیاهی و خاک‌ورزی رایج) بر کیفیت و عملکرد گندم گزارش شد که کاهش خاک‌ورزی با حفظ بقایای گندم در سطح خاک، سرعت رشد، عملکرد و کیفیت محصول را بهبود می‌بخشد (Ghuman & Sur, 2001).

این آزمایش با هدف بررسی تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و سطوح بقایای گندم بر شاخص‌های رشدی، عملکرد و اجزای عملکرد گندم انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت اسپلیت بلوک (بلوک‌های خرد شده) بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی

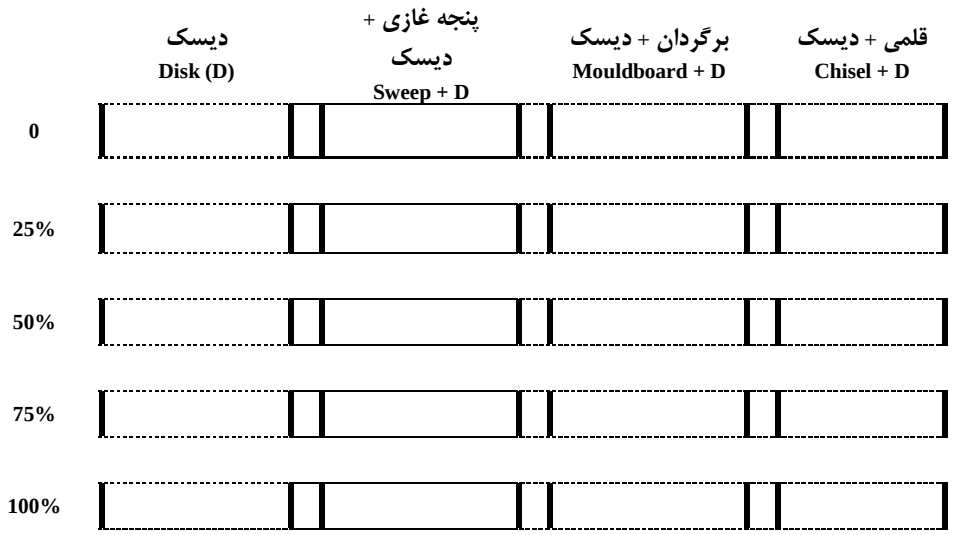
دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با طول و عرض جغرافیایی به‌ترتیب برابر با ۲۸°۵۹′ شرقی، ۱۵°۳۶′ شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ انجام شد. قبل از اجرای آزمایش جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر خاک محل اجرای آزمایش انجام گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Some of physical and chemical properties of field soil in experiment

بافت Texture	نیتروژن قابل جذب Available N ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل جذب Available P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب Available K ($m.kg^{-1}$)	کربن آلی OC (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)
لومی- سیلتی Silty-loam	17.41	8.43	142.31	0.43	8.24	1.09

در این آزمایش نوع مدیریت خاک‌ورزی در چهار سطح (شامل خاک‌ورزی رایج بر پایه شخم با گاوآهن برگردان‌دار + دو نوبت دیسک، دو نظام خاک‌ورزی متوسط بر پایه گاوآهن پنجه غازی + دو نوبت دیسک و گاوآهن قلمی + دو نوبت دیسک و یک نظام خاک‌ورزی حفاظتی بر پایه دو نوبت دیسک) به‌عنوان فاکتور عمودی و مدیریت بقایای گندم در پنج سطح (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد عملکرد کاه گندم) به‌عنوان فاکتور افقی در نظر گرفته شدند (شکل ۱).



شکل ۱- شمایی از نقشه تیمارهای مورد مطالعه بر حسب سطوح بقایا (صفر تا ۱۰۰ درصد) و بر اساس طرح اسپلیت بلوک در آزمایش

Fig. 1- A sample from experimental treatments according to residue levels (0-100%) based on split block design

در سال اول آزمایش، میزان بقایای گندم بر اساس تولید کاه و کلش منطقه تعیین و سپس مقادیر مورد نظر بقایای گیاهی بر اساس تیمارها در ۳۱ اردیبهشت ماه به خاک افزوده شد. بقایای گیاهی پس از اعمال خاک‌ورزی به خاک اضافه و سپس با لایه ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک مخلوط گردید.

ابعاد هر یک از کرت‌های فرعی ۳ × ۳ متر انتخاب شد. به‌منظور جلوگیری از اختلاط اثر تیمارها، یک ردیف نکاشت بین کرت‌های فرعی، یک متر فاصله بین کرت‌های اصلی و یک متر فاصله بین تکرارها به‌عنوان راهرو در نظر گرفته شد. عملیات کاشت گندم پاییزه (رقم گاسکوژن) در ۲۵ آبان ماه روی شش ردیف سه متری با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و تراکم ثابت ۴۰۰ بوته در مترمربع انجام شد (Koocheki et al., 2014). آبیاری از زمان کاشت تا رسیدگی گیاه به‌روش جوی پشته انجام شد. در طی دوره رشد گیاه در زمستان، آبیاری بر اساس عرف منطقه و بر حسب نیاز (با توجه به میزان

بارندگی) انجام گرفت. در طی دوره رشد فعال نیز آبیاری تا زمان رسیدگی گیاه به‌صورت هفتگی انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز بر اساس وجین دستی این گیاهان انجام گرفت. در طول اجرای مراحل آزمایش نیز از هیچ گونه کود شیمیایی، علف‌کش و یا آفت‌کش شیمیایی استفاده نشد.

نیمی از ابعاد هر کرت به نمونه برداری تخریبی در طی دوره رشد (تعیین شاخص‌های رشدی) و نیمه دوم به اندازه‌گیری‌های آخر فصل (تعیین عملکرد و اجزای عملکرد) اختصاص داده شد. به‌منظور تعیین وزن خشک و سطح برگ بوته، نمونه‌برداری‌ها از شروع پنجه‌زنی (اواخر اسفند ماه) به‌صورت هر دو هفته یک بار از سطح چهار ردیف وسط هر کرت با حذف اثرات حاشیه‌ای و به‌طور تصادفی از سطح پنج بوته انجام شد. برای تعیین وزن خشک، نمونه‌ها به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد درون آون قرار داده شدند. جهت تعیین سطح برگ نیز از دستگاه Li- Cor استفاده شد.

پس از تعیین سطح برگ و وزن خشک در بوته، سرعت رشد محصول بر اساس معادله ۱ محاسبه شد (Koocheki & Sarmadnia, 1999):

$$CGR = \frac{W2 - W1}{T2 - T1}$$ معادله (۱)

که در این معادله، CGR: سرعت رشد محصول (گرم بر مترمربع در روز)، T_1: زمان نمونه‌گیری اول، T_2: زمان نمونه‌گیری دوم، W_1: وزن خشک گیاه در نمونه‌گیری اول و W_2: وزن خشک گیاه در نمونه‌گیری دوم می‌باشد.

همزمان با زرد شدن سنبله‌ها و عملیات برداشت در ۳۰ خرداد ماه، با رعایت اثر حاشیه و بر اساس انتخاب تصادفی پنج بوته، اجزای عملکرد گندم شامل تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله و در بوته، وزن دانه در سنبله و در بوته و وزن هزار دانه تعیین شد. همچنین عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت نیز در نیمه دوم هر کرت و با رعایت اثر حاشیه اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS. 9.3 و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت. میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

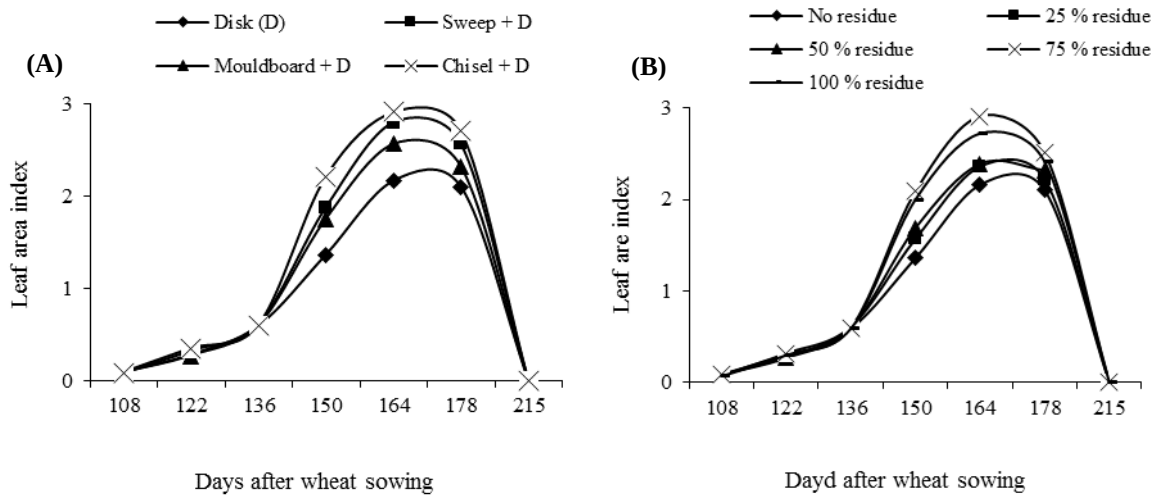
شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول

همان‌طور که در شکل‌های ۲ و ۳ ملاحظه می‌شود، حداکثر شاخص سطح برگ و سرعت رشد گندم به‌ترتیب در ۱۶۷ و ۱۵۱ روز پس از کاشت اتفاق افتاد که تقریباً منطبق با شروع پر شدن دانه در گندم بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده، تا ۱۳۶ روز پس از کاشت ، تفاوتی بین سطوح بقایا و نیز روش‌های خا ک‌ورزی از نظر شاخص سطح برگ در گندم مشاهده نشد. دلیل این امر می‌تواند به‌دلیل نیاز پایین گندم به عناصر غذایی در کنار دمای پایین محیط باشد که منجر به کاهش سرعت رشد گیاه می‌گردد. در این ارتباط، صادقی و کاظمینی(Sadeghi & Kazemeini, 2011) نیز اظهار داشتند که در مراحل ابتدایی رشد، بین تیمارهای مربوط به سطوح بقایای گندم و کود نیتروژن، تفاوت معنی‌داری از نظر شاخص سطح برگ در جو وجود نداشت. این محققین دلیل این امر را رشد کم بوته‌ها و نیاز پایین گیاه به عناصر غذایی دانستند.

در مرحله شروع پر شدن دانه، کمترین و بیشترین شاخص سطح برگ به‌ترتیب در نتیجه خاک ورزی با دیسک و گاو آهن قلمی + دیسک (به‌ترتیب با ۲/۱ و ۲/۹۱) مشاهد شد. همچنین در این مرحله، حداکثر سرعت رشد گندم در نتیجه اجرای شخم با گاو آهن قلمی + دیسک (۲۷/۸ گرم در مترمربع) به‌دست آمد (شکل ۲ الف). از سوی دیگر، در این مرحله، شاخص سطح برگ و سرعت رشد گندم در نتیجه اجرای شخم با گاو آهن قلمی + دیسک، به‌ترتیب تا ۱۴ و ۲۱ درصد بیش از برگردان + دیسک بود (شکل ۲ الف و ۳ الف).

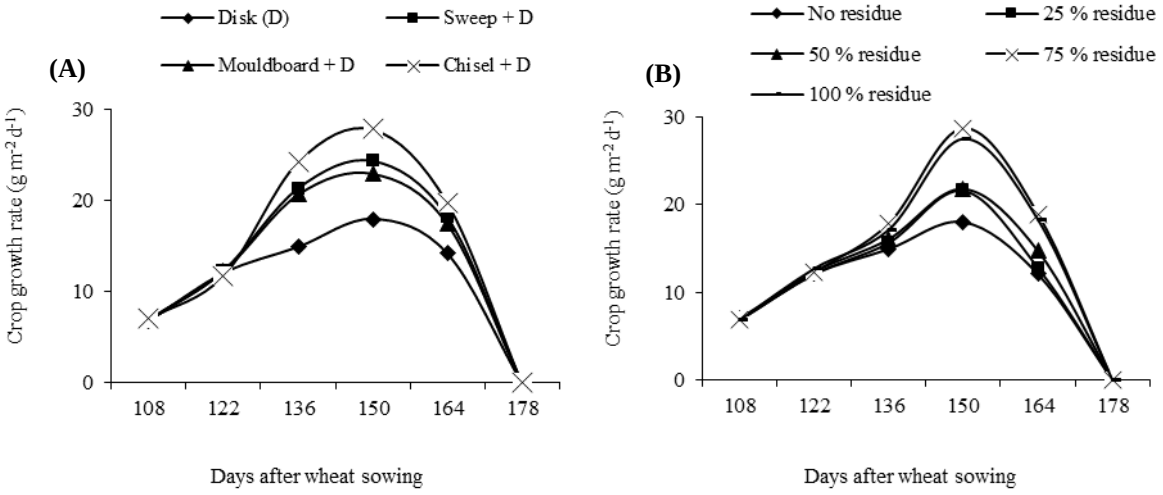
از جمله مزایای خاک‌ورزی حفاظتی می‌توان به افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها، افزایش نفوذپذیری، بهبود محتوی رطوبتی خاک، فراهمی مواد آلی و عناصر غذایی اشاره نمود (Hobbs et al., 2008; Thierfelder & Wall, 2010; Farooq et al., 2011). به نظر می‌رسد بر هم کنش این عوامل در نهایت، می‌تواند بهبود رشد ریشه و در نتیجه تولید هر چه بیشتر ماده خشک در گندم را فراهم نماید.

به‌طور کلی، گاوآهن قلمی، خاک را به‌طور عمیقی شکاف داده امّا بر خلاف گاوآهن برگردان، خاک را زیر و رو نمی‌کند. از این رو ضمن کاهش تلفات رطوبت و عناصر غذایی، تغییرات اندکی در ساختمان خاک ایجاد می‌کند (Azim zadeh et al., 2002; Mazaheri & Majnon Hoseini; 2007). بر این اساس، بالاتر بودن شاخص سطح برگ و سرعت رشد گندم در نتیجه استفاده از گاو آهن قلمی در مقایسه با برگردان ممکن است تحت تأثیر عوامل ذکر شده باشد.



شکل ۲- اثرات سیستم‌های خاک ورزی (الف) و سطوح بقایای گندم (ب) بر شاخص سطح برگ گندم

Fig. 2- Effects of tillage management (A) and levels of wheat residue (B) on leaf area index of wheat



شکل ۳- اثرات سیستم‌های خاک ورزی (الف) و سطوح بقایای گندم (ب) بر سرعت رشد گندم

Fig. 3- Effects of tillage management (A) and levels of wheat residue (B) on the crop growth rate of wheat

نتایج نشان داد که با افزایش کاربرد بقایای گندم تا سطح ۷۵ درصد، حداکثر شاخص سطح برگ و سرعت رشد گندم رو به افزایش گذاشت. به‌عنوان نمونه، حداکثر شاخص سطح برگ و سرعت رشد گندم در سطح ۷۵ درصد کاربرد بقایا به‌ترتیب تا ۳۵ و ۶۰ درصد بیش از شاهد (عدم کاربرد بقایا) بود (شکل‌های ۲ ب و ۳ ب). با این وجود، با افزایش سطح کاربرد بقایا از ۷۵ به ۱۰۰ درصد، حداکثر شاخص سطح برگ و سرعت رشد گندم اندکی کاهش یافت.

فراهمی هر چه بیشتر ماده آلی و عناصر غذایی از مهم‌ترین فواید استفاده از بقایای گندم در سطح خاک می‌باشد (Azadshahraki et al., 2011). از این رو، افزایش شاخص سطح برگ و سرعت رشد گندم تحت تأثیر کاربرد بقایا می‌تواند ناشی از فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز رشد گیاه به‌دلیل پوسیده شدن تدریجی بقایای گیاهی در طی فصل رشد باشد. در این ارتباط صادقی و کاظمینی (Sadeghi & Kazemeini, 2011) نیز افزایش شاخص سطح برگ و تولید ماده خشک در گیاه جو (*Hordeum vulgare*) را در نتیجه کاربرد بقایای گندم مشاهده کردند.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص‌های مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد گندم تحت تأثیر روش‌های خاک ورزی و سطوح بقایا

Table 2- Variance analysis (mean of squares) of yield and yield components of wheat affected by tillage and levels of straw

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	تعداد سنبله در بوته No. of ear per plant	تعداد دانه در سنبله Seed no. per ear	تعداد دانه در بوته Seed no. per plant	وزن دانه در سنبله Seed weight per ear	وزن دانه در بوته Seed weight per plant	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
بلوک Block	2	9.01 ns	327.64 ns	59247.72 *	0.23 ns	11.72 ns	11.19 ns	4902260.09 **	11014633.00 *	44.45 ns
خاک‌ورزی Tillage (T)	3	50.00 **	380.46 ns	820600.58 **	0.62 ns	1377.33 **	27.03 ns	7059136.77 **	9250185.49 *	108.28 *
خطای ۱ Error 1	6	1.89	683.17	32114.36	0.33	27.42	11.51	705071.86	918236.65	16.49
سطوح بقایا Levels of residue (S)	4	27.39 **	528.10 ns	340649.23 **	0.95 ns	903.84 **	56.55 **	7721684.62 **	20316187.89 **	50.85
خطای ۱ Error 1	8	2.24	630.49	27038.49	0.85	34.01	14.95	6572044.99	3194684.43	73.71
T × S	12	4.80 ns	548.39 ns	13140.15 ns	0.35 ns	43.17 *	41.94 *	1630197.87 ns	755072.45 ns	7.49
خطای ۳ Error 3	24	3.06	445.18	19300.16	0.59	16.89	11.51	240952.05	2287146.70	31.56
ضریب تغییرات CV (%)	-	13.76	16.01	8.49	17.99	7.69	11.22	14.03	9.94	14.88

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

*, ** and ns: significant at the 0.05 and 0.01 levels of probability and no significant, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات خاکورزی و سطوح کاربرد بقایای گندم بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم

Table -3- Mean comparisons for Effects of tillage and levels of residue on yield and yield components of wheat

تیمارهای آزمایشی Experimental treatments	تعداد سنبله در بوته No. of ear per plant	تعداد دانه در بوته Seed no. per plant	وزن دانه در بوته Seed weight per plant (g)	شاخص برداشت Harvest index (%)
خاک‌ورزی Tillage				
دیسک Disk (D)	10.93	1398.53	42.94	34.23
پنجه غازی + D Sweep + D	12.83	1578.20	52.19	38.98
برگردان + D Mouldboard + D	11.87	1610.27	52.47	37.42
قلمی + D Chisel + D	15.18	1958.07	66.20	40.52
LSD= 0.05	1.318	104.700	3.097	4.234
سطوح بقایا **Levels of residue (%)**				
0	10.29	1399.33	40.63	36.78
25	12.71	1559.92	50.68	37.41
50	13.75	1675.58	55.23	35.56
75	14.19	1852.33	64.27	41.06
100	12.58	1694.17	56.44	38.12
LSD= 0.05	1.473	117.060	3.463	4.281

مصرف نیتروژن در خاک توسط ریزجانداران در طی تجزیه بقایای گیاهی با نسبت کربن به نیتروژن بالا از جمله عواملی است که ممکن است سبب کاهش میزان نیتروژن مورد نیاز برای گیاه شود (Foroughifar & Poor-Kasmani, 2002; Ruffo & Bollero, 2003). با این وجود، به‌دلیل آنکه بقایای گیاهی در تابستان و پیش از کاشت گندم اعمال شد، می‌توان نتیجه گیری نمود که افزایش تولید ماده خشک تحت تأثیر کاربرد بقایای گیاهی، عمدتاً به‌دلیل پوسیدگی کامل بقایا توسط ریزجانداران، آزاد شدن تدریجی عناصر موجود در بقایا و همچنین آزاد شدن مجدد نیتروژن از پیکره ریزجانداران می‌باشد.

تعداد سنبله در بوته

طبق نتایج تجزیه واریانس، تعداد سنبله در بوته به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر اثر خاک‌ورزی و سطوح بقایا قرار گرفت. با این وجود اثر متقابل خاک‌ورزی و سطوح بقایا بر شاخص ذکر شده معنی‌دار نبود (جدول ۲).

در بین روش‌های خاک‌ورزی، کمترین و بیشترین تعداد سنبله در بوته (به‌ترتیب ۱۰/۹ و ۱۵/۲ سنبله) به‌طور معنی‌دار در نتیجه استفاده از دیسک (۱۰/۹ سنبله در بوته) و گاو آهن قلمی + دیسک (۱۵/۲ سنبله در بوته) مشاهده شد (جدول ۳). همچنین تعداد سنبله در بوته گندم در نتیجه اجرای شخم با گاو آهن قلمی به‌طور معنی‌داری بیش از گاوآهن برگردان دار (تا ۲۸ درصد) بود (جدول ۳). ازپینار و کی (Ozpinar & Cay, 2006) بیان نمودند که نظام خاک‌ورزی کاهش یافته می‌تواند با افزایش محتوی ماده آلی و نیتروژن کل باعث بهبود خصوصیات کیفی مانند فراهمی عناصر غذایی در خاک شود.

بهبود ساختمان و ارتقاء ثبات خاکدانه‌ها در شرایط بهره‌گیری از نظام خاک‌ورزی حفاظتی توسط فاروق و همکاران (Farooq et al., 2011) نیز گزارش شده است. از این رو می‌توان اظهار داشت که افزایش تولید ماده خشک و بهبود رشد زایشی گندم تحت تأثیر نظام خاک‌ورزی کاهش یافته، ناشی از بهبود محتوی ماده آلی خاک و جذب هر چه بیشتر عناصر غذایی از خاک می‌باشد. در این راستا، محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2009) نیز برتری معنی‌دار استفاده از گاو آهن قلمی در مقایسه با برگردان را از نظر تعداد سنبله در بوته گندم مشاهده نمودند.

طبق نتایج آزمایش، با افزایش کاربرد بقایای گندم تا سطح ۷۵ درصد، تعداد سنبله در بوته گندم به‌طور معنی‌داری رو به افزایش گذاشت (جدول ۳). با این وجود در سطح کاربرد ۱۰۰ درصد بقایای گندم، این شاخص اندکی کاهش یافت (جدول ۳).

تعداد دانه در سنبله و در بوته

طبق نتایج آزمایش، تعداد دانه در سنبله گندم تحت تأثیر اثرات ساده یا متقابل خاک‌ورزی و سطوح بقایا قرار نگرفت (جدول ۲). به نظر می‌رسد تعداد دانه در سنبله گندم از جمله شاخص‌هایی است که در ارتباط با شرایط محیطی نبوده و بیشتر وابسته به خصوصیات ژنوتیپی در این رقم می‌باشد.

با وجود عدم تأثیر تیمارهای خاک‌ورزی و بقایا بر تعداد دانه در سنبله، اثر خاک‌ورزی و بقایا بر تعداد دانه در بوته گندم معنی‌دار بود (جدول ۳). مشابه شاخص تعداد سنبله در بوته، بیشترین تأثیر در افزایش معنی‌دار تعداد دانه در بوته گندم در نتیجه اجرای گاوآهن قلمی + دیسک مشاهده شد؛ به‌طوری‌که اجرای شخم توسط گاوآهن قلمی + دیسک در مقایسه با گاوآهن برگردان + دیسک و نیز دیسک به تنهایی، تعداد دانه در بوته گندم را به‌ترتیب ۲۲ و ۴۰ افزایش داد (جدول ۴). به‌دلیل همبستگی مثبت بین تعداد سنبله در بوته و تعداد دانه در بوته، مجموعه عوامل به زراعی که بتواند منجر به افزایش تعداد سنبله در بوته شود، می‌تواند در نهایت، افزایش هر چه بیشتر تعداد دانه در بوته گندم را امکان پذیر کند.

وزن دانه در سنبله، وزن دانه در بوته و وزن هزار دانه

مشابه تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله گندم نیز تحت تأثیر اثر ساده یا متقابل خاک‌ورزی و سطوح بقایا قرار نگرفت (جدول ۲). همان‌طور که پیشتر ذکر گردید، تعداد یا وزن دانه در سنبله ممکن است بیشتر وابسته به خصوصیات ژنتیکی در گندم باشد.

طبق نتایج جدول ۲، اثر متقابل خاک‌ورزی و سطوح بقایا، تأثیر معنی‌داری بر وزن دانه در بوته و وزن هزار دانه گندم داشت. در هر یک از سطوح خاک‌ورزی، بیشترین وزن دانه در بوته در سطح ۷۵ درصد کاربرد بقایا مشاهده گردید. همچنین در بین تیمارهای آزمایش، بیشترین وزن دانه در بوته (۷۹/۹۸ گرم) در سطح ۷۵ درصد کاربرد بقایا همراه با شخم قلمی + دیسک به‌دست آمد (جدول۴). از سوی دیگر، در شرایط عدم کاربرد بقایا نیز استفاده از گاوآهن قلمی+ دیسک در مقایسه با برگردان + دیسک منجر به افزایش وزن دانه در بوته گندم تا ۳۱ درصد شد (جدول۴). علاوه‌بر این، بیشترین وزن هزار دانه گندم نیز در سطح ۷۵ درصد کاربرد بقایا همراه با شخم قلمی + دیسک (۳۶/۰۴ گرم) به‌دست آمد (جدول۴). در این ارتباط محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2009) نیز افزایش وزن هزار دانه گندم را در نتیجه استفاده از گاوآهن قلمی در مقایسه با برگردان گزارش نمودند.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل خاکورزی و سطوح بقایا بر وزن دانه در بوته و وزن هزار دانه گندم

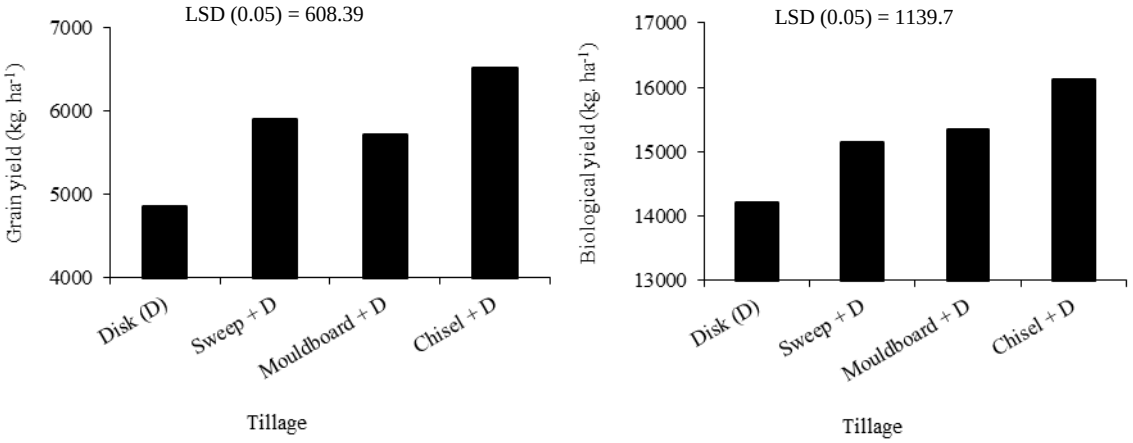
Table 4- Interaction effect of tillage and levels of residue on seed weight per plant and 1000-seed weight of wheat

روش خاک‌ورزی Tillage method	سطوح بقایا Levels of residue (%)	وزن دانه در بوته Seed weight per plant (g)	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)
دیسک Disk (D)	0	35.58	29.71
	25	36.20	28.22
	50	43.29	29.96
	75	54.08	33.16
	100	45.56	31.77
پنجه غازی + D Sweep + D	0	35.08	26.29
	25	54.43	34.43
	50	55.43	34.96
	75	61.99	34.19
	100	55.00	34.45
برگردان + D Mouldboard + D	0	39.80	28.71
	25	51.24	34.96
	50	58.33	34.98
	75	61.03	35.01
	100	51.94	31.09
قلمی + D Chisel + D	0	52.05	30.85
	25	60.82	31.95
	50	64.87	33.86
	75	79.98	36.04
	100	73.26	35.56
LSD (0.05)		3.212	2.658

در طی دوره رشد زایشی گندم، بذرها به‌عنوان مخزن گیاه شناخته می‌شوند (Kafi et al., 2001). از سوی دیگر، همان‌طور که ذکر گردید حفظ و یا کاربرد بقایای گیاهی گندم می‌تواند ضمن بهبود ساختمان خاک، در نهایت با تحریک جامعه ریزجانداران عناصر غذایی بیشتری را در طی فصل رشد در اختیار گیاه قرار دهد (Salehi et al., 2011). فراهمی عناصر غذایی نیز می‌تواند با تحریک رشد ریشه و سایر اندام‌های گیاه، در نهایت در یک دوره زمانی مشخص، تخصیص هر چه بیشتر عناصر به اندام‌های زایشی را امکان پذیر کند.

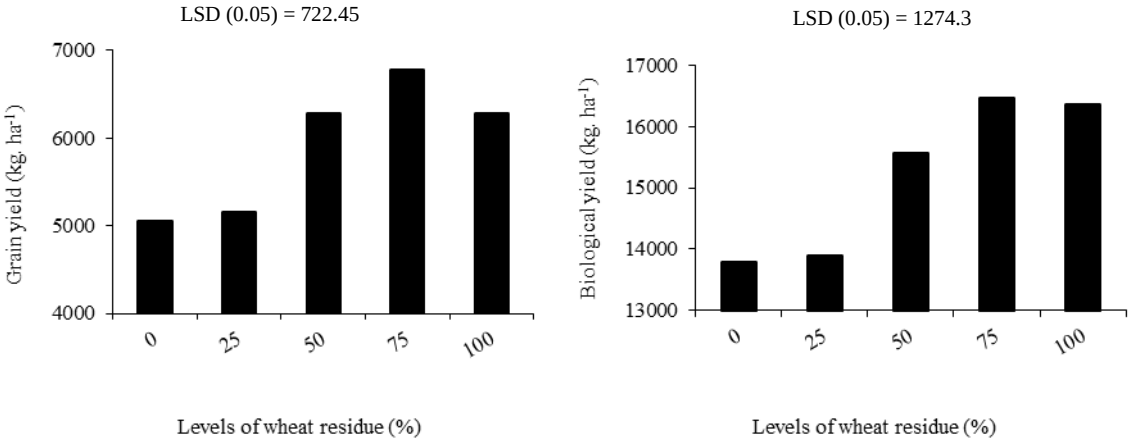
عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت

طبق نتایج ارائه شده در جدول ۲، عملکرد دانه و بیولوژیک گندم به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر اثر خاک‌ورزی و سطوح بقایا قرار گرفت. در بین روش‌های خاک‌ورزی، بیشترین و کمترین افزایش در عملکرد دانه گندم به‌ترتیب در نتیجه استفاده از گاو آهن قلمی + دیسک و نیز دیسک به تنهایی به‌دست آمد (شکل ۴). همچنین با وجود عدم تفاوت معنی‌دار بین استفاده از گاوآهن برگردان و پنجه غازی، کاربرد گاوآهن قلمی در مقایسه با برگردان منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گندم تا ۱۵ درصد شد (شکل ۴).



شکل ٤- اثر تیمارهای خاک‌ورزی بر عملکرد دانه و بیولوژیک گندم

Fig. 4- Effect of tillage treatments on grain and biological yields of wheat



شکل ٥- اثر سطوح بقایای گندم بر عملکرد دانه و بیولوژیک گندم

Fig. 5- Effect of levels of wheat residue on grain and biological yields of wheat

مشابه عملکرد دانه، بیشترین عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گندم در نتیجه استفاده از گاوآهن قلمی + دیسک به‌دست آمد (شکل ۴ و جدول ۳). در این ارتباط، محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2009) نیز با مشاهده عملکرد دانه بالاتر

گندم در شرایط استفاده از گاوآهن قلمی نسبت به گاوآهن برگردان و نظام بدون خاک‌ورزی، فشردگی خاک و فراهم نبودن شرایط مناسب برای رشد ریشه را عامل اصلی پایین بودن عملکرد دانه گندم در نظام بدون خاک‌ورزی دانستند. این محققین همچنین برتری گاوآهن قلمی نسبت به گاوآهن برگردان را ناشی از کاهش فرسایش، بهبود خصوصیات فیزیکی خاک مانند فشردگی و وزن مخصوص ظاهری و همچنین نیاز به نیروی کشش کمتر دانستند. در این راستا، شمس آبادی و رافعی (Shams Abadi & Rafiee, 2007) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند.

مشابه وزن دانه در بوته، با افزایش سطوح کاربرد بقایای گندم، عملکرد دانه و بیولوژیک گندم به‌طوری معنی‌داری رو به افزایش گذاشت؛ به‌طوری‌که بیشترین افزایش در شاخص‌های ذکر شده در سطح ۷۵ درصد کاربرد بقایای گندم به‌دست آمد (شکل ۵). با این وجود، بین سطوح ۷۵ و ۱۰۰ درصد کاربرد بقایای گندم تفاوت معنی‌داری از نظر شاخص‌های ذکر شده مشاهده نشد (شکل ۵). همان‌طور که پیشتر به آن اشاره شد، کاربرد بقایای گیاهی می‌تواند با آزاد سازی تدریجی عناصر غذایی، بهبود رشد و عملکرد گندم را امکان پذیر کند.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، می‌توان اظهار داشت اجرای خاک‌ورزی کاهش یافته با گاوآهن قلمی می‌تواند نقش مؤثری در بهبود شاخص‌های رشدی و عملکرد گندم داشته باشد. از سوی دیگر، نتایج نشان داد که مدیریت صحیح بقایای گندم، نقش مؤثری در افزایش عملکرد گندم ایفا می‌کند. از این رو می‌توان در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، کاربرد بقایای گندم همراه با خاک‌ورزی کاهش یافته را به‌عنوان رهیافت‌های اکولوژیک جهت افزایش هر چه بیشتر عملکرد و تولید پایدار گندم پیشنهاد نمود.

References

Aoyama, M., Angers, D.A., and N'Dayegamiye, A., 1999. Particulate and mineral-associated organic matter in water-stable aggregates as affected by mineral fertilizer and manure application. Canadian Journal of Soil Sciences 79: 295–302. https://doi.org/10.4141/S98-049

Azadshahraki, F., Naghavi, H., and Najafinejad, H., 2011. Effect of tillage method and wheat residual management on some soil properties and grain corn yield in Kerman, Iran. Journal of New Agricultural Sciences 6: 1-9. (In Persian with English Summary)

Azim zadeh, S.M., Koocheki, A., and Bala, M., 2002. Effect of different tillage methods on bulk density, porosity, soil moisture content and yield of wheat under dryland conditions. Iranian Journal of Crop Sciences 3: 209-224. (In Persian with English Summary)

Bastian, F., Bouziri, L., Nicolardot, B., and Ranjard, L., 2009. Impact of wheat straw decomposition on successional patterns of soil microbial community structure. Soil Biology and Biochemistry 41: 262–275. doi: 10.1016/j.soilbio.2008.10.024

Blair, N., Faulkner, R.D., Till, A.R., and Poulton, P.R., 2006. Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility. Part I: broadbalk experiment. Soil and Tillage Research 91: 30–38. https://doi.org/10.1016/j.still.2005.11.002

Gryze, S., Six, J., Brits, C., and Merckx, R., 2005. A quantification of short-term macro aggregate dynamics: Influences of wheat residue input and texture. Soil Biology and Biochemistry 37: 55-66. doi: 10.1016/j.soilbio.2004.07.024

Farooq, M., Flower, K.C., Jabran, K., Wahid, A., and Siddique, K.H.M., 2011. Crop yield and weed management in rainfed conservation agriculture. Soil and Tillage Research 117: 172-183. doi: 10.1016/j.still.2011.10.001

Foroughifar, H., and Poor-Kasmani, M.E., 2002. Soil Science and Management. Ferdowsi University of Mashhad Press, Iran. (In Persian)

Gale, W.J., and Cambardella, C.A., 2000. Carbon dynamics of surface residue- and root-derived organic matter under simulated no-till. Soil Science Society of American Journal 64: 190–195. doi: 10.2136/sssaj2000.641190x

Ghuman, B.S., and Sur, H.S. 2001. Tillage and residue management effects on soil properties in a direct drill tillage system. Soil and Tillage Research 42: 209-219. doi: 10.1016/S0167-1987(00)00147-1

Hobbs, P.R., Sayre, K., and Gupta, R., 2008. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 363: 543-555. doi: 10.1098/rstb.2007.2169

Kafi, M., Kamkar, B., and Mahdavi Damghani, A., 2001. Seed Biology and the yield of grain crops. Ferdowsi

University of Mashhad Press, Iran. (In Persian)
Koocheki, A., and Boroumand Rezazadeh, Z., 2009. Soil Tillage in Agroecosystems. Ferdowsi University of Mashhad Press, Iran. pp. 438 (In Persian)
Koocheki, A., and Sarmadnia, G., 1999. Phisiology of Crop Plant. Jahade Daneshgahi of Mashhad Press, Iran. pp. 400 (In Persian)
Koocheki, A., Fallahpour, F., Khorramdel, S., and Jafari, L., 2014. Intercropping wheat (*Triticum aestivum* L.) with canola (*Brassica napus* L.) and their effects on yield, yield components, weed density and diversity. Journal of Agroecology 6: 11-20. (In Persian with English Summary)
Limon-Ortega, A., Govaerts, B., and Sayre, K.D., 2008. Straw management, crop rotation, and nitrogen source effect on wheat grain yield and nitrogen use efficiency. European Journal of Agronomy 29: 21–28. doi: 10.1016/j.eja.2008.01.008
Mazaheri, D., and Majnon Hoseini, N., 2007. Fundamental of Agronomy. Tehran University Press, Tehran, Iran. pp. 412 (In Persian)
Mohammadi, K., Nabi Allahi, K., Agha Alikhani, 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: 77-91. (In Persian with English Summary)
Monzon, J.P., Sadras, V.O., and Andrade, F.H., 2006. Fallow soil evaporation and water storage as affected by stubble in sub-humid (Argentina) and semi-arid (Australia) environments. Field Crops Research 98: 83–90. doi: 10.1016/j.fcr.2005.12.010
Nasssiri Mahallati, M., Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., and Beheshti, A., 2008. Agroecology Ferdowsi University of Mashhad Press, Iran. pp. 470 (In Persian)
Ortiz, R., Sayre, K.D., Govaerts, B., Gupta, R., Subbarao, G.V., Ban, T., Hodson, D., Dixon, J.M., Ortiz-Monasterio, J.I., and Reynolds, M., 2008. Climate change: Can we beat the heat? Agriculture, Ecosystems and Environment 126: 46-58. doi: 10.1016/j.agee.2008.01.019
Ozpinar, S., and Cay, A., 2006. Effect of different tillage systems on the quality and crop productivity of a clay–loam soil in semi-arid North-Western Turkey. Soil and Tillage Research 88: 95–106. doi: 10.1016/j.still.2005.04.009
Rezvani Moghaddam, P., Koocheki, A., Molafilabi, A., and Seyyedi, S.M., 2013. The effects of different levels of applied wheat straw in different dates on saffron (*Crocus sativus* L.) daughter corms and flower initiation criteria in the second year. Saffron Agronomy and Technology 1: 55-70. (In Persian with English Summary)
Ruffo, M.L., and Bollero, G.A., 2003. Residue decomposition and prediction of carbon and nitrogen release rates based on biochemical fraction using principle – component regression. Agronomy Journal 95: 1034-1040. doi: 10.2134/agronj2003.1034
Sadeghi, H., and Kazemeini, S.A., 2011. An investigation on physiological characteristics of two barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars and soil moisture content as affected by straw management and nitrogen rates under dryland conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 9: 544-556. (In Persian with English Summary)
Salehi, F., Bahrani, M.J., Kazemaini, S.A., Pakniyat, H., and Karimian, N.A., 2011. Effects of wheat residue and nitrogen fertilizer rate on some soil properties in common Bean cultivation. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 25: 209-218. (In Persian with English Summary)
Schillinger, W.F., 2005. Tillage method and sowing rate relations for dryland spring wheat, barley, and oat. Crop Science 45: 2636-2643. doi: 10.2135/cropsci2005.04-0016
Shams Abadi, H.A., and Rafiee, S., 2007. Study on the effect of tillage practices and different seed densities on yield of rainfed wheat. Journal Agricultural Science and Natural Resource 13: 95-102. (In Persian with English Summary)
Srinivasan, V., Maheswarappa, H.P., and Lal, R., 2012. Long-term effects of topsoil depth and amendments on particulate and non-particulate carbon fractions in a Miamian soil of Central Ohio. Soil and Tillage Research 121: 10–17. doi: 10.1016/j.still.2012.01.014
Thierfelder, C., and Wall, P.C., 2010. Rotation in conservation agriculture systems of Zambia: Effects on soil quality and water relations. Experimental Agriculture 46: 309-325. doi: 10.1017/S001447971000030X
Tripathi, R.P., Sharma, P., and Singh, S., 2007. Influence of tillage and crop residue on soil physical properties and yields of rice and wheat under shallow water table conditions. Soil and Tillage Research 92: 221-227. doi: 10.1016/j.still.2006.03.008

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

CC BY

Research Article
Vol. 14, No. 3, Fall 2022, p. 429-448

Assessing the Energy Components and the Environmental Impacts of the Different Rice (*Oryza sativa* L.) Production Systems using the Life Cycle Assessment (LCA) Method in Mazandaran

Z. Saber[1], M.A. Esmaeili[2], H. Pirdashti[3*], A. Motevali[4] and A. Nabavi-Pelesaraei[5]

Received: 11-01-2021
Revised: 18-04-2021
Accepted: 26-05-2021
Available Online: 13-12-2022

How to cite this article:
Saber, Z., Esmaeili, M.A., Pirdashti, H., Motevali, A., and Nabavi-Pelesaraei, A., 2022. Assessing the energy components and the environmental impacts of the different rice (*Oryza sativa* L.) production systems using the life cycle assessment (LCA) method. Journal of Agroecology 14(3): 429-448.
DOI: 10.22067/agry.2021.68179.1010

Introduction

Rice, as the second most strategic crop, is the most important cereal after wheat. In Iran, rice is so essential that people consume it as part of their main meal at least once daily. Due to the increase in consumption inputs in conventional paddy systems, chemical control of rice diseases, and consequently, increase in consumption costs, irreparable environmental damage of these systems always adds to the need to pay attention to alternative systems. Prediction of agricultural energy output and environmental impacts play the most important role in the conservation of the environment as well as energy management. A wide range of methods tapping into environmental performances related to agricultural activities has been proposed, among which the known life cycle assessment (LCA) method is deemed mostly employed. As a standard method that aims for holistic evaluation of the environmental resources and impact, LCA measures the process of a product's entire life cycle, or in other words, the analysis of the possible environmental impacts any product bears during their life would be assessed by LCA.

Materials and Methods

This research was conducted in rice fields located in Mazandaran province in Babol, Fereydounkenar, and Amol counties as the main rice paddy center of Mazandaran province, in the 2019 cropping season. Each of the systems was examined in terms of energy components and environmental impacts. In this study, to classify and quantify the environmental effects of rice production in various cropping systems using the LCA method and also the energy components and energy efficiency in these systems are addressed. Therefore, in order to evaluate the emission of

1- PhD Candidate in Agronomy, Department of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
2- Associate Professor, Department of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
3- Professor, Department of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
4- Associate Professor, Department of Mechanical Engineering Biosystems, Department of Agronomy Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
5- PhD in Agricultural Mechanization Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
* Corresponding author: h.pirdashti@sanru.ac.ir

greenhouse gases and energy in paddy fields, the required information was randomly collected from some farms through direct interviews with the rice growers of Mazandaran. In this regard, the sample size is calculated by using Cochran's formula.

Results and Discussion

The findings of this study showed that the maximum amount of input energy is equal to 60225.42 MJ / ha in conventional systems, and the minimum values of 18662.14 MJ / ha were allocated to the organic system. Diesel fuel input energy had the largest share of total input energy. The highest energy efficiency of 0.17 kg per MJ and energy ratio of 2.57 was allocated to the organic system. Also, the evaluation of the life cycle in rice production showed that in the global warming group of environmental impact by CML2 baseline method, for each ton of paddy produced in conventional, low-input, and organic systems, respectively, about 2408.90,1777.85 and 1193.79 kg of carbon dioxide equivalent to the atmosphere are released. Direct emissions from on-farm activities in all three studied systems have played a major role in increasing global warming. The source of these pollutants is the combustion of diesel used in agricultural implements and machinery, as well as the emission of nitrogen dioxide, nitrogen oxides, and other nitrogenous compounds resulting from the use of nitrogen fertilizer.

Conclusion

According to the results of this research work, from the environmental perspective, the organic system has highly the best potential of being recommended followed by a low external input system in order to reach environmentally friendly agriculture as sustainable cultural operations in comparison with conventional cultivation practices. Farther, the results showed that the conventional system had the highest amount of total emissions, and then the low input system was in the next position. Obviously, the organic system is the most environmentally friendly system, and the conventional system has the highest amount of emissions. In order to give a broader evaluation of the organic and some low input systems, studies on such issues should be highly continued.

Acknowledgments

Thanks and appreciation for the financial support provided by the Department of Agronomy, Sari Agricultural Sciences, and the Natural Resources University of Sari, Iran.

Keywords: Ecosystem quality, Energy efficiency, Life cycle assessment, Low input system, Organic system, Rice production.

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

مقاله پژوهشی

بررسی مؤلفه‌های انرژی و اثرات زیست‌محیطی در سامانه‌های مختلف زراعی تولید برنج (*Oryza sativa* L.) با استفاده از روش ارزیابی چرخه زندگی در مازندران

زهرا صابر[۱] ، محمدعلی اسماعیلی[۲]، همت‌اله پیردشتی[۳]*، علی متولی[۴] و اشکان نبوی پله سرائی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۱/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۵

صابر، ز.، اسماعیلی، م. ع.، پیردشتی، ه.، متولی، ع.، و نبوی پله سرائی، ا.، ۱۴۰۱. بررسی مؤلفه‌های انرژی و اثرات زیست‌محیطی در سامانه‌های مختلف زراعی تولید برنج (*Oryza sativa* L.) با استفاده از روش ارزیابی چرخه زندگی در مازندران. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۳): ۴۴۸-۴۲۹.

چکیده

برنج (*Oryza sativa* L.) به‌عنوان دومین محصول راهبردی پس از گندم، از جمله مهم‌ترین گونه‌های غلات در سراسر دنیا به‌شمار می‌رود. با توجه به افزایش نهاده‌های مصرفی در سامانه‌های متداول برنج، کنترل شیمیایی علف‌های هرز، آفات و بیماری‌های برنج و به تبع آن افزایش هزینه‌های مصرفی، آسیب‌های جبران‌ناپذیر زیست‌محیطی این دست از سامانه‌ها، همواره بر لزوم توجه هر چه بیشتر به سامانه‌های جایگزین از جمله کم‌نهاده و ارگانیک می‌افزاید. این پژوهش در مزارع برنج واقع در استان مازندران در شهرستان‌های بابل، فریدون‌کنار و آمل به‌عنوان قطب‌های تولید برنج استان مازندران در سال ۱۳۹۸ انجام شد. هر یک از سامانه‌های مورد نظر به لحاظ مؤلفه‌های انرژی و اثرات زیست‌محیطی بررسی شدند. در این پژوهش، اثرات زیست‌محیطی تولید برنج در سامانه‌های گوناگون زراعی با استفاده از روش ارزیابی چرخه زندگی (LCA) و همچنین بررسی مؤلفه‌های انرژی و بهره‌وری انرژی در این سامانه‌ها طبقه‌بندی و کمّی‌سازی شده است. برای ارزیابی نشر گازهای گلخانه‌ای و مصرف انرژی در شالی زارها، اطلاعات مورد نیاز به‌صورت مصاحبه از تعداد ۲۱۲ شالی‌کار با وسعت یک هکتار زمین زراعی گردآوری و مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌های این پژوهش نشان داد که حداکثر میزان انرژی ورودی معادل ۶۰۲۲۵/۴۲ مگاژول بر هکتار در سامانه‌های متداول و حداقل مقادیر آن معادل ۱۸۶۶۲/۱۴ مگاژول بر هکتار به سامانه ارگانیک تعلق یافت. انرژی ورودی سوخت دیزل بیشترین سهم را در کل انرژی‌های ورودی دارا بود. بالاترین میزان بهره‌وری انرژی ۰/۱۷ کیلوگرم بر مگاژول و نسبت انرژی ۲/۵۷ به سامانه ارگانیک اختصاص یافت. همچنین، ارزیابی چرخه‌ی زندگی در تولید برنج نشان داد در گروه تأثیر زیست‌محیطی گرمایش جهانی با روش CML2 baseline به‌ازای تولید هر تن شلتوک در سامانه‌های متداول، کم‌نهاده و ارگانیک به‌ترتیب در حدود ۲۴۰۸/۹۰، ۱۷۷۷/۸۵ و ۱۱۹۳/۷۹ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن معادل به اتمسفر انتشار می‌یابد. انتشارات مستقیم ناشی از فعالیت‌های درون مزرعه‌ای در هر سه سامانه مورد مطالعه سهم عمده و اصلی را در افزایش گرمایش جهانی داشته‌اند. منشأ این نوع آلایندگی‌ها احتراق دیزل مصرفی در ادوات کشاورزی و ماشین‌آلات و نیز انتشار دی‌اکسید نیتروژن، اکسیدهای نیتروژن‌دار و دیگر ترکیبات نیتروژن‌دار حاصل از مصرف کود نیتروژن می‌باشند. همچنین، نتایج

۱- دانشجوی دکتری تخصصی زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۳- استاد گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۴- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۵- دانش‌آموخته دکتری تخصصی مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: h.pirdashti@sanru.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2021.68179.1010

نشان داد در جمع کل انتشارات، سامانه متداول بیشترین میزان انتشارات را داشته است و بعد از آن سامانه کم‌نهاده در جایگاه بعدی قرار دارد. بر اساس یافته‌ها، دو سامانه ارگانیک و کم‌نهاده به لحاظ زیست‌محیطی از اثرات منفی کمتری برخودار هستند. در این راستا، می‌توان از راهبردهای پایدار اکولوژیک از جمله کاهش خاک‌ورزی، استفاده از کودهای آلی و بیولوژیک به‌منظور کاهش اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف بیش از حد نهاده‌ها به‌ویژه در سامانه‌های متداول بهره گرفت.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی چرخه زندگی، شلتوک، سامانه ارگانیک، سامانه کم‌نهاده، کارایی مصرف انرژی، کیفیت اکوسیستم

مقدمه

امروزه، رشد روزافزون جمعیت جهان و ارتقای سطح زندگی بشر، نیاز به مواد غذایی را دوچندان ساخته است. در این میان، توجه به بخش کشاورزی به مثابه مؤثرترین مؤلفه در فراهم‌آوری مواد غذایی در تغذیه بشر با تولید محصولاتی همچون برنج، بسیار حائز اهمیت است. برنج (*Oryza sativa* L.) غله‌ای مهم و غذای عمده بیش از دو سوم جمعیت جهان را فراهم می‌آورد (AghaAlikhani et al., 2013). آمار جهانی، حکایت از تولید ۷۵۹/۶ میلیون تن شلتوک و ۵۰۳/۹ میلیون تن برنج سفید در سال ۲۰۱۷ دارد (FAO, 2018). کشاورزی مدرن و بهره‌مند از فناوری‌های متعارف، به‌منظور پاسخ‌گویی به نیاز روزافزون غذا برای جمعیت رو به رشد سیاره زمین و فراهم کردن مواد غذایی کافی و مناسب، گام‌هایی جدی برداشته است (Hatirli et al., 2005)؛ با این‌حال، این نکته را نباید از نظر دور داشت که امکانات و فراهم‌سازی تولید انبوه مواد غذایی، به‌میزان زیادی وابسته به کاربرد مواد شیمیایی است. بی‌تردید کشاورزی با فناوری‌های نوین و استفاده از محصولات شیمیایی و سموم متنوع، مشکلات زیادی را در جهان و به‌ویژه در ایران برای منابع طبیعی و بشر به‌وجود آورده است که از آن جمله می‌توان به تخریب بوم‌نظام‌های طبیعی و کشاورزی، افزایش ضایعات محصولات کشاورزی، سوء تغذیه و بیماری در اثر کاهش کیفیت مواد غذایی، کاهش تنوع زیستی، افزایش گرمایش جهانی و آلودگی هوا، خاک و آب اشاره نمود (Nemecek et al., 2011). با این‌همه، یکی از راهبردهای مناسب برای حل معضلات یاد شده، کشاورزی ارگانیک، پایدار و سازگار با محیط زیست است که در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از پژوهش گران این حوزه قرار گرفته است و هدف آن ضمن حفاظت از حاصلخیزی خاک، افزایش تولید محصول با کم‌ترین تکیه بر استفاده از مواد شیمیایی می‌باشد (Esitken et al., 2005). اگرچه برخی مطالعات نشان دادند که کاهش استفاده از کودهای شیمیایی و سموم در سامانه‌های سازگار با محیط زیست و ارگانیک برنج به کاهش اثرات زیست‌محیطی منجر می‌شود (Yodkhum et al., 2017; Hokazono & Hayashi, 2015)، بررسی‌های دیگر حاکی از آن است که سامانه‌های ارگانیک برنج لزوماً به کاهش بار زیست‌محیطی در مقایسه با سامانه‌های متداول تولید برنج منتهی نمی‌شوند (Blengini et al., 2009; Hokazono & Hayashi, 2012). علاوه‌براین، با توجه به اثرات مخرب کاربرد نامناسب منابع مختلف انرژی بر سلامتی انسان و محیط زیست و محدودیت منابع طبیعی، الزام مطالعه الگوهای مصرف انرژی به‌منظور کاربرد مطلوب از آن را در بخش کشاورزی حیاتی ساخته است (Mousavi-Avval et at., 2011). پژوهش‌های اخیر حکایت از آن دارند که با افزایش مکانیزه نمودن و کاربرد نامناسب مواد شیمیایی در کشاورزی، به‌تدریج کارایی انرژی مصرفی در سامانه‌های کشاورزی کاهش می‌یابد. درگذر زمان نیز کشاورزی اولیه، به‌مراتب پایداری بیشتری نسبت به کشاورزی فشرده امروزی داشته است (Tabatabaie et al., 2013).

دو اصل تأثیرگذار در مدیریت پایدار بوم‌نظام‌های زراعی را می‌توان افزایش کارایی مصرف انرژی و نیز منابع دانست (Risoud, 2000). با این‌حال، تجزیه و تحلیل پارامترهای انرژی، به‌تنهایی نمی‌تواند درک مناسبی از سامانه‌های کشاورزی را ارائه دهد (Rathke & Diepenbrock, 2006). به‌رغم پژوهش‌های نسبتاً جامع در مورد کارایی انرژی در محصولات کشاورزی در کشور، همچنان اطلاعات جامعی از اثرات زیست‌محیطی محصولات زراعی یاد شده و هزینه‌های مربوط به آن‌ها در دسترس نیست. پژوهش‌های اخیر، اغلب به‌صورت کاملاً جداگانه، مراحل گوناگون مربوط به هر یک از فرآیندهای تولید را مورد مطالعه قرار داده‌اند و سمت و سوی بیشتر بررسی‌ها بیشتر مربوط به‌میزان انرژی مصرفی بوده و اثرات زیست‌محیطی در هرکدام از بخش‌ها مورد مطالعه قرار نگرفته است.

برای مطالعه اثرات زیست‌محیطی سامانه‌های کشاورزی، روش‌های متعددی وجود دارد (Schröder et al., 2003). با کمک این رهیافت‌ها می‌توان اثرات زیست‌محیطی سامانه‌های محصولات

مختلف زراعی را تجزیه و تحلیل و نیز سیستم‌های متناسب به لحاظ کاهش آلودگی و مصرف بهینه‌ی منابع را شناسایی و معرفی نمود. پژوهشگران بسیاری (برای نمونه: Sahle & Potting, 2013; Finkbeiner et al., 2006 Brentrup et al., 2004) بر این باورند که با توجه به دامنه وسیع کارکردهای روش آنالیز چرخه زندگی[1] (LCA)، این روش از جمله مناسب‌ترین روش به‌منظور بررسی پایداری وضعیت فعالیت‌های کشاورزی است. آنالیز چرخه زندگی روشی است که در آن تمام اثرات زیست محیطی مرتبط با یک محصول (شامل کالاها و خدمات)، در کل چرخه زندگی آن از مرحله استخراج و یا جمع‌آوری مواد خام، تا مصرف، بازیافت و یا امحاء ضایعات ناشی از آن ارزیابی می‌گردد؛ در این رهیافت با بررسی جامع و دقیق، تمامی منابع مصرفی به‌منظور تولید محصول و تمامی مواد انتشار یافته به محیط زیست، کمّی‌سازی و بررسی می‌شوند (Pennington et al., 2004;Rebitzer et al., 2004). لذا، این رویکرد می‌تواند امکان بررسی روش‌های مختلف را از جنبه‌های مختلف زیست‌محیطی ممکن سازد. علاوه‌براین، محاسبه شاخص‌های انرژی به همراه ارزیابی چرخه زندگی، میزان مطلوبیت عملکرد یک محصول در درون مزرعه را نشان می‌دهد. بدین روی، گسترش و توسعه سامانه‌هایی با ورودی انرژی کمتر و بهره‌وری بیشتر، به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش کشاورزی می‌انجامد (Dalgaard et al., 2000).

پژوهش‌های بسیاری در زمینه تحلیل انرژی و بررسی چرخه زندگی در کشت برنج انجام شده است. برای نمونه، اثرات زیست‌محیطی تولید برنج ارگانیک با رویکرد چرخه زندگی در ایتالیا مورد مطالعه قرار گرفت (Bacenetti et al., 2016)، پژوهشگران در این مطالعه با بررسی ۱۱ گروه تأثیر مختلف اذعان داشتند که سامانه‌های ارگانیک در کاهش مسمومیت آب‌های شیرین نسبت به سامانه‌های متداول پتانسل بالاتری داشته‌اند. همچنین در مطالعه‌ای آنالیز مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی تولید برنج به‌ویژه انتشارات گازهای گلخانه‌ای (CO_2، N_2O و CH_4) در سامانه‌های متداول برنج و سامانه‌های سازگار با محیط زیست در ژاپن با رویکرد ارزیابی چرخه زندگی نیز مورد بررسی قرار گرفت (Hatcho et al., 2012). در پژوهش دیگر، شاخص‌های اثرات زیست‌محیطی بر مبنای هر تن برنج تولیدی، در سامانه‌های متداول در حدود ده برابر بیش از سامانه‌های ارگانیک در چین بوده است (He et al., 2018). در این پژوهش با بررسی نه گروه تأثیر، پتانسل سمیت انسان و سمیت آب به‌ترتیب در سامانه‌های متداول ۱/۱ kg 1,4-DCB eq و kg 1,4-DCB eq - ۳۴۳ گزارش شد که این میزان تقریباً ۵۰ تا ۶۰ برابر بیش‌تر از سامانه‌های ارگانیک تولید برنج بوده است. در مطالعه‌ای بر روی سامانه‌های تولید برنج بر مبنای چرخه زندگی، برتری سازگاری زیست‌محیطی سامانه‌های ارگانیک و پایدار در مقایسه با سامانه‌های متداول برنج گزارش شد (Hokazono et al., 2009). این پژوهشگران نشان دادند که سامانه‌های پایدار و ارگانیک برنج پتانسیل کاهش گرمایش جهانی و یوتریفیکاسیون را دارا می‌باشند.

در پژوهشی خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2017) با تحلیل اثرات زیست‌محیطی نظام‌های تولید برنج اذعان داشتند بالاترین اثرات زیست‌محیطی نظام‌های تولید برنج به ترتیب مربوط به یوتریفیکاسیون در محیط آبی، گرمایش جهانی، یوتریفیکاسیون در محیط خشکی و اسیدی شدن بوده است.

علاوه‌براین، آقاعلیخانی و همکاران (AghaAlikhani et al., 2013) با بررسی انرژی مصرفی در زراعت برنج در استان مازندران نشان دادند، مقادیر بازده انرژی در سیستم مکانیزه ۱/۶۳ و در سیستم مرسوم ۱/۷۲ بوده است. نبوی پله‌سرائی و همکاران (Nabavi-Pelesaraei et al., 2019) نیز با بررسی مدل‌سازی انرژی و شاخص‌های آلایندگی در تولید شلتوک در استان گیلان بر مبنای رویکرد ارزیابی چرخه زندگی بیان داشتند که پر مصرف‌ترین و به تبع آن پرآلاینده‌ترین نهاده‌های مصرفی شامل سوخت دیزل، کودهای شیمیایی و الکتریسیته در این پژوهش می‌باشند. فراهم‌سازی مداوم نیازهای نامحدود مربوط به بخش کشاورزی با به‌کارگیری منابع محدود موجود، درگرو کاربرد منطقی، بهینه و اصولی مؤلفه‌های گوناگون تولید است و این امر مستلزم پژوهش‌های نظام‌مند و چندجانبه‌نگر خواهد بود. با نظر به سطوح زیر کشت قابل ملاحظه‌ی برنج در استان مازندران و به‌کارگیری نهاده‌های کشاورزی (از جمله سموم مختلف، کودهای شیمیایی، سوخت‌های فسیلی) در کاشت، داشت و برداشت این محصول؛ پرواضح است که اثرات زیست محیطی بسیاری بر اکوسیستم این ناحیه می‌گذارند. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی مؤلفه‌های انرژی و تعیین اثرات زیست‌محیطی در سه سامانه زراعی متداول، کم‌نهاده و ارگانیک به‌منظور تصمیم‌گیری‌های مناسب در مدیریت محصول یادشده، طراحی و اجرا شد.

1- Life Cycle Analysis

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، سه سامانه‌ی زراعی شامل کشت مرسوم، کم‌نهاده و ارگانیک کشت برنج (رقم طارم هاشمی) طی سال زراعی ۱۳۹۸ در مناطق مختلف استان مازندران مورد مقایسه قرار گرفت. استان مازندران با حدود ۲۴ هزار کیلومترمربع مساحت در موقعیت جغرافیایی بین ۴۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و پنج دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است.

جدول ۱- معادلات و ضرایب مربوط به انتشارات حاصل از کودهای شیمیایی و کودهای دامی (IPCC, 2006)

Table 1- Equations and coefficients related to emissions from chemical fertilizers and farm yard manure

شماره معادله Equation number	معادله Equation	ضریب آلودگی Pollution coefficient
1	$N_2O = [0.01 \times kg\ N_{Chemical\ fertilizers\ \&\ FYM}] \times \left(\frac{44}{28}\right)$	0.01
2	$N_2O = [0.01 \times 0.2 \times kg\ N_{FYM}] \times \left(\frac{44}{28}\right)$	0.01× 0.2
3	$NH_3 = [0.1 \times kg\ N_{Chemical\ fertilizers}] \times \left(\frac{17}{44}\right)$	0.1
4	$NOx = [kg\ N_2O_{Chemical\ fertilizers\ \&\ Soil}] \times \left(\frac{21}{100}\right)$	0.21
5	$NH_3 = [0.2 \times kg\ N_{FYM}] \times \left(\frac{17}{14}\right)$	0.2
6	$N_2O = [0.01 \times 0.1 \times kg\ N_{Chemical\ fertilizers}] \times \left(\frac{44}{28}\right)$	0.01× 0.1

روند ارزیابی چرخه حیات از چهار مرحله تشکیل شده است: تعیین هدف و دامنه[1]، تحلیل سیاهه یا صورت‌برداری از چرخه زندگی[2]، ارزیابی اثرات در چرخه زندگی[3] و تفسیر نتایج[4] (Mostashari-Rad et al., 2021).

در این پژوهش، دروازه مزرعه به‌عنوان مرز سامانه و واحد کارکردی مورد مطالعه برای یک تن شلتوک در نظر گرفته شده است. دامنه مورد نظر در پژوهش حاضر از استخراج مواد اولیه تا مرحله برداشت شلتوک بوده است. سیستم تولید شلتوک دارای دو محصول خروجی شامل دانه‌های شلتوک و کاه است؛ لذا در پژوهش حاضر با توجه به هدف و دامنه مورد بررسی، تخصیص اثرات زیست‌محیطی تنها بر اساس یک خروجی (دانه‌های شلتوک) در مدل ارزیابی چرخه زندگی انجام گرفته است.

به‌منظور جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات موردنیاز از روش ارائه و تکمیل پرسش‌نامه و مصاحبه رو در رو با کشاورزان این مناطق استفاده گردید. برای اجرای آزمایش برای سامانه‌های ارگانیک، کم‌نهاده و مرسوم، مزارعی از سه شهرستان آمل، بابل و فریدونکنار؛ که از مناطق عمده شالی‌زاری استان مازندران هستند، انتخاب شدند. در این پژوهش، وسعت زمین‌های انتخابی، یک هکتار در نظر گرفته شده است. داده‌های مربوط به مزرعه شامل میزان مصرف نهاده‌ها همچون کودهای شیمیایی، سم، سوخت دیزل (حاصل از به‌کارگیری ماشین‌های مختلف کشاورزی)، تعداد کارگرها، ساعات کاری و الکتریسیته (مربوط به پمپ‌های آب) در بخش کاشت، داشت و برداشت، در سامانه‌های گوناگون زراعی برنج، به‌صورت رو در رو از کشاورزان جمع‌آوری گردید. به‌منظور سرشماری یا تعیین اندازه نمونه از روش‌های متداول آماری از جمله روش کوکران (Kizilaslan, 2009) استفاده شد. بر این اساس، حجم نمونه به‌دست آمده از فرمول کوکران (معادله ۷) در حدود ۲۱۲ کشاورز برآورد شد.

$$n = \frac{NS^2t^2}{(N-1)d^2+S^2t^2}$$ معادله (۷)

که در آن، N: اندازه جامعه آماری، t: به‌عنوان ضریب اطمینان قابل قبول، S: برآورد انحراف معیار صفت مورد مطالعه در جامعه، d: دقت احتمالی مطلوب و n: حجم نمونه می‌باشد. گام دوم چرخه زندگی

1- Goal & scope definition
2- Inventory analysis
3- Impact assessment
4- Interpretation

به شناسایی و کمّی‌سازی تمامی منابع مورد استفاده برای تولید محصول مثل انرژی، آب، مواد خام و فرآوری شده و تمامی مواد انتشار یافته به محیط زیست همچون انتشار مواد آلاینده به هوا، خاک، آب و ضایعات ناشی از تولید و مصرف محصول تمرکز دارد. در بخش تعیین ورودی‌ها و خروجی‌های سامانه، تمام منابع و مقادیری که در تولید محصول مورد نیاز است و تمامی مقادیر آلاینده‌های انتشار یافته به محیط زیست در اثر استفاده از نهاده‌ها، بر مبنای واحد مرجع محاسبه گردید. در پژوهش حاضر، جهت برآورد انتشارات ناشی از احتراق دیزل که خود حاصل راه‌اندازی و کاربرد ماشین‌آلاتی همچون تراکتورها است، از انتشارات پایگاه داده اکوینونت استفاده گردید (Nemecek, et al., 2007). انتشارات حاصل از سایر کودهای شیمیایی و کودهای دامی بر مبنای ضرایب هیئت بین دولتی تغییرات اقلیم برآورد شد که در جدول ۱ فهرست‌وار آورده شده است. بر این اساس، برخی از ضرایب به‌منظور تبدیل آلاینده‌ها در معادلات ۱ تا ۶ (جدول ۱) ارائه شده است (IPCC, 2006).

در گام سوم اثرات بالقوه ناشی از مصرف منابع محیطی و تولید آلاینده‌ها بر انسان و طبیعت مورد کندوکاو قرار گرفت. هدف از این گام، تفسیر ورودی‌ها و خروجی‌های سامانه تولید اس که دارای سه مرحله طبقه‌بندی، نرمال‌سازی و وزن‌دهی است (Brentrup et al., 2004 a). در مرحله طبقه‌بندی هر کدام از مقادیر انتشار یافته به محیط زیست و نیز منابع مورد استفاده در چرخه حیات، به اثر زیست محیطی مربوطه نسبت داده شد. به‌منظور دستیابی به اطلاعات مورد نیاز چرخه زندگی در این پژوهش از روش CML2 baseline استفاده شد. مهم‌ترین گروه‌های تأثیر در این تحقیق در روش CML2 baseline شامل تخلیه مواد غیرزیستی، اسیدی شدن، گرمایش جهانی، تخلیه لایه ازن، اکسیداسیون فتوشیمیایی، مسمومیت انسان-ها، مسمومیت آب‌های سطحی، مسمومیت آب‌های آزاد، مسمومیت خاک و یوتریفیکاسیون می‌باشند. در این مرحله پس از طبقه‌بندی اثرات، شاخص هر گروه تأثیر، محاسبه شد. شاخص هر گروه اثر با استفاده از معادله ۸ به‌دست آمد.

$$ICI_i = \sum_i [(E_j or R_j) \times CF_{i.j}]$$ معادله (۸)

که در آن، LCI_i: شاخص طبقه‌بندی هر گروه اثر i، E_j یا R_j: انتشار ترکیب j یا مصرف منبع j برای هر واحد کارکردی و CF_{ij}: فاکتور طبقه‌بندی برای ترکیب j سهیم در گروه اثر i می‌باشد. در آخرین مرحله نیز شاخص محیطی تحت عنوان شاخص بوم‌شناخت که معیار نهایی LCA است، با استفاده از معادله ۹ محاسبه شد. درحقیقت، شاخص زیست‌محیطی هر گروه اثر نشان‌دهنده میزان تخریب آن گروه خواهد بود (Brentrup et al., 2004 a):

$$EcoX = \sum_i [N_i \times WF_i]$$ معادله (۹)

که در آن، Ecox: شاخص زیست‌محیطی واحد کارکردی برای اثرات زیست‌محیطی، N: نتایج نرمال‌سازی برای گروه اثر i در هر واحد کارکردی و WF_i: فاکتور وزن‌دهی برای هر گروه تأثیر i می‌باشد. باید اذعان داشت هر چه شاخص زیست‌محیطی بزرگ تر باشد، نشان‌دهنده پتانسیل بیشتر در آسیب به محیط زیست خواهد بود. در گام نهایی ارزیابی چرخه زندگی نیز نتایج مراحل صورت‌برداری و ارزیابی تأثیر، مورد تحلیل و گزارش LCA تهیه گردید (ISO, 1997).

به‌منظور محاسبه هم‌ارز انرژی نهاده‌ها و در نهایت، محاسبه انرژی مصرفی در عملیات مختلف از ضرایب و هم‌ارزهای منابع موجود در جدول ۲ استفاده شد.

روابط مربوط به محاسبات شاخص‌های انرژی برای کشت برنج در سناریوهای مختلف در جدول ۳ آورده شده است. این پارامترها عبارتند از بازده انرژی، انرژی خالص، بهره‌وری انرژی و انرژی مخصوص.

در این پژوهش، تمامی شاخص‌های انتشار آلاینده‌های زیست-محیطی با استفاده از مدل LCA در نرم‌افزار SimaPro برآورد و مقایسه شدند. نمودارها نیز با نرم‌افزار Excel ترسیم شده است.

نتایج و بحث

انرژی‌های ورودی و خروجی مربوط به سامانه‌های مختلف زراعت برنج در مناطق مورد مطالعه و مقدار عملکرد هر یک از این سامانه‌ها در هر هکتار در جدول ۴ ارائه شده است. بر این اساس، به‌ازای تولید ۴۶۱۴/۸۴ کیلوگرم شلتوک در یک هکتار در سامانه‌های متداول، ۶۰۲۲۵/۴۲ مگاژول انرژی مصرف شده و این میزان انرژی به‌تولید ۶۷۸۳۸/۱۵ مگاژول انرژی در این سامانه منجر شده است. علاوه براین، به‌ازای تولید ۴۱۱۵/۸۹ و ۳۲۶۵/۶۳ کیلوگرم شلتوک در هر هکتار از سامانه‌های کم‌نهاده و ارگانیک نیز به‌ترتیب ۶۰۵۰۳/۵۸ و ۴۸۰۰۴/۷۶ مگاژول انرژی تولید شده است، به‌طوری که این میزان تولید، به مصرف ۳۳۸۵۸/۲۲ و ۱۸۶۶۲/۱۴ مگاژول انرژی در سامانه کم‌نهاده و ارگانیک منجر شده است. ازآن جا که برنج در نقاط گوناگون جهان با تکنیک و روش‌های متنوعی تولید می‌گردد و نیز

ارقام گوناگون آن دارای عملکرد متنوعی است، گزارش‌های مختلفی در مورد مقدار انرژی تولیدی و مصرفی در تولید برنج ارائه شده است. برای نمونه، پنگ و یان (Peng & Yuan, 2017) در مطالعات خود روی برنج مقادیر انرژی را در تولید برنج در سامانه‌های گوناگون کاشت در هر هکتار در حدود ۲۵۴۴۱ تا ۳۴۵۵۵ مگاژول برآورد کردند. همچنین مقدار انرژی تولیدی در هر هکتار از ۲۳۴۳۹۳ تا حدود ۲۶۶۷۴۵ مگاژول متغیر بوده است.

جدول ۲- هم‌ارز انرژی مربوط به نهاده‌های مصرفی

Table 2- Energy equivalent of consumption inputs

ورودی‌ها و خروجی‌ها Inputs and outputs	واحد مصرف Unit	معادل انرژی Energy equivalent (MJ per unit)	منبع Reference
ورودی‌ها ۱. **Inputs**			
بذر Seed	kg	14.7	Kazemi et al. (2015)
کود شیمیایی Chemical fertilizer	kg		
نیتروژن N		66.14	Banaeian & Zangeneh (2011)
فسفر P		12.44	Ozkan et al. (2011)
پتاسیم K		11.15	Nabavi-Pelesaraei et al. (2018)
مواد شیمیایی Agrochemicals	kg		
علف‌کش Herbicide		238	Banaeian & Zangeneh (2011)
قارچ‌کش Fungicide		216	Banaeian & Zangeneh (2011)
حشره‌کش Pesticide		101.2	Banaeian & Zangeneh (2011)
دیزل Diesel	L	56.31	Erdal et al. (2007)
ادوات و ماشین‌آلات Agricultural machinery	$MJ.kg^{-1}$		
تراکتور Tractor		93.6	Ovtit-Canavate & Hernanz (1999)
نشاکار Transplanter		51.5	Salami & Ahmadi (2010)
اسپری Sprayer		62.7	Ovtit-Canavate & Hernanz (1999)
کمباین Combine		87.63	Ovtit-Canavate & Hernanz (1999)
نیروی برق Electricity	KWh	11.93	Nassiri & Singh (2009)
نیروی انسانی Human labor	h	1.96	Nabavi-Pelesaraei et al. (2018)
خروجی‌ها ۲. **Outputs**			
شلتوک Paddy	kg	14.7	Kazemi et al. (2015)
کاه و کلش Straw	kg	12.5	Kazemi et al. (2015)

جدول ۳- شاخص‌های انرژی
Table 3- Energy parameters

شاخص Index	شماره Number	معادله Equation	منبع Reference
نسبت یا کارایی مصرف انرژی Energy ratio (%)	(10)	$ER = \frac{Energy\ Output}{Energy\ Input}$	Nabavi-Pelesaraei et al. (2018)
انرژی خالص Net energy gain	(11)	$NE = \text{Energy output} - \text{Energy Input}$	Nabavi-Pelesaraei et al. (2018)
بهره‌وری انرژی Energy productivity	(12)	$EP = \frac{Grain\ Output}{Energy\ Input}$	Nabavi-Pelesaraei et al. (2018)
انرژی ویژه Specific energy	(13)	$SE = \frac{Energy\ Input}{Grain\ Output}$	Nabavi-Pelesaraei et al. (2018)

علت تولید بالای انرژی در سامانه‌های برنج در این پژوهش در مقایسه با پژوهش حاضر را می‌توان تولید بیشتر عملکرد برنج در حدود ۸۴۵۱ تا ۹۱۷۳ کیلوگرم در هکتار دانست. در پژوهشی دیگر، مقادیر انرژی ورودی در تولید برنج به‌ازای هر هکتار از شالی‌زارهای برنج در حدود ۱۹۹۳۷۳ تا ۲۲۱۲۲۲ مگاژول بوده است. در این مطالعه، میزان انرژی تولیدی در حدود ۷۴۵۲۶ مگاژول در کشور ویتنام برآورد شده است (Truong et al., 2017). پیشگرکومله و همکاران (Pishgar-Komleh et al., 2011) در پژوهش خود روی برنج اظهار داشتند میزان انرژی ورودی و خروجی به‌ترتیب ۳۹۳۳۳ و ۶۰۳۴۱ مگاژول در هکتار بوده است. در پژوهشی دیگر نیز میزان انرژی‌های ورودی و خروجی در سامانه تولید برنج در ایران به‌ترتیب در حدود ۷۱۰۹۲/۲۶ و ۱۲۲۹۶۲/۷۶ مگاژول در هکتار برآورد شده است (AghaAlikhani et al., 2013). مقدار کل انرژی ورودی حاصل از سموم شیمیایی نیز در سامانه‌های متداول و کم‌نهاده به‌ترتیب ۶۸۲۰/۸۰ و ۲۲۷۰/۴۰ ثبت شد. در سامانه‌های ارگانیک به‌دلیل عدم استفاده از سموم شیمیایی و به‌کارگیری عملیات مطلوب کشاورزی مانند کاربرد مناسب کودها و سموم شیمیایی، بذور و نیروی انسانی مقدار انرژی ورودی در مقایسه با سایر سامانه‌ها کمتر و در نتیجه، کارایی تولید برنج بیشتر است (Chauhan et al., 2006).

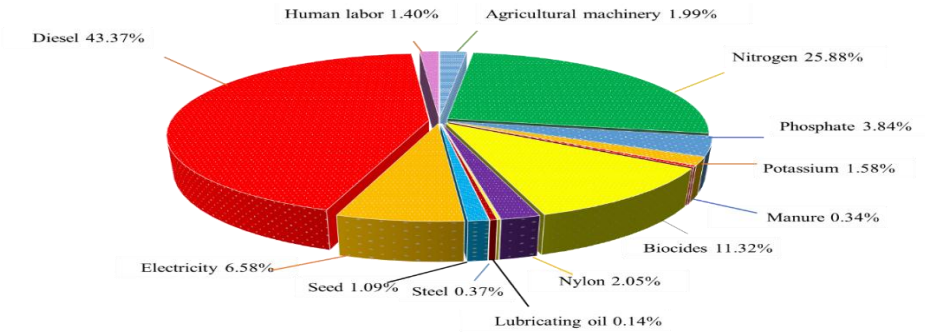
شکل ۱ سهم هرکدام از نهاده‌ها را در تولید شلتوک در سامانه متداول نشان می‌دهد. بالاترین مقدار مصرف انرژی به سوخت دیزل با ۴۳/۳۷ درصد از کل میزان انرژی مصرفی تعلق دارد.

همچنین شکل‌های ۲ و ۳ نیز سهم نهاده‌ها را در سامانه‌های کم‌نهاده و ارگانیک ارائه می‌دهند، که در آن‌ها به‌ترتیب سوخت دیزل با ۴۴/۳۱ و ۶۲/۸۹ درصد از کل انرژی مصرفی بیشترین مقدار مصرف انرژی را به‌خود اختصاص داده است. به‌طور مشابهی، در پژوهش‌های بسیاری در زمینه تولید برنج، سوخت دیزل سهم بسزایی در مصرف کل انرژی داشته است (Eskandari et al., 2011; Bockari-Gevao et al., 2005; Bautista et al., 2010). یکی از مهم ترین دلایل مصرف بالای سوخت دیزل در ایران را می‌توان استفاده بیش از حد از ماشین‌ها و ادوات قدیمی با طول عمر بالا برشمرد. بدین روی، اجرای عملیاتی که به کارایی مصرف دیزل به‌ویژه مصرف دیزل به‌منظور سوخت تیلر و تراکتور می‌شود؛ برای نمونه پر کردن باک قبل از شروع کار، امتحان فشار باد لاستیک، سرویس و نگهداری به‌موقع و به‌کارگیری روغن با ویسکوزیته مطلوب جهت افزایش کارایی موتور توصیه می‌شود. در پژوهشی مشابه نیز در شالی زارهای کشور هند، بیشتر از ۵۰ درصد مصرف انرژی به مصرف سوخت دیزل متعلق بوده است (Baruah & Dutta, 2007). همچنین، پیشگرکومله و همکاران (Pishgar-Komleh et al., 2011) نیز با بررسی انرژی مصرفی در تولید برنج شمال ایران، اذعان داشتند که بیشترین سهم در کل انرژی مصرفی به صورت مصرف انرژی به شکل دیزل، بنزین، گاز و الکتریسیته بوده است. در همین زمینه، کاظمی و همکاران (Kazemi et al., 2015) نیز در شالی زارهای استان گیلان، مازندران و گلستان نشان دادند که سوخت دیزل به‌ترتیب در حدود ۲۹/۶۷، ۳۵/۶۵ و ۴۶/۴۱ درصد از میزان کل انرژی مصرفی را به خویش اختصاص داده است. از سویی، در سامانه ارگانیک انرژی مصرفی به صورت الکتریسیته با ۱۳/۱۹ درصد در جایگاه دوم قرار گرفت این درحالی است که انرژی به صورت کود نیتروژن با ۲۵/۸۸ و ۲۰/۲۵ درصد از کل انرژی مصرفی به ترتیب در سامانه‌های متداول و کم‌نهاده در جایگاه نخست قرار گرفت.

جدول ٤- انرژی‌های ورودی و خروجی در تولید شلتوک در سامانه‌های مختلف تولید برنج در استان مازندران

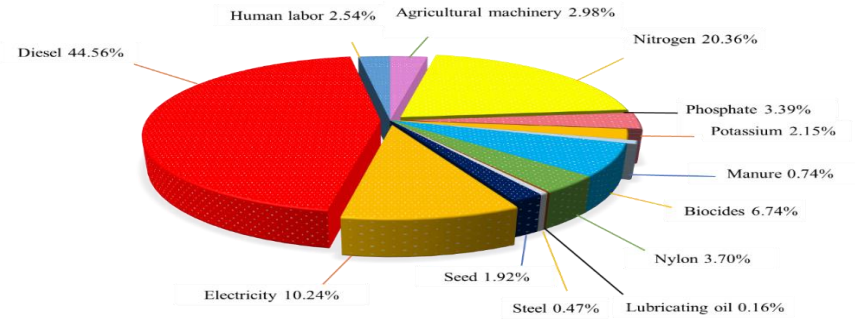
Table 4- Input and output energies in paddy production in different rice production systems in Mazandaran province

ورودی–خروجی Input-output	ارگانیک Organic system		کم‌نهاده Low external input system		متداول Conventional system	
	معادل انرژی Energy equivalent ($MJ.ha^{-1}$)	کمیت در واحد سطح Quantity per unit area (ha)	معادل انرژی Energy equivalent ($MJ.ha^{-1}$)	کمیت در واحد سطح Quantity per unit area (ha)	معادل انرژی Energy equivalent ($MJ.ha^{-1}$)	کمیت در واحد سطح Quantity per unit area (ha)
ورودی‌ها ۱. Inputs						
ماشین‌آلات Agricultural machinery (kg)	941.82	6.60	1004.61	7.04	1195.83	8.38
نیتروژن N (kg)	-	-	6857.40	103.68	15588.54	235.69
فسفات P (kg)	-	-	1144.23	91.98	2318.19	186.35
پتاسیم K (kg)	-	-	725.42	65.06	953.66	85.53
کود دامی Farm yard manure (kg)	450	1500	249.13	830.43	206.68	688.92
سموم شیمیایی Biocides (kg)	-	-	2270.40	18.92	6820.80	56.84
نایلون Nylon (kg)	1214.10	13.49	1246.50	13.85	1236.60	13.74
روغن Oil (liter)	51.87	1.33	56.94	1.46	90.09	2.31
فولاد Steel (kg)	146.80	4	161.48	4.40	227.17	6.19
بذر Seed (kg)	645.92	43.94	646.51	43.98	659.44	44.86
الکتریسیته Electricity (KWh)	2462.11	206.38	3447.77	289	3962.91	332.18
نیروی کار Human labor (Hour)	1012.83	516.75	853.95	435.59	843.31	430.26
دیزل Diesel (Liter)	11736.69	208.43	15002.67	266.43	26122.21	463.90
خروجی‌ها ۲. Outputs						
شلتوک Paddy	48004.76	3265.63	60503.58	4115.89	67838.15	4614.84



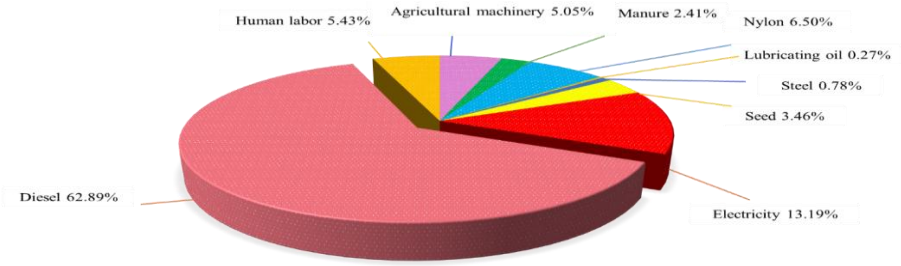
شکل ۱- سهم هر یک از نهاده‌ها در کل انرژی مصرفی در تولید شلتوک در سامانه متداول در استان مازندران

Fig. 1- The share of each input in the total energy consumption in the production of paddy in the conventional system in Mazandaran province



شکل ۲- سهم هر یک از نهاده‌ها در کل انرژی مصرفی در تولید شلتوک در سامانه کم‌نهاده در استان مازندران

Fig. 2- The share of each input in the total energy consumption in the production of paddy in the low input system in Mazandaran province



شکل ۳- سهم هر یک از نهاده‌ها در کل انرژی مصرفی در تولید شلتوک در سامانه ارگانیک در استان مازندران

Fig. 3- The share of each input in the total energy consumption in the production of paddy in the organic system in Mazandaran province

علاوه‌براین، سهم کود نیتروژنه در تولید شلتوک در سامانه‌های متداول و کم‌نهاده به‌ترتیب در حدود ۲۵/۸۸ و ۲۰/۳۶ درصد از کل میزان انرژی مصرفی بوده است که در جایگاه دوم قرار گرفتند (شکل ۱ و ۲). این در حالی است که در نظام ارگانیک میزان انرژی ورودی الکتریسیته با ۱۳/۱۹ درصد در جایگاه دوم قرار گرفت (شکل ۳).

نتایج این پژوهش با نتایج برخی از پژوهش‌های دیگر در مورد تولید برنج مطابقت دارد (Bockari-Eskandari et al., 2011; Gevao et al., 2005; Khan et al., 2009; Gajaseni et al., 1995; Bautista et al., 2010) که در آن‌ها کودهای شیمیایی مصارف بسیار بالایی در تولید شلتوک داشته‌اند. به‌دلیل شرایط کاشت برنج و نیز موقعیت جغرافیایی استان مازندران، آب‌شویی کودهای شیمیایی امری اجتناب‌ناپذیر است و همین امر به افزایش مصرف کودهای شیمیایی می‌شود. با این وجود، رعایت برخی از اصول مدیریتی در این حیطه مانند مقدار صحیح مصرف کود نیتروژنه طبق

دستورالعمل های فنی، به‌کارگیری کودها با فرمول‌بندی مناسب، کاربرد صحیح و زمان‌بندی مناسب را می‌توان جهت اصلاح مصرف کود نیتروژن به‌کار برد.

علاوه براین، مؤلفه‌های انرژی در تولید شلتوک در جدول ۴ آورده شده است. بر این اساس، میزان نسبت انرژی در تولید شلتوک در سامانه‌های متداول، کم‌نهاده و ارگانیک به‌ترتیب ۱/۱۳، ۱/۷۹ و۲/۵۷ بوده است. متوسط نسبت انرژی در مطالعات گوناگون روی برنج از ۱/۷۲ (AghaAlikhani et al., 2013)، ۳ (Eskandari et al., 2011)، ۴ (Chamsing et al., 2006) و ۱/۵۳ (Pishgar-Komleh et al., 2011) متغیر بوده است. در پژوهشی در شالی‌زارهای کشور چین نسبت انرژی بین ۷/۷۲ و ۹/۲۱ گزارش شده است (Yuan & Peng, 2017). در شالی‌زارهای کشور ویتنام نیز این نسبت بین ۶/۰۸ و ۸/۹۶ متغیر بوده است (Truong et al., 2017). این درحالی است که نسبت انرژی در پژوهشی در شالی‌زارهای جنوب ایران بین ۲/۳۰ و ۲/۸۵ گزارش شده است (Eskandari & Attar, 2015). مقایسه این نتایج حاکی از آن است که می‌توان این نسبت را در شالی‌زارهای مورد مطالعه با افزایش در کارایی انرژی به کمک اصلاح ارقام مورد استفاده، مدیریت و کاهش به کارگیری از نهاده‌های انرژی، افزایش انرژی خروجی و بهینه‌سازی الگوی مصرف انرژی ارتقا بخشید. از سویی، میزان بهره‌وری انرژی نیز در سامانه‌های متداول، کم نهاده و ارگانیک به‌ترتیب در حدود ۰/۰۸، ۰/۱۲ و ۰/۱۷ برآورد شد. این امر حکایت از آن دارد که به‌ازای تولید هر یک کیلوگرم شلتوک در سامانه‌های متداول، کم‌نهاده و ارگانیک به‌ترتیب ۱۳/۰۵، ۸/۲۳ و ۵/۷۱ مگاژول بر کیلوگرم (انرژی ویژه) مصرف شده است. برخی از پژوهش‌ها حاکی از آن است که بهره‌وری انرژی در شالی زارهای کشور چین در حدود ۰/۲۷ و ۰/۳۳ کیلوگرم بر مگاژول بوده است و نیز در شالی‌زارهای کشور ویتنام نیز در حدود ۰/۱۵ و ۰/۲۳ کیلوگرم بر مگاژول برآورد شده است (Truong et Yuan & Peng, 2017; al., 2017). همچنین در سامانه متداول در حدود ۷۶۱۲/۷۲ مگاژول در هکتار و برای سامانه‌های کم نهاده و ارگانیک میزان انرژی خالص به‌ترتیب در حدود ۲۶۶۴۵/۳۶ و ۲۹۳۴۲/۶۲ مگاژول در هکتار بوده است. این یافته‌ها بیانگر مقادیر انرژی خروجی بسیار بالاتر از مقادیر انرژی ورودی در این سامانه‌ها است. در حقیقت، مقادیر بالا و مثبت انرژی خالص نشان‌دهنده این واقعیت است که توازن انرژی در بوم-نظام‌های زراعی مورد مطالعه مثبت است (Yousefi et al., 2017).

تقسیم‌بندی دیگری از انرژی‌های ورودی ازجمله انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی‌های تجدیدناپذیر، انرژی‌های مستقیم و انرژی‌های غیرمستقیم وجود دارد که در این پژوهش مقادیر آن‌ها نیز برای سامانه‌های مذکور برآورد گردیده است (جدول ۵). بر اساس این نتایج، سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر در مقایسه با انرژی‌های تجدیدپذیر بسیار بیشتر است. بر این اساس، نتایج نشان داد که مقادیر انرژی مستقیم و غیرمستقیم در سامانه متداول به‌ترتیب ۳۰۹۲۸/۴۳ و ۲۹۲۹۷/۰۰ مگاژول بر هکتار بوده است. علاوه براین، سهم انرژی تجدیدناپذیر در سامانه متداول ۵۸۵۱۶/۰۰ مگاژول بر هکتار و در سامانه کم نهاده ۳۱۹۱۷/۴۲ مگاژول بر هکتار بوده است، این در حالی است که این سهم در سامانه‌های ارگانیک بسیار کمتر در حدود ۱۶۵۳۳/۴۰ مگاژول بر هکتار بوده است. البته سهم انرژی‌های تجدیدپذیر نیز در سامانه‌های ارگانیک در مقایسه با دیگر سامانه‌ها بسیار بالاتر بوده است، به‌طوری که این سهم در سامانه‌های ارگانیک در حدود ۲۱۰۸/۷۵ مگاژول در هکتار و در سامانه‌های متداول و کم نهاده به‌ترتیب در حدود ۱۷۰۹/۴۳ و ۱۷۴۹/۵۹ بوده است. این نتایج حکایت از آن دارد که تولید برنج به مقادیر بسیار بالای منابع تجدیدناپذیر مانند سوخت دیزل و الکتریسته وابسته است. به‌طور مشابهی، یوسفی و محمدی (Yousefi & Mohammadi, 2011) خاطر نشان کردند که مصرف بسیار بالای انرژی‌های تجدیدناپذیر ناشی از کاربرد زیاد کودهای شیمیایی، سوخت دیزل و ماشین‌آلات در تولید است. بسیاری از پژوهش‌ها نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند که سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر بسیار بالاتر از سهم انرژی‌های تجدیدپذیر بوده است (Esengun et al., 2007; Ozkan et al., 2007). همچنین، در پژوهش حاضر مقادیر انرژی مستقیم و غیرمستقیم در سامانه ارگانیک ۸۱/۵۱ درصد و ۱۸/۴۹ درصد، در سامانه کم نهاده به‌ترتیب ۵۷/۳۴ و ۴۲/۶۶ درصد و در سامانه متداول به‌میزان ۵۱/۳۵ و ۴۸/۶۵ درصد به‌دست آمد. علاوه براین سهم مقادیر انرژی‌های تجدیدناپذیر نیز در سامانه‌های متداول، کم نهاده و ارگانیک به‌ترتیب در حدود ۹۷/۱۶، ۹۴/۸۰ و ۸۸/۷۰ درصد برآورد شد. لذا با توجه به این نتایج، مقادیر به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدناپذیر در سامانه‌های متداول و کم نهاده در مقایسه با سامانه ارگانیک بیشتر است که از دو دیدگاه قابل بررسی است. نخست آن که در این منطقه می‌بایست لزوم توجه هر چه بیشتر به انرژی‌های تجدیدپذیر در اولویت قرار بگیرد. دیدگاه دوم نیز دربرگیرنده مباحث محیط زیست

است که کاربرد نادرست و بی‌رویه انـرژی‌هـای تجدیدناپـذیر ازجملـه سوخت فسیلی می‌تواند تبعات و مخـاطرات زیسـت‌محیطـی غیرقابـل جبرانی را در پی داشته باشد.

جدول ۵- مؤلفه‌های انرژی در سامانه تولید شلتوک در استان مازندران

Table 5- Energy parameters in paddy rice production systems in Mazandaran province

مؤلفه‌های انرژی Energy parameters	واحد Unit	ارگانیک Organic	کم‌نهاده Low input	متداول Conventional
مقدار کل انرژی ورودی Total input energy	$MJ.ha^{-1}$	18662.14	33858.22	60225.42
مقدار کل انرژی خروجی Total output energy	$MJ.ha^{-1}$	48004.76	60503.58	67838.15
نسبت انرژی Energy ratio	-	2.57	1.79	1.13
بهره‌وری انرژی Energy productivity	$kg.MJ^{-1}$	0.17	0.12	0.08
انرژی ویژه Specific energy	$MJ.kg^{-1}$	5.71	8.23	13.05
انرژی خالص Net energy gain	$MJ.ha^{-1}$	29342.62	26645.36	7612.72
انرژی مستقیم (دیزل، نیروی کار و الکتریسیته) Direct energy (diesel, labor and electricity)	$MJ.ha^{-1}$	15211.64	19304.40	30928.43
انرژی غیرمستقیم (بذر، کودهای شیمیایی، سموم، کود دامی و ماشین) Indirect energy (seed, chemical fertilizers, pesticides, manure and machinery)	$MJ.ha^{-1}$	3450.51	14362.61	29297.00
انرژی تجدیدپذیر (بذر، کود دامی و نیروی کار) Renewable energy (seeds, manure and labor)	$MJ.ha^{-1}$	2108.75	1749.59	1709.43
انرژی تجدیدناپذیر (دیزل، سموم و کود شیمیایی، ماشین، الکتریسیته) Non-renewable energy (diesel, pesticides and chemical fertilizers, machinery, electricity)	$MJ.ha^{-1}$	16553.40	31917.42	58516.00

همچنین، بررسی چرخه زندگی برنج از مرحله استخراج مواد اولیه تا برداشت شلتوک به‌منظور بررسی‌های زیست محیطی تولید شـلتوک در سامانه‌های مختلف برنج، انجام گرفت. جدول ۶ محاسبات حاصـل را بر مبنای استاندارد CML2 baseline بـر اسـاس یـک تـن تولیـد شلتوک ارائه می‌دهد.

گرمایش جهانی از جمله مهم‌ترین گروه‌های تأثیر زیست‌محیطـی در مطالعه‌های چرخه زندگی به‌شـمار مـی‌رود. بـر اسـاس نتـایج ایـن پژوهش، به‌ازای تولید هر تن شلتوک در سامانه‌های متداول، کم‌نهـاده و ارگانیـک بـه‌ترتیـب در حـدود ۲۴۰۸/۹۰، ۱۷۷۷/۸۵ و ۱۱۹۳/۷۹ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن معادل به اتمسفر انتشار می‌یابد. در پژوهشـی، مقدار گرمایش جهـانی بـرای هـر تـن بـرنج در شـالی‌زار کشـورهای مدیترانه‌ای برای سه فصل زراعی و پنج روش گونـاگون تولیـد بـرنج تخمین زده شد. یافته‌های این پژوهش حاکی از آن بود کـه در سـال ۲۰۱۱ مقدار گرمایش جهانی حاصل از تولید یـک تـن بـرنج در بـین ۱۸۴۰ تا ۵۸۸۱ کیلوگرم کـربن دی اکسـید معـادل، و در سـال ۲۰۱۲ حدود ۱۰۹۰ و ۳۰۰۱ کیلوگرم دی‌اکسید کربن معادل و در سال ۲۰۱۳ در حدود ۹۳۳ و ۲۷۶۰ کیلوگرم دی اکسید کـربن معـادل بـوده اسـت (Fangueiro et al., 2017). همچنین، در پژوهشی دیگـر در مـزارع برنج واقع در شمال تایلند، مقدار گرمایش جهانی حاصل از تولید یـک تن برنج در حدود ۵۸۰ کیلوگرم دی‌اکسید کـربن معـادل بـوده اسـت

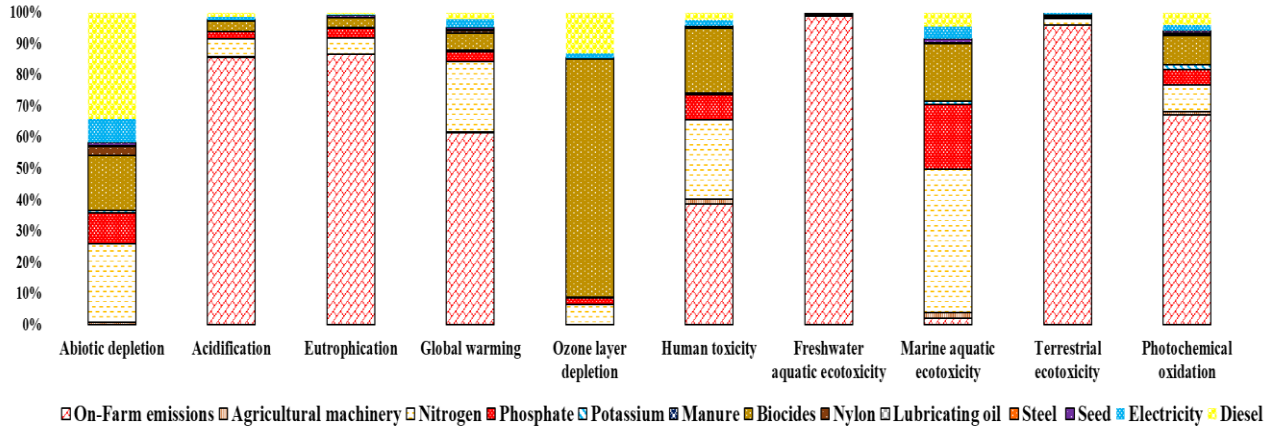
(Yodkhum et al., 2017). شکل ۴، ۵ و ۶ نیز سهم هرکدام از نهاده‌ها را در میزان گرمایش و دیگر گروه‌های تأثیر را در روش CML2 baseline به‌ترتیب در سامانه‌های متداول، کم‌نهاده و ارگانیک نشان می‌دهد. بر اساس یافته‌ها، آلاینده‌های درون مزرعه‌ای در هر سه سامانه مورد مطالعه سهم اصلی را در ایجاد گرمایش داشته‌اند. منشأ این نوع آلایندگی‌ها احتراق دیزل مصرفی در ادوات کشاورزی و ماشین آلات و نیز انتشار دی‌اکسید نیتروژن، اکسیدهای نیتروژن‌دار و دیگر ترکیبات نیتروژن‌دار حاصل از مصرف کود نیتروژن می‌باشند.

جدول ٦- شاخص‌های ارزیابی چرخه زندگی در سامانه‌های تولید شلتوک در استان مازندران بر مبنای استاندارد CML2 baseline

Table 6- Impact categories of life cycle assessment in Mazandaran paddy rice systems based upon CML2 baseline

گروه‌های تأثیر Impact categories	واحد Unit	ارگانیک Organic	کم‌نهاده Low input	متداول Conventional
تخلیه مواد غیرزیستی Abiotic depletion	kg Sb eq*	2.25	3.87	6.45
اسیدی شدن Acidification	kg SO_2 eq	24.25	32.44	39.37
یوتریفیکاسیون Eutrophication	kg PO_4^{-3} eq	6.41	9.13	11.46
گرمایش جهانی Global warming	kg CO_2 eq	1193.79	1777.85	2408.90
تخلیه لایه ازن Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	0.00004	0.0009	0.0004
مسمومیت انسان‌ها Human toxicity	kg 1,4-DCB eq**	272.83	651.20	1151.11
مسمومیت آب‌های سطحی Freshwater aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DCB eq	56.19	15017.06	22985.92
مسمومیت آب‌های آزاد Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DCB eq	55235.26	241137.62	446796.91
مسمومیت خاک Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB eq	5.79	84.97	136.99
اکسیداسیون فتوشیمیایی Photochemical oxidation	kg C_2H_4 eq	0.48	0.70	0.79

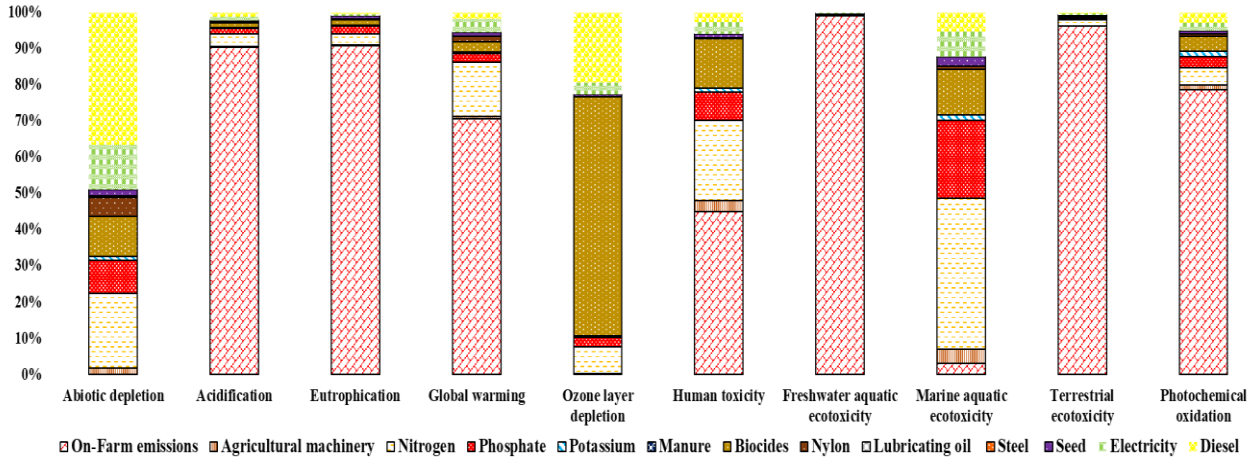
* kg Sb eq: معادل آنتیموان (Antimony) به‌ازای کیلوگرم انتشار، ** kg 1,4-DCB eq: معادل دیکلروبنزن (1,4-Dichlorobenzene) به‌ازای کیلوگرم انتشار



شکل ٤- سهم هر یک از نهاده‌های مصرفی و انتشارات درون مزرعه‌ای در گروه‌های تأثیر آلاینده‌های زیست‌محیطی در سامانه متداول تولید شلتوک در استان مازندران

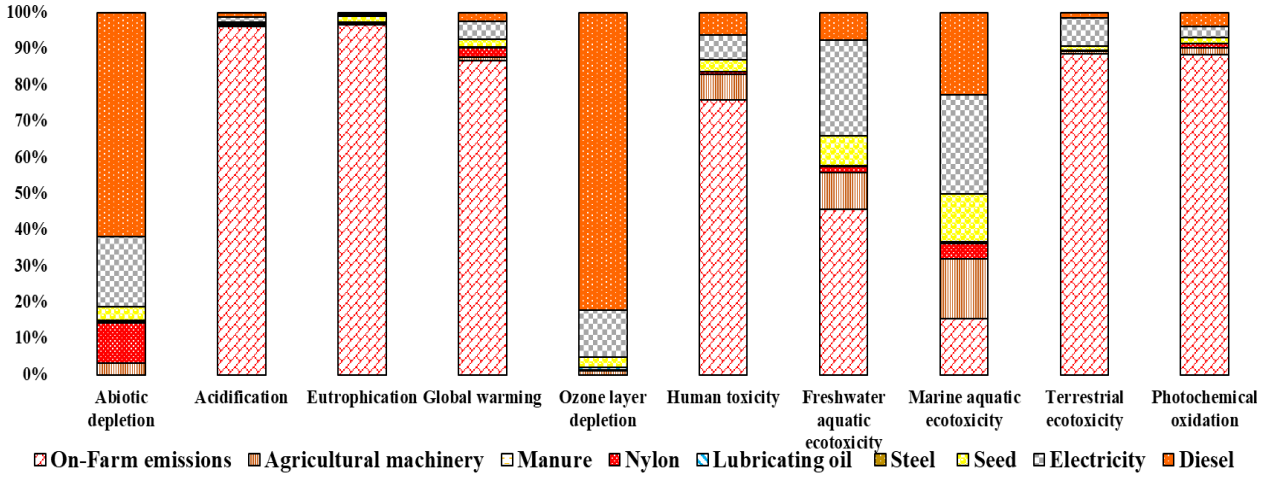
Fig. 4- Share of each input and on-farm emissions in the environmental pollutants impact categories in the conventional paddy production system in Mazandaran province

در پژوهشی در شالی زارهای کشور چین، در حدود ۸۰ درصد از میزان کل انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر حاصل از فعالیت‌های مستقیم در مزرعه بود (Xu et al., 2013). همچنین این فعالیت‌های مستقیم درون مزرعه‌ای در حدود ۸۳ درصد از کل گازهای گلخانه‌ای را در شالی‌زارهای کشور تایلند (Yodkhum et al., 2017) و حدود ۷۷ درصد از کل گازهای گلخانه‌ای را در شالی زارهای شمال کشور ژاپن (Koga & Tajima, 2011) به خود اختصاص دادند.



شکل ۵- سهم هر یک از نهاده‌های مصرفی و انتشارات درون مزرعه‌ای در گروه‌های تأثیر آلاینده‌های زیست‌محیطی در سامانه کم‌نهاده تولید شلتوک در استان مازندران

Fig. 5- Share of each input and on-farm emissions in the environmental pollutants impact categories in the low input paddy production system in Mazandaran province



شکل ٦- سهم هر یک از نهاده‌های مصرفی و انتشارات درون مزرعه‌ای در گروه‌های تأثیر آلاینده‌های زیست‌محیطی در سامانه ارگانیک تولید شلتوک در استان مازندران

Fig. 6- Share of each input and on-farm emissions in the environmental pollutants impact categories in the organic paddy production system in Mazandaran province

برخی از گازهای اسیدی انتشاریافته مانند دی‌اکسید سولفور و اکسیدهای نیتروژن که عمدتاً از سوختن سوخت‌های فسیلی انتشار

می‌یابند، قادرند تا چندین روز در هوا باقی بمانند. لذا این گازها قادرند تا مسافت هزاران کیلومتر حرکت کنند و در صورت برخورد با دیگر مواد به اسیدهای شیمیایی مانند نیتریک و سولفوریک تبدیل گردند، به‌طوری‌که در نهایت، این پدیده به‌بروز پدیده اسیدی شدن منجر می‌شود (Steiner et al., 2003). با توجه به جدول ۴-۳ مقادیر شاخص اسیدی‌سازی برای تولید برنج در سامانه‌های متداول، کم‌نهاده و ارگانیک به‌ترتیب ۳۷۰/۱۴، ۳۱۹/۹۸ و ۲۴۷/۰۷ کیلوگرم دی‌اکسید سولفور معادل به‌ازای تولید هر تن شلتوک است، به‌طوری‌که انتشارات درون مزرعه‌ای مستقیم با سهمی در حدود بیش از ۸۰ درصد در هر سه سامانه مورد بررسی، دارای مهم‌ترین نقش در تولید این شاخص بوده است. در پژوهشی در کشور چین، مقدار شاخص اسیدی سازی در تولید هر تن شلتوک در حدود ۵۲/۲۶ کیلوگرم دی اکسید سولفور معادل برآورد شد (He et al., 2018). این میزان از تفاوت‌ها را می‌توان ناشی از انواع مختلف عملیات کشاورزی، نوع محصول خروجی (کل شلتوک یا دانه) و یا نوع کود مصرفی دانست.

پدیده یوتریفیکاسیون نیز واکنش سامانه‌ها به افزایش بیش از حد مواد مصنوعی و یا طبیعی در محیط آبی است. چنین موادی می‌توانند در قالب مواد مغذی برای موجودات زنده مانند نیترات، هومین‌ها و فسفات باشند که قادرند از سوی کودهای شیمیایی و یا پساب حاصل از آن‌ها وارد آب‌ها شوند. این شاخص بر مبنای روش استوکیومتریک و در واحد کیلوگرم معادل فسفات بیان می‌گردد (Heijungs, 1992). شکل ۴، ۵ و ۶ نشان دهنده آن است که در تولید شلتوک در هر سه سامانه مورد بررسی انتشارات حاصل از فعالیت‌های مزرعه‌ای (مانند واکنش‌های ناشی از کودهای شیمیایی و احتراق دیزل) در بیش از ۸۰ درصد از میزان کل این شاخص سهم داشته‌اند. به‌طور مشابهی، (Hokazono & Hayashi 2012) سهم انتشارات مستقیم را در شاخص یوتریفیکاسیون در حدود ۷۷ تا ۸۸ درصد برآورد کرده‌اند. با توجه به شکل ۴، ۵ و ۶ تولید سموم (خارج از مزرعه) در تخلیه لایه ازن و شاخص‌های مرتبط با سمیت نیز نقش پررنگی داشته‌اند. علی رغم آن که آسیب‌های زیست محیطی حاصل از تولید سموم شیمیایی در محدوده کار شالیکاران نیست، با این وجود، کشاورزان می‌توانند با بهینه‌سازی مصرف سموم شیمیایی به کاهش تولید سموم کمک کرده و مخاطرات زیست‌محیطی ناشی از آن‌ها را به حداقل برسانند. علاوه‌براین، استخراج، فراوری و توزیع سوخت نیز عامل اساسی در گروه‌های تأثیر تخلیه مواد غیرزیستی و مسمومیت آب‌های آزاد بوده است. بر این اساس، پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تولید (اثرات غیرمستقیم) و مصرف (اثرات مستقیم) کود شیمیایی از جمله عوامل اصلی مسموم‌سازی سامانه‌های تولید، تخلیه مواد غیرزیستی و به‌ویژه یوتریفیکاسیون تلقی می‌گردد (Saenjan & Saisompan, 2004). لذا، با التفات به روند رو به رشد آثار زیست‌محیطی در بوم‌نظام‌های برنج به‌ویژه در شرایط مصارف بیش از حد کودهای شیمیایی و عملیات فشرده خاک‌ورزی، می‌توان با مدیریت صحیح و اکولوژیک حاصلخیزکننده‌های خاک همچون خاک‌ورزی حداقل و یا کاهش‌یافته و نیز استفاده از کودهای بیولوژیک به‌منظور کاهش آثار زیان‌بار زیست‌محیطی بهره جست.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، اثرات زیست محیطی و مؤلفه‌های انرژی مرتبط به هر یک از سامانه‌های تولید برنج مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که بالاترین میزان بهره‌وری و نسبت انرژی به سامانه ارگانیک و کمترین مقادیر آن به سامانه متداول اختصاص یافت و انرژی ورودی سوخت دیزل بالاترین سهم را در کل انرژی‌های ورودی داشته است. لذا توسعه سامانه‌های کشاورزی با حداقل انرژی ورودی نه تنها به کاهش انتشارات گازهای گلخانه‌ای بلکه به سلامت و پایداری تولید در این بوم‌نظام‌ها کمک شایانی می‌کند. همچنین نتایج نشان داد که بالاترین مقادیر گروه تأثیر زیست محیطی گرمایش جهانی متعلق به سامانه‌های متداول بود که این میزان به مصرف فشرده نهاده‌ها و مدیریت خاک‌ورزی و مصرف سوخت‌های فسیلی در این سامانه‌ها مرتبط می‌باشد. با توجه به یافته‌های این پژوهش و تبعات منفی زیست‌محیطی نظام‌های تولید برنج، راهکارهایی همچون مدیریت صحیح اکولوژیک، حداقل خاک‌ورزی و مدیریت صحیح بیولوژیک از جمله به‌کارگیری کودهای سبز، کودهای آلی و کمپوست، کاربرد نیترات با پوشش گوگردی، با ارتقاء پایداری نظام‌های تولید و تنوع کارکردی، مشکلات ناشی از مصرف بی‌رویه سوخت و کودهای شیمیایی را تقلیل می‌دهد. بر این اساس، سامانه‌های ارگانیک به لحاظ زیست محیطی و کارایی انرژی و پس از آن سامانه‌های کم‌نهاده در مقایسه با سامانه‌های متداول، بسیار مناسب‌تر خواهند بود.

سپاسگزاری

به این وسیله، از دانشگاه علوم کشاورزی و منـابع طبیعـی سـاری به عمل می‌آید.

به‌منظور حمایت‌های مالی برای انجام پژوهش حاضر قدردانی و تشکر

References

AghaAlikhani, M.., Kazemi Poshtmasari, H. and Habibzadeh, F., 2013. Energy use pattern in rice production: A case study from Mazandaran province. Iran. Energy Conversion and Management 69: 157-162. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.01.034

Bacenetti, J., Fusi, A., Negri, M., Bocchi, S., and Fiala, M., 2016. Organic production systems: Sustainability assessment of rice in Italy. Agriculture, Ecosystem and Environment 225: 33–44. https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.03.046

Banaeian, N., and Zangeneh, M., 2011. Study on energy efficiency in corn production of Iran. Energy 36: 5394-5402. https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.06.052

Baruah, D., and Dutta, P., 2007. An investigation into the energy use in relation to yield of rice (*Oryza sativa*) in Assam, India. Agriculture, Ecosystems and Environment 120: 185-191. https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.09.003

Bautista E.G., and Minowa T., 2010. Analysis of the energy for different rice production systems in the Philippines. The Philippine Agricultural Scientist 93(3): 346-57.

Blengini, G.A., and Busto, M., 2009. The life cycle of rice: LCA alternative agri-food chain management systems in Vercelli (Italy). Journal of Environmental Management 90(3): 1512-22. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.10.006

Bockari-Gevao, S.M., Bin Wan Ismail, W.I., Yahya, A., and Wan, C.C., 2005. Analysis of energy consumption in lowland rice-based cropping system of Malaysia. Songklanakarin Journal of Science and Technology 27(4): 820-826.

Brentrup, F., Küsters, J., Kuhlmann, H., and Lammel, J., 2004 a. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. European Journal of Agronomy 20(3): 247-264. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00024-8

Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Barraclough, P., and Kuhlmann, H., 2004 b. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology: II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. European Journal of Agronomy 20(3): 265-279. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00039-X

Chamsing, A., Salokhe, V.M., Gajendra, S., 2006. Energy consumption analysis for selected crops in different regions of Thailand. Agricultural Engineering International: The CIGR E Journal 2006: 8.

Chauhan, N.S., Mohapatra, P.K.J., and Pandey, K.P., 2006. Improving energy productivity in paddy production through bench markingd an application of data envelopment analysis. Energy Conversion and Management 47: 1063-85. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2005.07.004

Dalgaard, T., Halberg, N., and Fenger, J., 2000. Fossil energy use and emissions of greenhouse gases – three scenarios for conversion to 100% organic farming in Denmark. In: E. Van Lerland, A.Q. Lansink, and E. Schmieman. (Eds.), Proceedings of the International Conference on Sustainable Energy: New Challenges for Agriculture and Implications for Land Use, Wageningen, The Netherlands. Chapter 7.2.1, 11 p.

Erdal, G., Esengun, K., Erdal, H., and Gunduz, O., 2007. Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. Energy 32: 35–41. https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.01.007

Eskandari Cherati, F., Bahrami, H., and Asakereh, A., 2011. Energy survey of mechanized and traditional rice production system in Mazandaran Province of Iran. African Journal of Agricultural Research 6(11): 2565-70. DOI: 10.5897/AJAR11.516

Eskandari, H., and Attar, S., 2015. Energy comparison of two rice cultivation systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews 42: 666-671. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.050

Esitken, A., Ercisli, S., Karlidag, H., and Sahin, F., 2005. Potential use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in organic apricot production. In: Proceedings of the international scientific conference of environmentally friendly

fruit growing, Tartu-Estonia pp. 90–97.
Esengun, K., Gunduz, O., and Erdal, G., 2007. Input–output energy analysis in dry apricot production of Turkey. Energy Conversation Management 48: 592–598. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.06.006
FAO., 2018. FAO statistical year book, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
Fangueiro, D., Becerra, D., Albarrán, Á., Peña, D., Sanchez-Llerena, J., Rato-Nunes, J.M., and López-Piñeiro, A., 2017. Effect of tillage and water management on GHG emissions from Mediterranean rice growing ecosystems. Atmospheric Environment 150: 303-312. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.11.020
Finkbeiner, M., Inaba, A. Tan, R., Christiansen, K., and Klüppel, H.J., 2006. The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. International Journal of Life Cycle Assessment 11(2): 80-85.
Gajaseni, J., 1995. Energy analysis of wetland rice systems in Thailand. Agriculture, Ecosystems and Environment 52: 173e8. https://doi.org/10.1016/0167-8809(94)00536-N
Hatcho, N., Matsuno, Y., Kochi, K., and Nishishita, K., 2012. Assessment of environment-friendly rice farming through life cycle assessment (LCA). Chiang Mai University. Journal of Natural Science 11: 403–408.
He, X., Qiao, Y., Liang, L., Knudsen, M.T., and Martin, F., 2018. Environmental life cycle assessment of long-term organic rice production in subtropical China. Journal of Cleaner Production 176: 880-888. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.045
Heijungs, R., Guiné e, J.B., Huppes, G., Lankreijer, R.M., Udo de Haes, H.A., Wegener Sleeswijk, A., Ansems, A.M.M., Eggels, P.G., Van Duin, R., de Goede, H.P., 1992. Environmental life cycle assessment of productsÐBackgrounds and Environmental life cycle assessment of productsÐGuide. CML, TNO, B&G, Leiden.
Hokazono, S., Hayashi, K., and Sato, M., 2009. Potentialities of organic and sustainable rice production in Japan from a life cycle perspective. Agronomy Research 7 (Special issue I): 257–262.
Hokazono, S., and Hayashi, K., 2012. Variability in environmental impacts during conversion from conventional to organic farming: A comparison among three rice production systems in Japan. Journal of Cleaner Production 28: 101-112. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.12.005
Hokazono, S., and Hayashi, K., 2015. Life cycle assessment of organic paddy rotation systems using land and product-based indicators: a case study in Japan. The International Journal of Life Cycle Assessment 20(8): 1061–1075.
Kazemi, H., Kamkar, B., Lakzaei, S., Badsar, M., and Shahbyki, M., 2015. Energy flow analysis for rice production in different geographical regions of Iran. Energy 84: 390-396. https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.03.005
Khan, M.A., Awan, I.U., and Zafar, J., 2009. Energy requirement and economic analysis of rice production in the western part of Pakistan. Soil and Environmental 28(1): 60-70.
Khorramdel, S., Shabahang, J., and Amin Ghafouri., A., 2017. Evaluation of environmental impacts for Rice agroecosystems using Life Cycle Assessment (LCA). Iranian Journal of Applied Ecology 5(18): 1-14 (In Persian). DOI: 10.18869/acadpub.ijae.5.18.1
Kizilaslan, H., 2009. Input-output energy analysis of cherries production in Tokat Province of Turkey. Applied Energy 86: 1354-1358. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.07.009
Koga, N., and Tajima, R., 2011. Assessing energy efficiencies and greenhouse gas emissions under bioethanol-oriented paddy rice production in northern Japan. Journal of Environmental Management 92: 967-973. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.008
IPCC. 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. 2 Inst Glob Environ Strateg Hayama, Japan.
ISO, 1997. ISO 14040-Environmental management-Life cycle assessment-principles and framework. p. 14.
Mostashari-Rad, F., Ghasemi-Mobtaker, H., Taki, M., Ghahderijani, M., Kaab, A., Chau., K.W., and Nabavi-Pelesaraei., A., 2021. Exergoenvironmental damages assessment of horticultural crops using ReCiPe2016 and cumulative exergy demand frameworks. Journal of Cleaner Production 278: 123788. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123788
Mohammadi, A., Rafiee, S., Jafari, A., Keyhani, A., Dalgaard, T., Trydeman Knudsen, M., Nguyen, T., Borek, R., and Hermansen, J.E., 2015. Joint life cycle assessment and data envelopment analysis for the benchmarking of environmental impacts in rice paddy production. Journal of Cleaner Production 106: 521-532. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.008
Mousavi-Avval, S.H., Rafiee, S., Jafari, A., and Mohammadi, A., 2011. Improving energy use efficiency of canola production using data envelopment analysis (DEA) approach. Energy 36: 2765-2772. https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.02.016

Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S.S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H. and Chau, K.W., 2018. Integration of artificial intelligence methods and life cycle assessment to predict energy output and environmental impacts of paddy production. Science of the Total Environment 631: 1279-1294. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.088

Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S.S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., and Chau, K.W., 2019. Comprehensive model of energy, environmental impacts and economic in rice milling factories by coupling adaptive neuro-fuzzy inference system and life cycle assessment. Journal of Cleaner Production 217: 742-756. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.228

Nassiri, M.S., and Singh, S., 2009. Study on energy use efficiency for paddy crop using data envelopment analysis (DEA) technique. Applied Energy 86: 1320-1325. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.10.007

Nemecek, T., Kägi, T., and Blaser, S., 2007. Life cycle inventories of agricultural production systems. Final report ecoinvent v2. 0 No 15. https://db.ecoinvent.org/

Nemecek, T., Huguenin-Elie, O., Dubois, D., Gaillard, G., Schaller, B., and Chervet, A., 2011. Life cycle assessment of Swiss farming systems: II. Extensive and intensive production. Agricultural System 104: 233-245. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.07.007

Ovtit-Canavate, J., and Hernanz, J.L., 1999. Energy analysis and saving. In CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Energy and Biomass Engineering. ASAE Publication. MI., p. 13-23.

Ozkan, B, Fert, C, and Karadeniz, F., 2007. Energy and cost analysis for greenhouse and open-field grape production. Energy 32: 1500e4. https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.09.010

Ozkan, B., Akcaoz, H., and Fert, C., 2011. Energy inputs and crop yield relationships in greenhouse winter crop tomato production. Renewable Energy 36(11): 3217-3221. https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.03.042

Pennington, D.W., Potting, J., Finnveden, G., Lindeijer, E., Jolliete, O., Rydberg, T., and Rebitzer, G., 2004. Life cycle assessment Part 2: Current impact assessment practice. Environmental. International 30: 721–739.

Pishgar-Komleh, S.H., Sefeedpari, P., and Rafiee, S., 2011. Energy and economic analysis of rice production under different farm. Energy 36: 5824-5831. https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.08.044

Rathke, G.W., and Diepenbrock, W., 2006. Energy balance of winter oil seed rape cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. European Journal of Agronomy 24: 35-44. https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.04.003

Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., Schmidt, W., Suh, S., Weidema, B.P., and Pennington, D.W., 2004. Life cycle assessment. Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. Environmental International 30: 701-720. https://doi.org/10.1016/j.envint.2003.11.005

Risoud, B., 2000. Energy efficiency of various French farming systems: Questions and sustainability. In: International Conference on Sustainable Energy: New Challenges for Agriculture and Implications for Land Use, Organized by Wageningen University, Netherlands, May PP: 18-20.

Saenjan, P., and Saisompan, C., 2004. Economic return of rice production from methane mitigated rice yields. Agriculture 20(3): 259-271.

Sahle, A., and Potting, J., 2013. Environmental life cycle assessment of Ethiopian rose cultivation. Science of the Total Environment 443: 163-172. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.10.048

Salami, P., and Ahmadi, H., 2010. Energy inputs and outputs in a chickpea production system in Kurdistan, Iran. African Crop Science Journal 18(2): 51-57. DOI: 10.4314/acsj.v18i2.65796

Schröder, J.J., Aarts, H.F.M., Ten Berge, H.F.M., Van Keulen, H., and Neeteson, J.J., 2003. An evaluation of whole farm nitrogen balances and related indices for efficient nitrogen use. European Journal of Agronomy 20: 33-44. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00070-4

Steiner, A., Martonakova, H., and Guziova, Z., 2003. Environmental Governance Sourcebook. Bratislava, Slovakia: UNDP Regional Bureau for Europe and the Commonwealth of Indepencent States.

Tabatabaie, S.M.H., Rafiee, S., Keyhani, A., and Ebrahimi, A., 2013. Energy and economic assessment of prune production in Tehran province of Iran. Journal of Cleaner Production 39: 280-284. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.07.052

Truong, T.T.A., Fry, J., Van Hoang, P., and Ha, H.H., 2017. Comparative energy and economic analyses of conventional and System of Rice Intensification (SRI) methods of rice production in Thai Nguyen Province, Vietnam. Paddy and Water Environment1 5(4): 931-941.

Xu, X., Zhang, B., Liu, Y., Xue, Y., and Di, B., 2013. Carbon footprints of rice production in five typical rice districts

in China. Acta Ecologica Sinica 33: 227-232. https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2013.05.010

Yodkhum, S., Gheewala, S.H., and Sampattagul, S., 2017. Life cycle GHG evaluation of organic rice production in northern Thailand. Journal of Environmental Management 196: 217-223. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.004

Yousefi, M., Khoramivafa, M. and Damghani, A.M., 2017. Water footprint and carbon footprint of the energy consumption in sunflower agroecosystems. Environmental Science and Pollution Research 24: 19827-19834.

Yousefi, M., and Mohammadi, A., 2011. Economical analysis and energy use efficiency in alfalfa production systems in Iran. Scientific Research and Essays 6: 2332–2336. DOI: 10.5897/SRE11.015

Yuan, S., and Peng, S., 2017. In put-output energy analysis of rice production in different crop management practices in central China. Energy 141: 1124-1132. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.007

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

Research Article
Vol. 14, No. 3, Fall 2022, p. 449-466

Evaluation of the Efficiency of Animal Manures in the Production of Thyme (*Thymus daenensis* L.)

A. Ghanbari Odivi[1], S. Fallah[2*], Z. Lorigooini[3] and M. Karimi[4]

Received: 15-02-2021
Revised: 03-05-2021
Accepted: 11-05-2021
Available Online: 13-12-2022

How to cite this article:
Ghanbari Odivi, A., Fallah, S., Lorigooini, Z., and Karimi, M., 2022. Evaluation of the efficiency of animal manures in the production of thyme (*Thymus daenensis* L.). Journal of Agroecology 14(3): 449-466.
DOI: 10.22067/agry.2021.68631.1019

Introduction

The sustainability of production in agricultural lands is directly related to soil fertility management. In this regard, the application of livestock manure is a very important method for improving soil fertility without adversely affecting the environment. Although the efficiency of these manures could be sustained for several growing seasons, however, their efficiency in the first year is principally more important due to the direct relationship with the production of that year. Therefore, the present study was conducted to evaluate the effect of the source and amount of manure on the growth and production of thyme.

Materials and methods

The experiment was performed as a split-plot design in time and in the form of a randomized complete block with three replications at the model cultivation site of medicinal plants of Koohrang Agriculture-Jahad in 2018 and 2019. Experimental treatments included three levels of poultry manure (100, 143, and 250 kg N/ ha; PM_{100}, PM_{143}, PM_{250}), three levels of sheep manure (100, 143, and 250 kg N/ ha; SM_{100}, SM_{143}, SM_{250})), three levels of cattle manure (100, 143 and 250 kg N/ ha; CM_{100}, CM_{143}, CM_{250}) and chemical fertilizer (CF) and no fertilizer application (C) as positive and negative controls, respectively, which in two cutting were compared. The measured traits included photosynthetic pigments, leaf area index, aerial biomass, essential oil content, and essential oil yield. Data were analyzed by SAS software, and means were compared by LSD test.

Results and Discussion

In both cuttings, the amount of chlorophyll *a* in plots that received a medium and high level of animal manure were similar to the plot that received chemical fertilizer. Except for CM_{250} treatment, chlorophyll *b* in all manure treatments was similar to CF treatment. In the first cutting, the leaf area index in PM_{250}, SM_{143}, and SM_{250} treatments had a significant advantage compared to CF treatment, but in the second cutting, manure treatments (except SM_{100}) did not show a significant difference compared to CF treatment. Thyme biomass obtained from PM_{250}, SM_{143}, and SM_{250} treatments had a significant advantage compared to CF treatment in the first cutting, but in the second cutting, there was no significant difference among manures and CF treatments. In the first cut, the essential oil content of medium and high levels of poultry manure and also high levels of sheep and cattle manure were significantly higher than the CF treatment. However, in the second cutting, the amount of essential oil under all levels of poultry manure and medium and high levels of sheep and cattle manure were higher than the CF treatment. In the first cutting, the essential oil yield of medium and high levels of poultry and sheep manure and high levels of cattle manure was higher

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran.
2- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran.
3- Associate Professor, Medicinal Plants Research Center, Basic Health Sciences Institute, Shahrekord University of Medical Sciences, Shahrekord, Iran
4- Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran.
* Corresponding author: falah1357@yahoo.com

than that of the CF treatment, but in the second cutting, only high levels of poultry manure had a significant advantage in comparison with CF treatment. The fertilizer application efficiency regarding biomass production was similar for all fertilizer treatments except SM_{143}. The highest fertilizer use efficiency in the production of essential oil was obtained with SM_{143} and PM_{143}, respectively.

Conclusion

Applying a medium amount of sheep manure could be more effective in the crop ecosystem due to its superior efficiency in comparison with other levels of this fertilizer and other studied animal manure and chemical fertilizers. However, if the essential oil yield of the thyme is the gold of the farmer, the high level of poultry manure has priority over the balanced level of sheep manure, although the efficiency of this level of poultry manure is 35% lower than the balanced level of sheep manure. Therefore, in addition to producing essential oils, the efficiency of fertilizers could also be considered an important factor in achieving sustainable aspects in medicinal plant's ecosystems.

Keywords: Thyme, Organic manure, Fertilizer efficiency, Essential oil, Aerial biomass

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

مقاله پژوهشی

ارزیابی کارآیی کودهای دامی در تولید گیاه دارویی آویشن دنایی (*Thymus daenensis* L.)

عسکر قنبری عدیوی[1]، سینا فلاح*[2]، زهرا لری گوئینی[3] و مجتبی کریمی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۲/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۱

قنبری عدیوی، ع.، فلاح، س.، لری گوئینی، ز.، و کریمی، م.، ۱۴۰۱. ارزیابی کارآیی کودهای دامی در تولید گیاه دارویی آویشن دنایی (*Thymus daenensis* L.). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۳): ۴۶۶-۴۴۹.

چکیده

اگرچه کارایی کودهای دامی چندین فصل زراعی تداوم دارد، ولی کارایی سال اول اهمیت بیشتری دارد. مطالعه حاضر با هدف ارزیابی کارایی منبع و مقدار کود دامی در تولید گیاه دارویی آویشن دنایی (*Thymus daenensis* L.) به صورت اسپیلت پلات در زمان در قالب بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل سطوح کود مرغی (۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ PM_{100}، PM_{143}، PM_{250})، سطوح کود گوسفندی (۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ SM_{100}، SM_{143}، SM_{250})، سطوح کود گاوی (۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ CM_{100}، CM_{143}، CM_{250}) و کود شیمیایی (CF) و عدم مصرف کود (C) بودند که در دو چین مقایسه شدند. زیست‌توده گیاهی PM_{250}، SM_{143} و SM_{250} در چین اول برتری معنی‌داری در مقایسه با CF داشت، ولی در چین دوم اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کود دامی و شیمیایی مشاهده نشد. در چین اول عملکرد اسانس سطوح متوسط و بالای کودهای مرغی و گوسفندی و سطح بالای کود گاوی بیشتر از CF بود، ولی در چین دوم فقط سطح بالای کود مرغی برتری معنی‌داری در مقایسه با CF داشت. کارایی مصرف کود در تولید زیست‌توده همه تیمارهای کودی به‌استثنای SM_{143} مشابه بود، ولی برای تولید اسانس SM_{143} و PM_{143} به‌ترتیب دارای بیشترین کارایی بودند. به‌کارگیری مقدار متوسط کود گوسفندی به‌دلیل برتری کارایی آن در مقایسه دیگر تیمارهای کودی اثربخشی بیشتری در اکوسیستم زراعی دارد، ولی چنانچه هدف تولید اسانس باشد، سطح بالای کود مرغی بر سطح متوسط کود گوسفندی اولویت دارد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، زیست‌توده گیاهی، کارایی مصرف کود، کود آلی

مقدمه

خانواده Lamiaceae متنوع ترین و گسترده‌ترین خانواده گیاهی در زمینه مطالعات دارویی است و اهمیت دارویی آن‌ها به‌دلیل اسانس موجود در آن‌ها است (Sharafzadeh & Zare, 2011). تیموس را می‌توان عضوی از این خانواده دانست که در ایران و سایر نقاط جهان از اهمیت زیادی برخوردار است و به‌دلیل عملکرد اسانس بالا و

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران.
۲- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران.
۳- دانشیار پژوهشکده علوم پایه سلامت، مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۴- استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: falah1357@yahoo.com)

DOI: 10.22067/agry.2021.68631.1019

ترکیبات فنلی با ارزش، به‌ویژه تیمول و کارواکرول بسیار قابل توجه است (Safaei-Ghomi et al., 2009 Nezhadali et al., 2010;). اسانس این گیاه چندساله و بومی اروپا و حوزه مدیترانه از اسانس‌های معروف دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی شناخته شده است. (Asbaghian et al., 2011; Budka & Khan, 2010)

آویشن حاوی روغن ضروری بیشتری نسبت به گونه‌های دیگر است که این خصوصیت باعث شده که معمولاً در نوع دوز دارویی استفاده شود (Nabavi et al., 2015; Verpoorte, 2000). *Thymus daenensis* به‌طور انحصاری در غرب و جنوب غرب ایران (Abdollahi & Feizian, 2019)، و در کوه‌های زاگرس (Ghasemi Pirbalouti et al., 2011) رشد می‌کند (Shahnazi et al., 2007). روغن‌های اساسی گیاه آویشن دنایی (*Thymus daenensis* L.) دارای اثرات قوی دارویی و ضدعفونی‌کننده هستند (Ghasemi Pirbalouti et al., 2013). به هر حال، اهداف دارویی جنس تیموس آن را به یکی از محبوب ترین داروها در طب سنتی در سراسر جهان تبدیل کرده است (Abdollahi et al., 2020).

گزارش شده است که اسانس آویشن یکی از ۱۰ اسانس اصلی در بین گیاهان دارویی است (Maghdi & Maki, 2003)، همچنین عمدتاً به‌عنوان افزودنی غذایی و آرایشی (Abdollahi & Feizian, 2019; Sacchetti et al., 2005) کاربرد دارد. دیگر کاربرد های آویشن در پزشکی (Maghdi & Maki, 2003) به‌عنوان فعالیت ضدمیکروبی (باکتری‌ها و قارچ‌ها) (Cetin et al., 2011)، خلط‌آور (Büechi et al., 2005)، فعالیت‌های ضد اسپاسم (Begrow et al., 2010) خاصیت آنتی‌اکسیدانی (Haraguchi et al., 1996) ضدعفونی‌کننده، تسکین‌دهنده (Yarnell, 2007)، که بیشتر آن‌ها توسط تیمول و کارواکرول آن جام می شوند، به دفعات گزارش شده است.

تغذیه گیاه مهم‌ترین عامل در تولید گیاه است. هماهنگی تلقیح کودهای ماکرو و میکرو در تغذیه گیاه برای عملکرد بالا ضروری است. (Sawan et al., 2001). تأمین نیازهای غذایی گیاهان دارویی برای تولید اقتصادی پایدار مهم است. نیتروژن، فسفر و پتاسیم عناصر مغذی اصلی هستند که تقریباً بر تمام جنبه‌های رشد و عملکرد گیاه تأثیر می گذارند. نیتروژن یکی از مهم‌ترین مواد مغذی محدودکننده عملکرد در تولید محصولات است. این ماده در اسیدهای آمینه، آنزیم‌ها، پروتئین‌ها، کلروفیل و دیواره سلول نقش دارد. (Wiedenhoeft, 2006).

همچنین کودهای شیمیایی، منابع غیرشیمیایی مانند کودهای زیستی و کود دامی ممکن است با تأمین مواد مغذی به گیاه تأثیرات مثبتی بر رشد و عملکرد گیاه داشته باشند. کود حیوانی علاوه‌بر آزادسازی عناصر پرمصرف و ریزمغذی، با تأثیر بر طیف وسیعی از ویژگی‌های بیولوژیکی و فیزیکی- شیمیایی خاک مانند محتوای ماده آلی، pH و ظرفیت نگهداری آب، رشد و عملکرد گیاه را افزایش می‌دهد (Schoenau, 2006). تبریزی و همکاران (Tabrizi et al., 2011) گزارش دادند که استفاده از کود دامی به‌طور قابل توجهی بر زیست‌توده آویشن تأثیر می‌گذارد.

فعالیت میکروبی خاک نقش مهمی در چرخه مواد مغذی خاک ایفا می‌کند که تحت تأثیر رژیم‌های مختلف کود قرار دارد و از نزدیک با رشد محصول، حاصلخیزی خاک و پایداری بهره‌وری خاک رابطه دارد (Börjesson et al., 2012). استفاده از کودهای دامی راهکار مؤثری در جهت افزایش عملکرد محصول و نیل به کشاورزی پایدار است (Fallah, 2016).

حاصلخیزی خاک تحت تأثیر مدیریت‌های مختلف کشاورزی مانند انواع محصولات، خاکورزی خاک، رژیم های کودی، الگوی آبیاری و... است، ولی عمدتاً روش‌های مختلف مدیریت کود سبب تغییر فعالیت‌های میکروبی خاک می‌شوند (Geisseler & Scow, 2014). حفظ پیچیدگی و تنوع میکروبی خاک برای حفظ حاصلخیزی خاک بسیار مهم است، زیرا میکروب های خاک نقش مهمی در واسطه‌سازی چرخه‌های کربن و نیتروژن دارند و همچنین به‌عنوان مخزن مهم مواد مغذی گیاهان عمل می‌کنند (Trivedi et al., 2017).

جوامع میکروبی خاک از نظر ساختار و همچنین عملکرد تنوع بسیار زیادی دارند که از مکانی به مکان دیگر و همچنین با گذشت زمان متفاوت است. در سال‌های اخیر، اثرات رژیم‌های مختلف کود بر روی ویژگی‌های میکروبی خاک توسط بیشتر محققان انجام شده است. تیمارهای کود از طریق تأثیر مستقیم بر ویژگی‌های فیزیکی خاک و محتوای عناصر غذایی بر جوامع میکروبی خاک تأثیر می‌گذارند (Zhong et al., 2010). شیوه‌های کشاورزی آلی به‌طور کلی، بر روی ویژگی‌های مختلف خاک تأثیرات مثبتی دارند (Hartmann et al., 2015)، باعث افزایش ساختار خاک با افزایش محتوای مواد آلی خاک و در نتیجه، حفظ حاصلخیزی خاک می‌شود

(Francioli et al., 2016). بنابراین، با آگاهی از تأثیر روش های مدیریت کود راهی برای مطالعه فرآیندهای بیولوژیکی خاک فراهم می شود. در مطالعات مختلفی مشخص شد که عملکرد کود مهم‌ترین عامل تأثیر در ساختار جامعه و تنوع میکروب‌های خاک است، با استفاده از روش‌های مدیریت ورودی ارگانیک، تنوع و پایداری جامعه میکروب‌های خاک افزایش می‌یابد (Wang et al., 2017). برخی از نتایج همچنین نشان داد که مدیریت کودهای آلی اثرات مثبتی بر محتوای ماده آلی خاک، ساختار و تنوع جامعه میکروبی خاک و فراوانی باکتری‌ها و قارچ‌های خاک دارد (Treonis et al., 2010; Forge et al., 2008). آن و همکاران (Ahn et al., 2016) نشان دادند که فراوانی، فعالیت و تنوع ریزجانداران خاک با بازگشت کود آلی و بقایای محصول به خاک افزایش یافته است. در مقابل، برخی از مطالعات نشان داد که استفاده از روش‌های مدیریت کود شیمیایی باعث افزایش جامعه و فعالیت میکروبی خاک می‌شود (Zhu et al., 2018). با این حال، هنوز اطلاعات محدودی در مورد تغییر ساختار جامعه میکروبی خاک و تنوع تحت شرایط مختلف عملکرد طولانی‌مدت مدیریت کود وجود دارد (Tang et al., 2020).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، سطح مواد آلی خاک اغلب بسیار کم است. بنابراین، حفظ و بهبود مواد آلی خاک برای حفظ سلامت خاک و پایداری کشاورزی در این مناطق بسیار مهم است. علاوه‌براین، تولید موفقیت‌آمیز محصولات نیاز به جایگزینی مواد مغذی کافی دارد (Samani et al., 2017).

به‌طور کلی، پذیرفته شده است که استفاده مداوم و بیش از حد کودهای شیمیایی ممکن است تأثیرات منفی بر سلامت خاک و محیط زیست داشته باشد و باعث مشکلات زیست‌محیطی از جمله خاک، تخریب فیزیکی و عدم تعادل مواد مغذی شود (Yadav, 2003).

بنابراین، کودهای آلی در مقایسه با کودهای صنعتی به‌عنوان منابع جایگزین پایدار عناصر غذایی در نظر گرفته می‌شوند. برخی مطالعات نشان می‌دهند که کود طیور از جمله اصلاح‌کننده‌های آلی خاک مناسب برای تولید محصولات هستند (KeshavarzAfshar et al., 2014).

با این حال، به‌عنوان یک نتیجه از افزایش مداوم تقاضا برای حفاظت از محیط زیست و تولید مواد غذایی سالم، افزایش استفاده از کودهای طبیعی و آلی سازگار با محیط زیست ضروری است. کودهای آلی می‌توانند به‌عنوان جایگزینی برای کودهای معدنی برای بهبود ساختار خاک عمل کنند (Sharafzadeh & Ordookhani, 2011). افزودن کودهای آلی به خاک‌های کشاورزی با بهبود ویژگی‌های فیزیکی و بیولوژیکی خاک، اثرات مفیدی در توسعه محصول و عملکرد دارد (Zheljazkov & Warman, 2004). مناسب بودن و مفید بودن کود آلی به‌دلیل قابلیت دسترسی زیاد محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم نسبت داده شده است (Kilande et al., 2011). در همین رابطه گزارش گردیده که کود دامی می‌تواند تمام و یا بخش اعظم نیتروژن مورد نیاز گیاه و همچنین فسفر، پتاسیم و عناصر ریزمغذی را تأمین نماید و علاوه‌بر تأمین نیاز تغذیه‌ای گیاه منجر به بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک شود (Fallah et al., 2013; Rahimpour & Fallah, 2018). کودهای آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی محتوای مواد مغذی کمتری دارند و رهاسازی کند دارند، امّا به اندازه کودهای شیمیایی در مدت زمان طولانی استفاده مؤثر هستند (Naguib, 2011). عمران (Amran, 2013) گزارش کرد که کودهای آلی پارامترهای رشد رویشی و بهره‌وری روغن ضروری گیاهان را افزایش می‌دهند. همچنین، چندین محقق نشان دادند که کود آلی رشد رویشی و تولید زیست‌توده را به‌طور مؤثر افزایش می‌دهد (Roy & Hore, 2010; Dinesh, 2010).

با این حال، یافته‌های اخیر نشان داد که برخی از ویژگی‌های گیاهان دارویی می‌تواند تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و اکولوژیکی قرار گیرد، از جمله این عوامل، کود دامی و مقدار نیتروژن موجود در آن می‌باشد. لذا به‌منظور مطالعه اثر کودهای دامی و کود شیمیایی بر رشد،عملکرد و اسانس گیاه دارویی آویشن دنایی (*Thymus daenensis* L.) این مطالعه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی کارایی مصرف کودهای دامی (گاوی، گوسفندی و مرغی) در گیاه دارویی آویشن آزمایشی مزرعه‌ای طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در سایت الگویی گیاهان دارویی جهاد کشاورزی شهرستان کوهرنگ (طول و عرض جغرافیایی۳۲ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و ۵۰ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۲۲۳۴ متر اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح کود مرغی (۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن کل؛ PM_{100}، PM_{143}، PM_{250})، سه سطح کود گوسفندی (۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن کل؛ SM_{100}، SM_{143}، SM_{250})، سه سطح کود گاوی (۱۰۰، ۱۴۳ و

۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن کل؛ CM_{100}، CM_{143}، CM_{250}) و همچنین تیمار کود شیمیایی (CF) و عدم م صرف کود (C) به‌ترتیب به‌عنوان شـاهد مثبت و منفی بودند که در دو چین مورد مقایسـه قرار گرفتند. ویژگی‌های شیمیایی کودهای آلی مورد ا ستفاده در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی کودهای دامی مورد استفاده.

Table 1- Chemical properties of livestock manures used.

پارامتر Parameter	واحد Unit	کود مرغی Poultry manure	کود گوسفندی Sheep manure	کود گاوی Cattle manure
pH	-	6.71	7.92	7.9
EC	$dS.m^{-1}$	4.75	4.38	1.98
OC	%	31.2	17.5	19.5
N	%	4.5	2.64	2.32
P	%	1.71	0.59	0.56
K	%	0.98	1.25	0.62
Fe	$mg.kg^{-1}$	1475	3812	1718
Zn	$mg.kg^{-1}$	425	120	206
Cu	$mg.kg^{-1}$	117	28.12	51.72
Mn	$mg.kg^{-1}$	493	331	220

آزمایش به‌صـورت طرح اسـپیلت پلات در واحد زمان و در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. هر کرت شامل شش خط کاشـت به‌طول سـه متر بود. سـطوح کودی این تحقیق پس از تعیین میزان کود نیتروژن آن‌ها مشـخص گردید. به‌طوری‌که ابتدا نمونه هر یک از کودهای دامی مورد اسـتفاده آنالیز شـد و سـپس براساس میزان نیتروژن موجود در کود دامی و کارایی تبدیل آن مقادیر کود دامی جهت هر کرت آزمایشی آن جام شد. در تیمار کود شیمیایی براسـاس ۱۰۰ درصـد نیتروژن مورد نیاز گیاه از منبع کود اوره و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل استفاده گردید. به‌دلیل بالا بودن پتا سیم موجود در خاک (جدول ۲) از کود پتا سیمی نیز ا ستفاده نشد.

جدول ۲- ویژگی‌های خاک مزرعه مورد آزمایش

Table 2- Soil properties of experimental field

بافت Textre	pH	EC ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی Organic C (%)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل دسترس Availabe Ps ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل دسترس Available K ($mg.kg^{-1}$)
رسی Clay	7.75	0.76	0.76	0.08	8	320

برای کا شت ابتدا ن شای گیاهان مورد نظر تهیه شد و سپس در اردیبهشـت‌ماه در کرت‌های آزمایشـی کاشـته شـد. آبیاری گیاهان به‌وسیله تیپ و وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد.

صفات اندازه‌گیری شده عبارت بودند از: رنگدانه‌های فتو سنتزی، وزن خشک برگ، شاخص‌سطح برگ میزان اسانس و عملکرد اسانس.

اندازه‌گیری مقدار رنگیزه‌های فتوسـنتزی شـامل کلروفیلa، b، کلروفیـل کـل و کـاروتنوئیـد بـا اسـتفـاده از روش لیچنتـالر (Lichtenthaler, 1987) انجام شـد. برای این منظور ۰/۲ گرم از برگ‌های فریز شـده انتهای گیاه با ۱۵ میلی‌لیتر اسـتون ۸۰ درصـد سائیده شده و پس از صاف کردن جذب آن‌ها با ا سپکتروفتومتر مدل AE-UV-۱۶۰۶ در طول موج های ۶۴۶/۸، ۶۶۳/۲ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شـد و غلظت رنگیزه‌ها بر حسـب میکروگرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید.

معادله (۱) $Chl_a\ (\mu g.ml^{-1}) = 12.25\ A_{663.2} - 2.79\ A_{646.8}$

معادله (۲) $Chl_b(\mu g.ml^{-1}) = 21.21\ A_{646.8} - 5.1\ A_{663.2}$

معادله (۳) $Total\ Chl\ (\mu g.m^{-1}l) = 7.15\ A_{663.2} + 18.71\ A_{646.8}$

معادله (۴) $Carotenoid\ (\mu g.ml^{-1}) = (1000(A470) - 1.8(Chla) - 85.02(Chlb))/198$

شاخص سطح برگ (LAI)[1] توسط نرم‌افزار دی‌جی‌مایزر و از نسبت سطح برگ (LA)[2] به سطح اشغال زمین (GS)[3] محاسبه شد (Nathalie & Bréda, 2003):

معادله (۵) $$LAI= (LA / GS)$$

جهت اندازه‌گیری میزان اسانس (به‌روش وزنی حجمی)، ۱۰۰ گرم از سرشاخه‌های گلدار گیاه در زمان گل‌دهی، پس از خشک شدن کامل در سایه، آسیاب شده، جهت استخراج اسانس توسط دستگاه کلونجر و با روش تقطیر با آب به‌مدت دو ساعت در یک مرحله مورد استفاده قرار خواهد گرفت (Fallah et al., 2020).

عملکرد اسانس از حاصل‌ضرب محتوای اسانس گیاهان در وزن خشک مربوطه محاسبه شد (Fallah et al., 2020). همچنین جهت محاسبه کارایی مصرف کود از روابط زیر استفاده شد (Neisani et al., 2011):

معادله (۶)

کارایی مصرف کود در تولید ماده خشک ($kg.kg^{-1}$) = (ماده خشک تیمار شاهد − ماده خشک تیمار حاوی کود) / نیتروژن مصرفی

معادله (۷)

کارایی مصرف کود در تولید اسانس ($kg.kg^{-1}$) = (اسانس تیمار شاهد − اسانس تیمار حاوی کود) / نیتروژن مصرفی

آنالیز واریانس داده‌های مستخرج شده در این آزمایش توسط نرم‌افزار SAS نسخه ۹ و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد آن جام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه آنالیز واریانس نشان داد که میزان کلروفیل a تحت تأثیر اثر اصلی و متقابل کود و چین در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، در چین اول با افزایش میزان کود مصرفی به‌استثنای کود مرغی که با افزایش میزان کود کلروفیل a افزایش یافت، در سایر تیمارها روند افزایش معنی‌داری مشاهده نگردید، ولی در چین دوم روند افزایش کلروفیل a با سطح کود مصرفی هم‌راستا بود، با این تفاوت که شیب افزایش کلروفیل a برای کود مرغی و گوسفندی مشابه و بالاتر از کود گاوی بود. میزان کلروفیل کرت‌های تغذیه شده با کود شیمیایی در هر دو چین همانند سطوح بالای کود دامی مصرفی بود.

در مطالعه‌ای بر روی جذب مواد مغذی توسط گیاهان زراعی و ارتباط آن با محتوای کلروفیل به‌وضوح نشان داده شد که میزان کلروفیل به‌میزان مواد مغذی جذب شده توسط گیاه از خاک مربوط می‌شود. همچنین مشاهده کردند که مصرف کود آلی منجر به محتوای کلروفیل برگ بالاتر از کود معدنی شد (Roy & Singh, 2006). ویدنهوفت (Wiedenhoeft, 2006) اظهار داشت که استفاده از کود مرغی همیشه بهترین پاسخ را در سال اول دارد. زیرا این کود نسبتاً سریع تجزیه می‌شود و در مقایسه کودهای دیگر با مواد برابر، سطح مواد مغذی کافی دارد. محتوای زیاد کلروفیل برگ باعث جذب و تبدیل انرژی نور و بالطبع سبب افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاه می‌شود (Ye et al., 2020). در مطالعه حاضر، تفاوت زیادی بین نوع کود مصرفی برای کلروفیل a گیاه آویشن وجود نداشت. احتمالاً نیاز کمتر نیتروژن برای سنتز کلروفیل است به عبارتی، کودهای مصرفی با رهاسازی نیتروژن نیتراتی نیاز اولیه گیاه را تأمین نمودند، ولی در ادامه برای چین دوم نیازمند معدنی شدن نیتروژن آلی هستند و به همین دلیل با افزایش سطوح کود مصرفی میزان کلروفیل a نیز افزایش یافته است و این روند برای سطوح کود گوسفندی و گاوی مشهودتر است. چای و طباطبایی (Chae & Tabatabai, 1986) در مقایسه کود مرغی و سایر کودهای آلی گزارش کردند که میزان نیترات در کود مرغی حدود ۱۰ برابر کودهای خوکی، اسبی، گاوی و حتی بقایای محصولات کشاورزی می‌باشد که این میزان می‌تواند در جذب نیتروژن بیشتر توسط گیاه کمک کند و بالطبع این برتری نیتروژن در فاکتورهایی چون کلروفیل a که از مقدمات عملکرد و صفات رویشی می‌باشند خود را نمایان می‌کند.

عناصر کم‌مصرفی که در کودهای دامی هستند، نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی دارند. آهن یک فاکتور بسیار مهم برای تعداد زیادی آنزیم است که چندین فرآیند بیوشیمیایی درون گیاهان را کاتالیز می‌کند. آهن نقشی اساسی در تشکیل کلروفیل، سنتز تایلاکوئید، توسعه کلروپلاست و انتقال انرژی در گیاهان دارد (Nasiri & Najafi, 2015). همچنین روی و مس برای گیاهان ضروری است و نقش مهمی در متابولیسم، فتوسنتز و زنجیره حمل و نقل الکترونی تنفسی، سنتز کلروفیل و پروتئین، سنتز اکسین و تقسیم سلول به‌عنوان جزء فلزی آنزیم‌های مختلف و به‌عنوان فاکتور تنظیم کننده در متابولیسم سالیسیلیک اسید دارد (El-Sawi & Mohamed, 2002).

1 - Leaf Area Index
2 - Leaf Area
3- Ground surface

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر تیمارهای کودی بر رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه آویشن طی دو چین

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) the effect of fertilizer treatments on photosynthetic pigments of thyme during two cuttings

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares			
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کارتنوئیدها Carotenoids
تکرار Replication	2	0.79^{ns}	0.36^{ns}	2.09^{ns}	0.06^{ns}
کود Fertilizer	10	3.59**	0.40**	5.49**	0.62**
خطای اصلی Error a	20	0.40	0.10	0.41	0.05
چین Cutting	1	1.64*	2.52**	8.21**	2.69**
کود × چین Cutting × fertilizer	10	1.05**	0.50**	2.08**	0.26**
چین × تکرار Replication× cutting	2	0.34	0.07	0.32	0.02
خطای آزمایش Error	20	0.30	0.12	0.39	0.06
ضریب تغییرات C.V (%)		7.9	13.5	6.5	12.0

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

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

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار کودی و چین بر رنگیزه‌های فتوسنتزی آویشن

Table 4– Mean comparisons of fertilizer and cutting interaction on photosynthetic pigments of thyme

چین Cutting	کود Fertilizer	کلروفیل a Chlorophyll a ($\mu g.ml^{-1}$)	کلروفیل b Chlorophyll b ($\mu g.ml^{-1}$)	کلروفیل کل Total chlorophyll ($\mu g.ml^{-1}$)	کارتنوئیدها Carotenoids ($\mu g.ml^{-1}$)
چین اول First cutting	PM_{100}	4.4	1.9	6.4	1.2
	PM_{143}	7.9	2.8	10.8	2.2
	PM_{250}	8.0	2.2	10.2	1.6
	SM_{100}	6.7	2.4	9.1	1.9
	SM_{143}	7.8	2.8	10.6	2.3
	SM_{250}	7.2	1.8	9.0	1.3
	CM_{100}	6.6	2.7	9.4	2.2
	CM_{143}	6.3	2.3	8.6	1.7
	CM_{250}	7.0	2.6	9.6	1.9
	CF	7.1	2.6	9.8	2.1
	Control	5.7	2.2	7.9	1.6
چین دوم Second cutting	PM_{100}	6.4	2.3	8.7	1.8
	PM_{143}	7.5	3.0	10.6	2.3
	PM_{250}	7.9	3.3	11.2	1.8
	SM_{100}	6.4	2.6	9.0	2.3
	SM_{143}	6.8	2.5	9.2	2.2
	SM_{250}	8.2	3.3	11.5	2.6
	CM_{100}	6.4	3.1	9.5	3.1
	CM_{143}	6.8	3.0	9.8	2.1
	CM_{250}	7.3	2.0	9.3	1.8
	CF	7.9	3.1	11.0	2.4
	Control	6.7	2.6	9.3	2.2
LSD $_{(\alpha= 0.05)}$		1.27	0.82	1.44	0.57

PM_{100}، PM_{143}، PM_{250}: به‌ترتیب کود مرغی براساس ۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ SM_{100}، SM_{143}، SM_{250}: به‌ترتیب کود گوسفندی براساس ۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ CM_{100}، CM_{143}، CM_{250}: به‌ترتیب کود گاوی براساس ۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ CF: کود شیمیایی، Control: بدون کود.

PM_{100}, PM_{143}, PM_{250}: Application of poultry manure based on 100, 143, and 250 kg $N.ha^{-1}$, respectively; SM_{100}, SM_{143}, SM_{250}: Application of sheep manure based on 100, 143, and 250 kg $N.ha^{-1}$, respectively; CM_{100}, CM_{143}, CM_{250}: Application of cattle manure based on 100, 143 and 250 kg $N.ha^{-1}$, respectively; CF: Chemical fertilizer, Control: No fertilizer.

اثرات کود، چین و اثر متقابل کود در چین بر میزان کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بررسی میانگین کلروفیل b حاکی است که در چین اول پاسخ این رنگدانه به افزایش سطح کود مرغی و گوسفندی ابتدا افزایشی و سپس کاهشی است، امّا برای کود گاوی روند ابتدا کاهشی، ولی سپس افزایشی بود (جدول ۴). همچنین در چین دوم روند پاسخ کلروفیل b برای کود مرغی و گوسفندی افزایشی، ولی برای کود گاوی کاهشی بود.

از آن جا که نیتروژن در ساختار کلروفیل b نیز شرکت دارد، در نتیجه انتظار می‌رود که با فراهم شدن نیتروژن معدنی شده از منبع آلی و شیمیایی افزایش رنگدانه‌ها از جمله کلروفیل b در ساختار فتوسنتزی وجود داشته باشد، زیرا بررسی‌ها حاکی از آن است که تأمین این عنصر می‌تواند دلیل کلروفیل برگ باشد (Omrani et al., 2015). به نظر می‌رسد که رهاسازی نیتروژن کافی برای سنتز کلروفیل b در اولویت دوم باشد. بر همین اساس، در شرایط تغذیه با کود گاوی به‌دلیل کندی معدنی شدن (Alizadeh et al., 2012) سنتز کلروفیل a به‌میزان بیشتری تحت تأثیر کود مصرفی قرار گرفته است. همچنین چای و طباطبایی (Chae & Tabatabai, 1986) اعلام کردند که میزان آمونیوم در کود مرغی از همه انواع کودهای دامی به‌جز کود خوکی بیشتر است و میزان نیترات نیز از همه انواع کودها برتر است، لذا می‌توان افزایش کودهای مرغی را به‌دلیل وجود میزان بالای آمونیوم و نیتران در کود مرغی دانست.

با نگاهی به ویژگی‌های شیمیایی کودهای مورد مطالعه (جدول ۱) میزان آهن موجود در کود گوسفندی به‌میزان قابل توجهی از کودهای مرغی و گاوی بالاتر است که این مورد از دلایل برتری تیمارهای کود گوسفندی و به عبارتی، عامل اصلی رقابت تیمارهای کود گوسفندی با کود مرغی است.

اثرات اصلی کود و چین و همچنین اثر متقابل کود در چین بر میزان کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. (جدول ۳). بیشترین میزان کلروفیل کل در چین دوم در تیمارهای SM_{250} و PM_{250}، CF و PM_{143} و در چین اول در تیمارهای PM_{143}، SM_{143} و PM_{250} گزارش شد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار نشان داده و در گروه آماری برتر قرار گرفتند (جدول ۴). در چین اول سطوح متعادل کود مرغی و گوسفندی کلروفیل کل بالایی را گزارش کردند، درحالی‌که میزان کلروفیل کل مطلوب در این دو تیمار در چین دوم در سطوح بالای مصرف کود گزارش شد. امّا در تیمارهای کود گاوی این روند در هر دو چین معنی‌دار نبود (جدول ۳).

سنتز اسانس‌ها به فعالیت فتوسنتز بستگی دارد. تأمین مواد مغذی فتوسنتزی و فرآیندهای متابولیکی همبستگی بالایی با تقسیم سلولی و طویل شدن سلول دارد (Hatwar et al., 2003). نقش مهم نیتروژن بر فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی و ساختار رنگدانه‌های فتوسنتز (Zhang & Li, 2003) موجب شده است که استفاده از سیستم کود آلی و شیمیایی افزایش کلروفیل را به دنبال داشته باشد، افزایش نیتروژن در گیاه سبب افزایش پروتوپلاسم و در نتیجه، افزایش اندازه سلول و سطح برگ شده و در نهایت، باعث افزایش فعالیت فتوسنتز می‌گردد (Arefi et al., 2012). پارک و همکاران (Park et al., 2019) نیز در تأثیر ترکیب ماده آلی کود بر رشد گیاه به این نتیجه رسیدند که کودهای آلی سبب افزایش معنی‌دار همه رنگیزه‌های فتوسنتزی می شود و این افزایش در کود مرغی بیشتر و معنی‌دارتر از کود گاوی بوده است. برنال . همکاران (Bernal et al., 2009) اعلام کردند که کودهای مرغی در مقایسه با کود گاوی از قدرت غنی سازی نیتروژن بیشتری برخوردارند و اعلام کردند از آن جا که نیتروژن اولین عنصر ضروری برای گیاه است کود مرغی محتوای بیشتری از این عنصر را دارد.

اثرات کود، چین و اثر متقابل کود در چین بر میزان کارتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. (جدول ۳). بیشترین میزان کارتنوئید در چین دوم و در تیمار CM_{100} با ۳/۱ میکروگرم بر میلی لیتر گزارش گردید. لازم به ذکر است در چین اول همه تیمارهای کودی به‌استثنای PM_{100}، PM_{250} و SM_{250} در سطح آماری یکسانی بودند. این در حالی است که در چین دوم تیمار CM_{100} با ۳/۱ میکروگرم در میلی‌لیتر بیشترین میزان کارتنوئید را گزارش نمود (جدول ۴). اصولا کارتنوئید در شرایط محدودیت کلروفیل نقش مهم دارد. بنابراین، همانطور که در جدول ۴ مشاهده می شود در تیمارهای PM_{100}، SM_{100} و CM_{100} مقدار کلروفیل a به‌نسبت کمتر است و احتمالاً به همین دلیل رنگدانه کارتنوئید در این تیمارها افزایش نسبی داشته است.

اثرات اصلی کود و چین و همچنین اثر متقابل کود در چین بر میزان شاخص سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. (جدول ۵) بیشترین میزان LAI در چین دوم و به‌ترتیب در تیمارهای

PM_{250}، SM_{250} و PM_{143} بـه میزان ۱/۴۹، ۱/۴۵ و ۱/۴۳ بـدون اختلاف معنی‌دار با هم نسبت به سایر تیمارها در گروه آماری برتر قرار گرفتند (جدول ۶). در هر دو چین با افزایش سطح کود مصرفی میزان شـاخص سـطح برگ ابتدا افزایش و سـپس ثابت باقی مانده اسـت به‌ا ستثناء تیمار کود گو سفندی در چین دوم که سطوح بالای م صرف کود دامی در آن یا سـطح متعادل مصـرف کود معنی‌دار بود و درصـد افزایش بیشـتر بود. (جدول ۶). میزان شـاخص سـطح برگ کرت‌های دریافت‌کننده کود شیمیایی در چین اول کمتر از تیمارهای کود دامی با شاخص سطح برگ بالا بود (جدول ۶).

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای کودی بر شاخص سطح برگ، زیست‌توده گیاهی و اسانس گیاه آویشن طی دو چین

Table 5- Analysis of variance for the effect of fertilizer treatments on leaf area index, arial biomass and essential oil of thyme during two cuttings

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares			
		شاخص سطح برگ Leaf area index	زیست‌توده گیاهی Aerial biomass	میزان اسانس Essential oil content	عملکرد اسانس Essential oil yield
تکرار Replication	2	0.01	1680.9	0.03	2.34
کود Fertilizer	10	0.44**	102473.6**	0.13**	103.44**
خطای اصلی Error a	20	0.04	7350.9	0.01	3.54
چین Cutting	1	4.50**	3636394.9**	3.49**	822.5**
کود × چین Cutting × fertilizer	10	0.05**	56598.7**	0.06**	35.47**
چین × تکرار Replication× cutting	2	0.00	1982.6	0.00	3.36
خطای آزمایش Error	20	0.01	3805.8	0.01	3.62
ضریب تغییرات C.V (%)		10.7	6.8	3.9	8.9

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

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

شاخص سطح برگ در جذب تشعشعات خورشیدی بسیار پراهمیت است که بالا بودن این شاخص در هر چه بهتر شدن رشد محصول و افزایش عملکرد مؤثر ا ست. نیتروژن موجود در انواع کودها در هر چه بهتر و بیشتر شدن این شاخص و افزایش ظرفیت فتوسنتزی از طریق بالا بردن دوام سطح برگ و تأخیر در پیری برگ‌ها می شود. بی شتر بودن شاخص سطح برگ دلالت بر تأمین عنا صر غذایی گیاه جهت د ستر سی به سطح برگ بالا، تولید بیشتر از طریق فتو سنتز بالاتر در این کودها دارد. کودهای دامی از طریق فراهمی عناصـر غذایی به‌خصوص نیتروژن باعث افزایش رشد رویشی گیاه می‌شوند و بالطبع افزایش شاخص سطح برگ و تراکم بیشتر کانوپی را به دنبال دارد که سبب ا ستفاده بهینه از انرژی نورانی و در نتیجه، سنتز بی شتر مواد فتو سنتزی می شود (Rahimpour & Fallah, 2018). آن‌ها ن شان دادند که کود گاوی به‌دلیل ن سبت بالای کربن به نیتروژن و همچنین میزان فسفر کمتر اثرات کمتری بر رشد برگ‌ها در مقایسه با تیمارهای کود مرغی داشـته اسـت. کودهای مرغی با تولید اسـیدهای آلی (Sanches Govin et al., 2005) و تأمین مناسـب اغلب عناصـر غذایی به‌ویژه نیتروژن و فسفر (Ewulo, 2005) تعداد برگ‌ها و سطح برگ ریحان (Ocimum basilicum L.) را افزایش داد.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار کودی و چین بر شاخص سطح برگ، زیست‌توده گیاهی و اسانس آویشن

Table 6- Mean comparisons of fertilizer and cutting interaction on leaf area index, aerial biomass, and essential oil of thyme

چین Cutting	کود Fertilizer	شاخص سطح برگ Leaf area index	زیست‌توده گیاهی Aerial biomass (kg.ha^{-1})	میزان اسانس Essential oil content (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield (kg.ha^{-1})
چین اول First cutting	PM_{100}	0.6	564	2.26	12.7
	PM_{143}	0.8	656	2.74	18.0
	PM_{250}	1.0	997	2.79	27.7
	SM_{100}	0.6	633	2.55	16.2
	SM_{143}	1.1	1061	2.61	27.6
	SM_{250}	1.0	929	2.79	25.9
	CM_{100}	0.5	531	2.64	14.1
	CM_{143}	0.7	547	2.65	14.5
	CM_{250}	0.7	592	3.13	18.5
	CF	0.6	533	2.52	13.3
	Control	0.4	362	2.44	8.8
چین دوم Second cutting	PM_{100}	1.16	1143	2.21	25.3
	PM_{143}	1.43	1177	2.25	26.4
	PM_{250}	1.49	1203	2.40	28.9
	SM_{100}	1.11	1103	2.12	23.4
	SM_{143}	1.19	1153	2.23	25.7
	SM_{250}	1.45	1180	2.26	26.7
	CM_{100}	1.17	1116	2.09	23.4
	CM_{143}	1.16	1147	2.20	25.2
	CM_{250}	1.41	1163	2.25	26.1
	CF	1.34	1198	1.96	23.4
	Control	0.46	987	2.08	20.6
LSD (α= 0.05)		0.24	143.3	0.22	4.42

PM_{100}، PM_{143}، PM_{250}: به‌ترتیب کود مرغی براساس ۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ SM_{100}، SM_{143}، SM_{250}: به‌ترتیب کود گوسفندی براساس ۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ CM_{100}، CM_{143}، CM_{250}: به‌ترتیب کود گاوی براساس ۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ CF: کود شیمیایی، Control: بدون کود.

PM_{100}, PM_{143}, PM_{250}: Application of poultry manure based on 100, 143, and 250 kg N.ha^{-1}, respectively; SM_{100}, SM_{143}, SM_{250}: Application of sheep manure based on 100, 143, and 250 kg N.ha^{-1}a, respectively; CM_{100}, CM_{143}, CM_{250}: Application of cattle manure based on 100, 143 and 250 kg N.ha^{-1}, respectively; CF: Chemical fertilizer, Control: No fertilizer.

اثرات کود، چین و اثر متقابل کود در چین بر زیست‌توده گیاهی آویشن دنایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵) . در چین اول روند ماده خشک تولیدی برای کودهای دامی متفاوت بود. به‌طوری‌که در کود مرغی با افزایش میزان کود مصرفی مقدار ماده خشک نیز افزایش یافت. برای کود گوسفندی نیز با افزایش کود مصرفی میزان ماده خشک گیاه ابتدا افزایش و سپس ثابت شد. میزان ماده خشک تولیدی در سطوح مختلف کود گاوی نیز تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶). در چین دوم در همه تیمارها افزایش قابل توجهی نسبت به چین اول داشتند و به‌جز شاهد همه در یک گروه آماری قرار گرفتند. کمترین میزان زیست‌توده گیاهی در چین اول و در شاهد به‌میزان ۳۶۲ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (جدول ۶).

به نظر می‌رسد بالا بودن میزان نیتروژن، فسفر، روی، مس و منگنز در کود مرغی شرایط را برای سوخت و ساز بهتر این عناصر در گیاه و افزایش معنی‌دار صفات فراهم کرده است. علاوه‌بر نقش مهم نیتروژن، فسفر نیز به‌طور مستقیم یا سخ فتو سنتز را کنترل می‌کند و نقشی اساسی در تشکیل پیوندهای انرژی و غشای فسفولیپید دارد و یک جزء جدایی‌ناپذیر از واکنش‌های متابولیسم گیاه و مسیر انتقال سیگنال است (Pandey & Patra, 2015). میزان فسفر در کود مرغی سه برابر آن در کودهای گاوی و گوسفندی بود.

بررسی روند ماده خشک دو چین حاکی است که در چین اول ماهیت کودها نقش تعیین‌کننده دارد. به عبارتی، کودهایی که دارای مقدار بیشتری مواد آلی با خاصیت تجزیه سریع دارند، می‌توانند با سرعت بیشتری میزان نیتروژن و همچنین دیگر عناصر غذایی را در محیط ریزوسفر فراهم کنند (Fallah et al., 2020) و بنابراین، موجب رشد گیاه و در نتیجه، تجمع ماده خشک بیشتر شوند. زیرا به‌موازات افزایش نیتروژن در گیاه، میزان پروتوپلاسم افزایش یافته و در نتیجه، افزایش اندازه سلول و گسترش سلولی موجب افزایش رشد گیاه می‌گردد (Omrani et al., 2016). امّا در چین دوم توسعه ریشه گیاه و وجود زمان بیشتر موجب افزایش معدنی شدن کودهای دامی می‌گردد و به نظر می‌رسد که در کود گوسفندی و حتی کود گاوی

میزان آزادسازی عناصر غذایی همانند کود مرغی با تأمین نیازهای گیاه هماهنگی داشته است و از این رو ماده خشک چین دوم تیمارهای کودی اختلاف نداشته است.

ملو و همکاران (Melo et al., 2008) گزارش کردند که کودهای مرغی به‌خاطر میزان بالای آمونیوم معمولاً زیست‌توده بیشتری را نسبت به سایر کودهای دامی تولید می‌کنند. آن‌ها میزان زیاد آمونیوم و عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن را دلیل این برتری می‌دانند (Melo et al., 2008).

روزال و همکاران (Rosal et al., 2011) در مقاله خود اعلام کردند که کودهای مرغی پرورشی از لحاظ نیتروژن و فسفر بسیار غنی و از لحاظ سلولز و لیگنین فقیر هستند. Bibiano et al. (2019) نیز کودهای مرغی را در مقایسه با کودهای گاوی جهت حصول عملکرد بالا بهتر دانستند.

علاوه بر مزایای مستقیم کود دامی بر حاصلخیزی خاک، از مزایای جانبی آن‌ها می‌توان به تأثیر تعدیل اسیدیته خاک، افزایش مواد آلی و حمایت از باکتری‌های مفید خاک اشاره کرد (Tewolde et al., 2010; Ashworth et al., 2014; Ashworth et al., 2020) که این عوامل نیز می‌توانند در ایجاد رشد گیاه مؤثر باشند. کود دامی به‌خصوص کود مرغی نسبت به اعمال کودهای شیمیایی باعث افزایش صفات اندازه‌گیری شده از جمله ماده خشک اندام‌های هوایی، ماده خشک ساقه و برگ در گیاه سیب زمینی گردید (Djilani Ghemam & Senoussi, 2013).

نتایج تجزیه آنالیز واریانس نشان داد که میزان اسانس تحت تأثیر اثرات اصلی و متقابل کود و چین در سطح احتمال قرار یک درصد گرفت. بیشترین میزان اسانس در چین اول و تیمار CM_{250} به‌میزان ۳/۱۳ درصد گزارش گردید (جدول ۶). همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است، در چین اول، مقدار اسانس با افزایش میزان کود مرغی ابتدا افزایش و سپس ثابت ماند، ولی در کود گاوی CM_{250} اسانس را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با دو سطح دیگر این کود افزایش داد. سطوح مختلف کود گوسفندی در چین اول از لحاظ میزان اسانس اختلاف معنی‌داری نداشتند. همچنین در چین دوم اختلاف معنی‌داری بین سطوح هیچکدام از کودها مشاهده نشد. میزان اسانس هر تیمار در چین دوم در مقایسه با چین اول از لحاظ عددی کاهش یافت (جدول ۶).

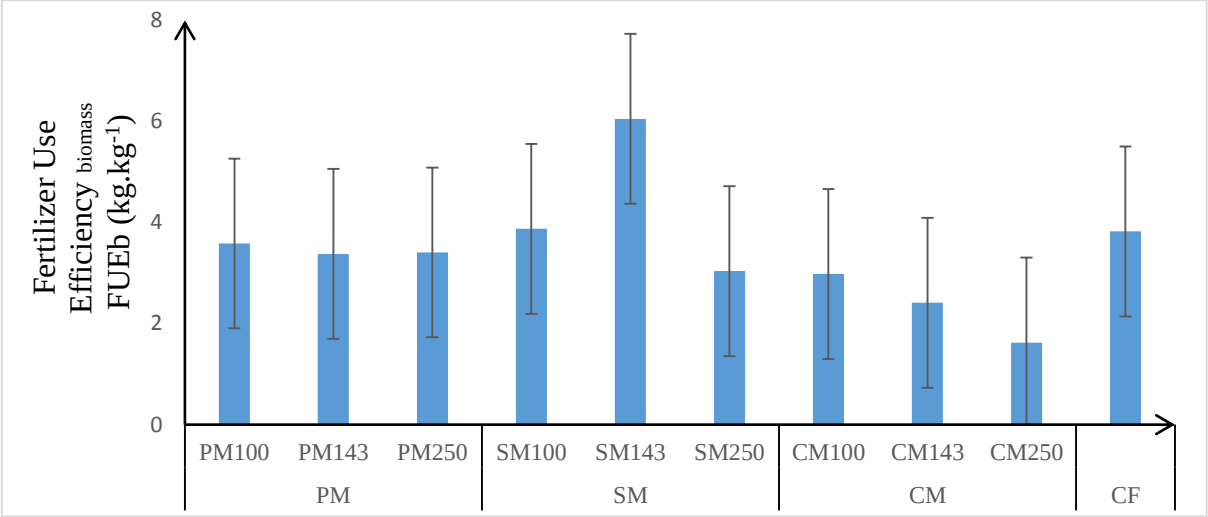
اثرات اصلی کود و چین و همچنین اثر متقابل کود در چین بر میزان عملکرد اسانس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). عملکرد اسانس که از حاصل ضرب زیست‌توده گیاهی و درصد اسانس به‌دست آمد، طی هر دو چین اول با افزایش میزان مصرف کود دامی به‌استثنای کود گاوی در چین اول افزایش یافت (جدول ۶). در چین اول تیمارهای PM_{250}، SM_{143} و SM_{250} به‌ترتیب با ۲۷/۷، ۲۷/۶ و ۲۶ کیلوگرم در هکتار نسبت به سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد ثبت نمودند. در چین دوم نیز تیمارهای PM_{250} و SM_{250} به‌ترتیب با ۲۸/۹ و ۲۶/۷ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین تولید اسانس بودند. کمترین میزان عملکرد اسانس نیز در چین اول در شاهد با ۸/۸ کیلوگرم در هکتار ثبت شد (جدول ۶).

بررسی روند میانگین‌ها نشان می‌دهد که در گیاه آویشن تولید ماده خشک در مقایسه با میزان اسانس نقش بیشتری در عمکرد اسانس دارد (جدول ۶)، زیرا تیمار CM_{250} اگرچه در هر دو چین از درصد اسانس بالایی برخوردار بود، ولی به‌دلیل ماده خشک کمتر دارای عملکرد اسانس بالایی نبود. از آن جا که نیتروژن نقشی کلیدی در تقسیم، رشد و نمو سلول‌هایی دارد که تجمع اسانس را به‌دلیل بهبود عملکرد زیست‌توده تحریک می‌کند (Pandey & Patra, 2015)، استفاده از سطوح بالای کود مرغی و گوسفندی به‌دلیل وجود اضافه نمودن مقادیر زیادی از عناصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر از سایر تیمارها پیشی گرفته است.

کندیل و همکاران (Kandeel et al., 2002) با مطالعه بر روی تأثیر کودهای آلی و غیر آلی و ترکیب آن‌ها بر عملکرد و ترکیبات اسانس ریحان نشان دادند که ترکیب کودهای آلی و غیرآلی باعث افزایش عملکرد اسانس (که عمدتاً توسط ترکیبات شبه ترپنوئید تشکیل شده است) در مقایسه با گیاهانی شد که فقط با نیتروژن غیرآلی تغذیه شده بودند. بنابراین، تعادل مواد مغذی در کودهای آلی فاکتور مهمی است که می‌تواند در رشد و نمو گیاه در مقایسه با کود شیمیایی تأثیر بگذارد. از طرف دیگر، افزایش زیست‌توده گیاهی را می‌توان به تأثیر کود آلی نسبت داد که باعث بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌شود. یعنی افزایش مواد آلی خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، و ظرفیت نگهداری آب و در دسترس بودن مواد مغذی معدنی و به نوبه خود باعث افزایش زیست‌توده گیاهی گیاه می‌شود (Al-Fraihat et al., 2011; Samani et al., 2017) و این افزایش وزن خشک در بهبود عملکرد اسانس گیاه نقش مستقیمی دارد (Rostaei et al., 2018).

بررسی کارایی کودهای مختلف در شکل‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهد که در مجموع ترتیب کارایی کودها برای تولید زیست‌توده گیاه آویشن طی دو چین به صورت زیر بود: کود گوسفندی> کود شیمیایی> کود مرغی> کود گاوی. مقدار این کارایی برای کودهای کود گوسفندی، کود شیمیایی، کود مرغی و کود گاوی به‌ترتیب ۴/۳۲، ۳/۸۲، ۳/۴۶ و ۲/۳۴ کیلوگرم در کیلوگرم بود (شکل ۱). ترتیب کارایی کودهای در

تولید اسانس با کارایی کود در تولید زیستتوده متفاوت بود، بهطوریکه پس از کود گوسفندی، بیشترین کارایی مربوط به کود مرغی بود، همچنین اختلاف کارایی کود گاوی در تولید اسانس با کود شیمیایی خیلی کم بود (شکل ۲).



شکل ۱- مقایسه میانگین کارایی مصرف کود در تولید زیستتوده گیاه دارویی آویشن دنایی طی دو چین

Fig. 1- Means comparison of fertilizer efficiency in the biomass production of thyme during two cuttings

PM_{100}، PM_{143}، PM_{250}: بهترتیب کود مرغی براساس ۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ SM_{100}، SM_{143}، SM_{250}: بهترتیب کود گوسفندی براساس ۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ CM_{100}، CM_{143}، CM_{250}: بهترتیب کود گاوی براساس ۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ CF: کود شیمیایی. میلهها نشاندهنده مقدار LSD (α=0.05) هستند.

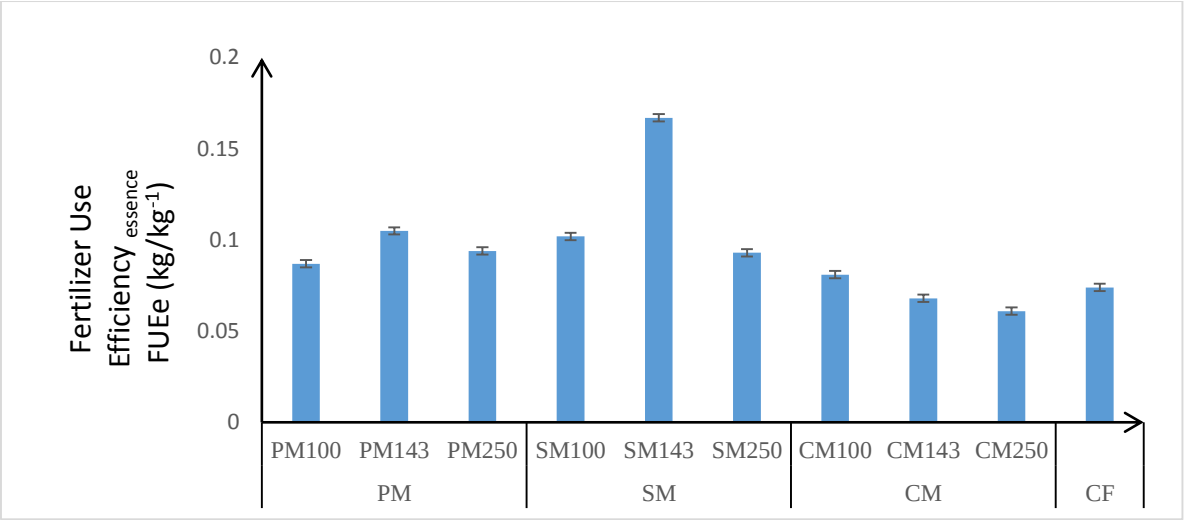
PM_{100}, PM_{143}, PM_{250}: Application of poultry manure based on 100, 143, and 250 kg $N.ha^{-1}$, respectively; SM_{100}, SM_{143}, SM_{250}: Application of sheep manure based on 100, 143, and 250 kg $N.ha^{-1}$, respectively; CM_{100}, CM_{143}, CM_{250}: Application of cattle manure based on 100, 143 and 250 kg $N.ha^{-1}$, respectively; CF: Chemical fertilizer. Bars indicate the amount of LSD (α= 0.05).

مقایسه میانگین کارایی مصرف کود در تولید زیستتوده هر یک از سطوح کودی طی دو چین بیانگر آن است که همه تیمارهای کودی بهاستثنای SM_{143} اختلاف معنیداری نداشتند (شکل ۱). امّا از لحاظ تولید اسانس اختلاف معنیداری بین سطوح مختلف تیمارهای کودی مشاهده شد (شکل ۲). بیشترین کارایی کود در تولید اسانس به SM_{143} اختصاص داشت و PM_{143} نیز در رتبه بعدی قرار گرفت. نکته قابل توجه این است که کارایی مصرف کود شیمیایی برای تولید اسانس نسبت به دیگر کودها کاهش قابل توجهی داشت، بهطوریکه کلیه سطوح کود گوسفندی و کود مرغی و همچنین CM_{100} برتری معنیداری در مقایسه با کود شیمیایی داشتند (شکل ۲). این نتیجه نشان میدهد که کودهای دامی علاوهبر عناصر پرمصرف بهدلیل عناصر کممصرف و همچنین تولید هورمونهای رشد بر تولید متابولیت ثانویه اثر مستقیم دارند (Rostaei et al., 2018). از این رو، برای زراعت گیاهان دارویی و تولید اسانس مفید هستند.

به نظر میرسد در آزمایش آنها پائین بودن میزان مصرف کود گاوی، علت کاهش کارایی این کود باشد که قادر به تأمین عناصر غذایی مورد نیاز طی دوره رشد گیاه نبوده است. برخی از محققین از دست رفتن بخشی از نیتروژن توسط آبشویی قبل از جذب ریشه هنگامی که گیاه قادر به مصرف عناصر اضافی نبوده است را از دلایل کاهش کارایی مصرف نیتروژن دانستند (Fallah & Tadayyon, 2010).

متعادل بودن توزیع ماده خشک بین اجزای گیاه (Andrade et al., 1999)، و یا تعادل بین نیاز گیاه و قابلیت دسترسی نیتروژن خاک (Subedi et al., 2006)، میتواند دلیل بالا بودن کارایی کود در تیمارهای SM_{143} و در اولویت بعدی PM_{143} باشد. بهطور کلی، در آزمایش حاضر اختلاف کارایی کود بین تیمارهای مختلف از لحاظ تولید ماده خشک در مقایسه با تولید اسانس کمتر بود، این در حالی است که برخی از پژوهشگران بالا بودن کارایی جذب نیتروژن ذرت و پنبه در سطوح مختلف کود مرغی نسبت به کود اوره را بهدلیل افزایش قابلیت دسترسی به نیتروژن در کود مرغی و کاهش امکان آبشویی آن اعلام نمودند (Adeli et al., 2005; Hirzel et al., 2007). ولی عدهای از پژوهشگران کاهش کارایی جذب نیتروژن تیمار کود دامی نسبت به کود شیمیایی را گزارش کردند و علت آن را عدم همزمانی آزادسازی نیتروژن با نیاز گیاه در تیمار کود دامی دانستند (Russo et

.(al., 2010



شکل ۲- مقایسه میانگین کارایی مصرف کود در تولید اسانس گیاه دارویی آویشن دنایی طی دو چین

Fig. 2- Means comparison of fertilizer efficiency in the essential oil production of thyme during two cutting

PM_{100}، PM_{143}، PM_{250}: به‌ترتیب کود مرغی براساس ۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ SM_{100}، SM_{143}، SM_{250}: به‌ترتیب کود گوسفندی براساس ۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ CM_{100}، CM_{143}، CM_{250}: به‌ترتیب کود گاوی براساس ۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ CF: کود شیمیایی. میله‌ها نشاندهنده مقدار LSD (α=0.05) هستند.

PM_{100}, PM_{143}, PM_{250}: Application of poultry manure based on 100, 143, and 250 kg $N.ha^{-1}$, respectively; SM_{100}, SM_{143}, SM_{250}: Application of sheep manure based on 100, 143, and 250 kg $N.ha^{-1}$, respectively; CM_{100}, CM_{143}, CM_{250}: Application of cattle manure based on 100, 143 and 250 kg $N.ha^{-1}$, respectively; CF: Chemical fertilizer. Bars indicate the amount of LSD (α= 0.05).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج مطالعه حاضر حاکی از آن بود که به‌کارگیری مقدار متعادل کود گوسفندی به‌دلیل برتری کارایی آن در مقایسه دیگر سطوح این کود و دیگر کودهای دامی و شیمیایی مورد مطالعه، اثربخشی بیشتری در اکوسیستم زراعی دارد، ولی چنانچه عملکرد اسانس گیاه آویشن مورد نظر تولیدکننده باشد، سطح بالای کود مرغی بر سطح متعادل کود گوسفندی اولویت دارد و به‌میزان ۱۳/۴ درصد اسانس بیشتری تولید می‌کند، هر چند کارایی این سطح از کود مرغی در مقایسه با سطح متعادل کود گوسفندی ۳۵ درصد کمتر است. بنابراین، برای رسیدن به جنبه‌های پایداری در اکوسیستم گیاهان دارویی علاوه‌بر تولید ا سانس در نظر گرفتن کارایی م صرف کودها نیز ضروری به نظر می‌رسد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از مساعدت مالی دانشگاه شهرکرد در اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Abdollahi Arpanahi, A., and Feizian, M., 2019. Arbuscular mycorrhizae alleviate mild to moderate water stress and improve essential oil yield in thyme. Rhizosphere 9: 93-96. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2018.10.003.

Abdollahi2020 Arpanahi, A., Feizian, M., Mehdipourian, G., and Namdar-Khojasteh, D., 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation improve essential oil and physiological parameters and nutritional values of *Thymus daenensis* Celak and *Thymus vulgaris* L. under normal and drought stress conditions. European Journal of Soil Biology 100. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103217

Adeli, A., Sistani, K.R., Rowe, D.E., and Tewolde, H., 2005. Effects of broiler litter on soybean production and soil nitrogen and phosphorus concentrations. Agronomy Journal 97: 314-321. https://doi.org/10.2134/agronj2005.0314

Ahn, J., Lee, S.A., Kim, J.M., Kim, M., Song, J., and Weon, H., 2016. Dynamics of bacterial communities in rice field soils as affected by different long-term fertilization practices. Journal of Microbiology 54: 724–731. DOI: 10.1007/s12275-016-6463-3

Al-Fraihat, A.H., Al-dalain, S.Y.A., Al-Rawashdeh, Z.B., AbuDarwish, M.S., and Al-Tabbal, J.A., 2011. Effect of organic and bio fertilizers on growth, herb yield and volatile oil of marjoram plant grown in Ajloun region, Jordan. Journal of Medicinal Plants Research 5(13): 2822–2833. https://doi.org/10.5897/JMPR.9000490

Alizadeh, P., Fallah, S., and Raiesi, F., 2012. Potential N mineralization and availability to irrigated maize in a calcareous soil amended with organic manures and urea under field conditions. International Journal of Plant Production 6(4): 493-512. Doi: 10.22069/ijpp.2012.762.

Amran, K.A.A., 2013. Physiological studies on *Pelargonium graveolens* L plant. Ph.D. Dissertation. Faculty of Agriculture. Moshtohor. Benha. University. Egypt. 115 p.

Andrade, F.H., Vega, C., Uhart, S., Cirilo, A., Cantarero, M., and Valentinuz, O., 1999. Kernel number determination in maize. Crop Science 39: 453-459.

Arefi, I., Kafi, M., Khazaei, H.R., and Banayan Aval, M., 2012. Effect of nitrogen phosphorous and potassium fertilizer levels on yield, photosynthetic rate photosynthetic pigments, chlorophyll content, and nitrogen concentration of plant components of *Allium altissimum* Regel. Journal of Agroecology. 4(3): 207-214. Doi: 10.22067/jag.v4i3.15309 (In Persian with English Summary)

Asbaghian, S., Shafaghat, A., Zarea, K., Kasimov, F., and Salimi, F., 2011. Comparison of volatile constituents, and antioxidant and antibacterial activities of the essential oils of *Thymus caucasicus*, *T. kotschyanus* and *T. vulgaris*. Natural Product Communications. 6(1): 137–140. https://doi.org/10.1177/1934578X1100600133.

Ashworth, A.J., Allen, F., Wight, J., Saxton, A., and Tyler, D., 2014. Soil organic carbon sequestration rates under crop sequence diversity, biocovers, and no-tillage. Soil Science Society of America Journal 78: 1726–1733. https://doi.org/10.2136/sssaj2013.09.0422.

Ashworth, A., Pote, D., Way, T.R., and Watts, D.B., 2020. Effect of seeding distance from subsurface poultry litter on corn yield and leaf greenness. Agronomy Journal 112. https://doi.org/10.1002/agj2.20186.

Begrow, F., Engelbertz, J., Feistel, B., Lehnfeld, R., Bauer, K., and Verspohl, E.J., 2010. Impact of thymol in thyme extracts on their antispasmodic action and ciliary clearance. Planta Medica 76(04): 311-318. DOI: 10.1055/s-0029-1186179.

Bernal, M.P., Alburquerque, J.A., and Moral, R., 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. Bioresource Technology. 100(22): 5444–5453. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027.

Bibiano, C., Carvalho, A., Bertolucci, S.K., Torres, S., Corrêa, R., and Pinto, J., 2019. Organic manure sources play fundamental roles in growth and quali-quantitative production of essential oil from *Dysphania ambrosioides* L. Industrial Crops and Products 139: 111512. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111512.

Börjesson, G., Menichetti, L., Kirchmann, H., and Kätterer, T., 2012. Soil microbial community structure affected by 53 years of nitrogen fertilisation and different organic amendments. Biology and Fertility of Soils 48: 245–257. DOI:10.1007/s00374-011-0623-8.

Budka, D., and Khan, N.A., 2010. The effect of *Ocimum basilicum*, *Thymus vulgaris*, *Origanum vulgare* essential oils on *Bacillus cereusin* rice-based foods. European Journal of Botany 2(1): 17–20.

Büechi, S., Vögelin, R., Von Eiff, M.M., Ramos, M., and Melzer, J., 2005. Open trial to assess aspects of safety and efficacy of a combined herbal cough syrup with ivy and thyme. Complementary Medicine Research 12(6): 328-332. DOI: 10.1159/000088934.

Cetin, B., Cakmakci, S., and Cakmakci, R., 2011. The investigation of antimicrobial activity of thyme and oregano essential oils. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 35: 145-154. DOI: 10.3906/tar-0906-162.

Chae, Y.M., and Tabatabai, M.A., 1986. Mineralization of nitrogen in soils amended with organic wastes. Journal of Environmental Quality 15(2): 193– 198. https://doi.org/10.2134/jeq1986.00472425001500020021x

Dinesh, R., Srinivasan, V., Hamja, S., and Mahjusha, A., 2010. Short term incorporation of organic manures and fertilizers influences biochemicals and microbial characteristics of soils under an annual crop turmeric. Bioresource Technology Journal 101(12): 4697-702. doi: 10.1016/j.biortech.2010.01.108.

Djilani Ghemam, A., and Senoussi, M.M., 2013. Influence of organic manure on the vegetative growth and tuber production of potato (*Solanum tuberosum* L. varspunta) in a Sahara desert region. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 5: 2724-2731.

El-Sawi, S.A., and Mohamed, M., 2002. Cumin herb as a new source of essential oils and its response to foliar spray with some microelements. Food Chemistry 77: 75–80. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.108.

Ewulo, B., 2005. Effect of poultry dung and cattle manure on chemical properties of clay and sandy clay loam soil. Journal

of Animal and Veterinary Advances 4(10): 829-841. https://medwelljournals.com/abstract/?doi=javaa.2005.839.841.

Fallah, S., 2016. Fundamental of Sustainable Agriculture. Shahrekord University Press, Shahrekord, Iran. 169 pp. (In Persian)

Fallah, S., and Tadayyon, A., 2010. Uptake and nitrogen efficiency in forage maize: effects of nitrogen and plant density. Agrociencia 44: 549-560.

Fallah, S., Ghalavand, A., Samar, S.M., and Yadavi, A., 2013. Effect of broiler litter and mixing it with soil on corn`s nutrient concentrations. Journal of Agronomy 24: 40-47.

Fallah, S., Mouguee, S., Rostaei, M., Adavi, Z., and Lorigooini, Z., 2020. Chemical compositions and antioxidant activity of essential oil of wild and cultivated *Dracocephalum kotschyi* grown in different ecosystems: A comparative study. Industrial Crops and Products 143: 111885. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111885.

Forge, T.A., Hogue, E.J., Neilsen, G., and Neilsen, D., 2008. Organic mulches alter nematode communities, root growth and fluxes of phosphorus in the root zone of apple. Applied Soil Ecology 39: 15–22. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.11.004.

Francioli, D., Schulz, E., Lentendu, G., Wubet, T., Buscot, F., and Reitz, T., 2016. Mineral vs. organic amendments: microbial community structure, activity and abundance of agriculturally relevant microbes are driven by long-term fertilization strategies. Frontiers in Microbiology 14: 1446. doi: 10.3389/fmicb.2016.01446.

Geisseler, D., and Scow, K.M., 2014. Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms-A review. Soil Biology and Biochemistry 75: 54–63. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.03.023.

Ghasemi Pirbalouti, A., Karimi, A., Yousefi, M., Enteshari, E., and Golparvar, A.R., 2011. Diversity of *Thymus daenensis* Celak in central and west of Iran. Journal of Medicinal Plants Research 5(4): 319–323. https://doi.org/10.5897/jmpr.9000456.

Ghasemi Pirbalouti, A., Barani, M., Hamedi, B., Ataei Kachouei, M, and Karimi, A., 2013. Environment effect on diversity in quality and quantity of essential oil of different wild populations of Kerman thyme. Genetika Journal 45: 441450. DOI:10.2298/GENSR1302441P.

Haraguchi, H., Saito, T., Ishikawa, H., Date, H., Kataoka, S., Tamura, Y., and Mizutani, K., 1996. Antiperoxidative components in *Thymus vulgaris*. Planta Medica 62: 217–221. DOI:10.1055/S-2006-957863

Hartmann, M., Frey, B., Mayer, J., Maeder, P., and Widmer, F., 2015. Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming. Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology 9: 1177–1194. DOI:10.1038/ismej.2014.210.

Hatwar, G.P., Gondane, S.U., Urkude, S.M, and Gahukar, O.V., 2003. Effect of micronutrients on growth and yield of chili. Journa of Soils and Crops 13: 123–125.

Hirzel, J., Walter, I., Undurraga, I., and Cartagena, M., 2007. Residual effects of poultry litter on silage maize (*Zea mays* L.) growth and soil properties derived from volcanic ash. Soil Science and Plant Nutrition 53: 480-488. https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2007.00144.x.

Kandeel, A.M., Naglaa, S.A.T., and Sadek, A.A., 2002. Effect of biofertilizers on the growth, volatile oil yield and chemical composition of *Ocimum basilicum* L. plant. Annual Agricultural Science Cairo 47(1): 351-371.

KeshavarzAfshar, R., Chaichi, M.R., Assareh, M.H., Hashemi, M., and Liaghat, A., 2014. Interactive effect of deficit irrigation and soil organic amendments on seed yield and flavonolignan production of milk thistle (*Silybum marianum* L. Gaertn.). Industrial Crops and Products 58: 166–172. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.03.043.

Kilande, B.G., Tenywa, J.S., Rwakaikara-Silver, M., and AmodingKatushabe, A., 2011. Agronomic evaluation of cattle manures for cabbage production: Animal gender and physiological conditions. Nepalese Journal of Agricultural Sciences 9: 76-89.

Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. In: R. Douce, and L. Packer, (Eds.), Methods Enzymol. Academic Press Inc., New York 148: 350-382.

Maghdi, B.H., and Maki, Z.M., 2003. Review of common Thyme. Journal of Medicinal Plants Research 2(7): 1-12.

Melo, L.C.A., Silva, C.A., and Dias, B.D.O., 2008. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de Origens diversificadas. Revista Brasileira de Ciência do Solo 32: 101–110. https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100010.

Nabavi, S.M., Marchese, A., Izadi, M., Curti, V., Daglia, M., and Nabavi, S.F., 2015. Plants belonging to the genus Thymus as antibacterial agents: from farm to pharmacy. Food Chemistry 173: 339–347. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.10.042

Naguib, N.Y.M., 2011. Organic *vs.* chemical fertilization of medicinal plants: A concise review of researches. Advances in Environmental Biology Journal 5(2): 394-400.

Nasiri, Y., and Najafi, N., 2015. Effects of soil and foliar applications of iron and zinc on flowering and essential oil of chamomile at greenhouse conditions. Acta Agriculturae Slovenica 105(1): 33–41. DOI:10.14720/aas.2015.105.1.04.

Nathalie, J., and Bréda, J., 2003. Ground- based measurements of leaf area index: A review of methods, instruments and current controversies. Journal of Experimental Botany 54: 392: 2403–2417. https://doi.org/10.1093/jxb/erg263.

Neisani, S., Fallah, S., and Raiesi, F., 2011. The response of N and P efficiency in forage maize to different urea and broiler litter levels under short-term drought stress conditions. Journal of Agroecology 3: 525-534. Doi: 10.22067/jag.v3i4.14910. (In Persian with English Summary)

Nezhadali, A., Akbarpour, M., Zarrabi, B., and Mousavi, M., 2010. Comparison of volatile organic compounds of *Thymus vulgaris* using hydrodistillation and headspace solid phase microextraction gas chromatography mass spectrometry. Journal of the Chinese Chemical Society 57: 40-43. https://doi.org/10.1002/jccs.201000007.

Omrani, B., Fallah, S., and Taddayon, M.R., 2016. The response of photosynthetic pigments and dry matter partitioning and nitrate content in purslane (*Portulaca oleracea*) to plant nutrition. Journal of Plant Process and Function 5(15):181-194. DOI:20.1001.1.23222727.1395.5.15.13.6 . (In Persian with English Summary)

Pandey, V., and Patra, D., 2015. Crop productivity, aroma profile and antioxidant activity in *Pelargonium graveolens* L. Her. under integrated supply of various organic and chemical fertilizers. Industrial Crops and Products 67: 257–263. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.042.

Park, J., Cho, K.H., Ligaray, M., and Choi, M.J., 2019. Organic matter composition of manure and its potential impact on plant growth. Sustainability 11: 2346. https://doi.org/10.3390/su11082346.

Rahimpour, M., and Fallah, S., 2018. Effect of organic and chemical fertilizers on growth and yield of green basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Agroecology 10(1): 146-159. DOI:10.22067/jsw.v31i6.66296. (In Persian with English Summary)

Rosal, L.F., Pinto, J.E.B.P., Bertolucci, S.K.V., Brant, R.D.S., Niculau, E.D.S., and Alves, P.B., 2011. Produção vegetal e de óleo essencial de boldo pequeno em função de fontes de adubos orgânicos. Revista Ceres Journal 58: 670–678. Doi: 10.1590/S0034-737X2011000500020.

Rostaei, M., Fallah, S., Lorigooini, Z., and Surki, A., 2018. Crop productivity and chemical compositions of black cumin essential oil in sole crop and intercropped with soybean under contrasting fertilization. Industrial Crops and Products 125: 622-629. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.09.044.

Roy, D.K., and Singh, B.P., 2006. Effect of level and time of nitrogen application with and without vermicompost on yield, yield attributes and quality of malt barley (*Hordeum vulgare*). Indian Journal of Agronomy 51: 40-42.

Roy, S.S., and Hore, J.K., 2010. Vermiculture can be practiced in all plantation crops. A report of Department of Spices and Plantation Crops, Faculty of Horticulture, Bidhan Chandra Krishi Viswavidyalaya. Nadia. West Bengal. pp. 20-39.

Russo, M.A., Belligno, A., Wu, J.Y., and Sadro, V., 2010. Comparing mineral and organic nitrogen fertlizer impact on soil–plant–water system in a succession of three crops. Recent Research in Science and Technology 2: 14-22.

Sacchetti, G., Maietti, S., Muzzoli, M., Scaglianti, M., Manfredini, S., Radice, M., and Bruni, R., 2005. Comparative evaluation of 11 essential oils of different origin as functional antioxidants, antiradicals and antimicrobials in foods. Food Chemistry 91(4): 621-632. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.06.031.

Safaei-Ghomi, J., Ebrahimabadi, A.H., Djafari-Bidgoli, Z., and Batooli, H., 2009. GC/MS analysis and *in vitro* antioxidant activity of essential oil and methanol extracts of *Thymus caramanicus* Jalas and its main constituent carvacrol. Food Chemistry 115(4): 152–154. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.051.

Samani, J.D., Pirbalouti, A.G., and Malekpoor, F., 2017. Effect of organic and chemical fertilizers on growth parameters and essential oil of Iranian basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Crop Nutrition Science 3: 14-24

Sanches Govin, E., Rodrigues Gonzales, H., Carballo Guerra, C., and Milanes Figueredo, M., 2005. Influencia de los abonos organicosy biofertilizantes en la calidad de las especies medicinales *Calendula officinalis* L. y *Mateicaria recutita* L. Revista Cubana de Plantas Medicinales 10: 1-8.

Sawan, Z.M., Hafez, S.A. and Basyony, A.E., 2001. Effect of phosphorus fertilization and foliar application of chelated zinc and calcium on seed, protein and oil yields and oil properties of cotton. Journal of Agricultural Science 136: 191-198. DOI: https://doi.org/10.1017/S0021859601008644.

Schoenau, J.J., 2006. Benefits of long-term application of manure. Advances in Pork Production 17: 153-158.

Shahnazi, S., Khalighi Sigaroudi, F., Ajani, Y., Yazdani, D., Ahvazi, M., and Taghizad Shaalan, M.N., 2007. Influence of biofertilizers and chicken manure on growth, yield and seeds quality of (*Nigella sativa* L.) plants. Egyptian Journal of Agricultural Research 83: 811–828.

Sharafzadeh, S., and Ordookhani, K., 2011. Organic and bio fertilizers as a good substitute for inorganic fertilizers in medicinal plants farming. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 5(12): 1330-1333.

Sharafzadeh, S., Zare, M., 2011. Eff ect of drought stress on qualitative and quantitative characteristics of some medicinal plants from Lamiaceae family. Advances in Environmental Biology Journal 5(8): 2058–2062.

Subedi, K.D., Ma, B.L., and Smith, D.L., 2006. Response of a leafy and non-leafy maize hybrid to population densities and fertilizer nitrogen levels. Crop Science 46: 1860-1869. https://doi.org/10.2135/cropsci2005.06-0141.

Tabrizi, L., Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., Nassiri Mahallati, M., and Bannayan, M., 2011. Effect of irrigation and organic manure on Khorasan thyme (*Thymus transcaspicus* Klokov). Archives of Agronomy and Soil Science 57: 317-326. https://doi.org/10.1080/03650340903369376.

Tang, H., Xiao, X., Li, C., Pan, X., Cheng, K., Shi, L., Wang, K., and Li, W., 2020. Organic manure managements increases soil microbial community structure and diversity in double-cropping paddy field of Southern China. Scientific reports 10: 13540. https://doi.org/10.1080/00103624.2021.1879120.

Tewolde, H., Adeli, A., Sistani, K.R., Rowe, D.E., and Johnson, J.R., 2010. Equivalency of broiler litter to ammonium nitrate as a cotton fertilizer in an upland soil. Agronomy Journal 102: 251–257. https://doi.org/10.2134/agronj2009.0244.

Treonis, A.M., Austin, E.E., Buyer, J.S., Maul, J.E., Spicer, L., and Zasada, I.A., 2010. Effects of organic amendment and tillage on soil micro organisms and microfauna. Applied Soil Ecology 46: 103–110. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.06.017.

Trivedi, P., Delgado-Baquerizo, M., Jeffries, T.C., Trivedi, C., Anderson, I.C., Lai, K., McNee, M., Flower, K., Pal Singh, B., Minkey, D., and Singh, B.K., 2017. Soil aggregation and associated microbial communities modify the impact of agricultural management on carbon content. Environmental Microbiology 19: 3070-3086. DOI: 10.1111/1462-2920.13779.

Verpoorte, R., 2000. Pharmacognosy in the new millennium: Leadfinding and biotechnology. Journal of Pharmacy and Pharmacology 52: 253-262. https://doi.org/10.1211/0022357001773931.

Wang, Y., Li, C.Y., Tu, C., Hoyt, G.D., DeForest, J.L., and Hu, S.J., 2017. Long-term no-tillage and organic input management enhanced the diversity and stability of soil microbial community. Science of the Total Environment 609: 341–347. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.07.053 .

Wiedenhoeft, A.C., 2006. Plant Nutrition. Chelsea House Publishers, US. 144.

Yadav, J.S.P., 2003. Managing soil health for sustained high productivity. Journal of the Indian Society of Soil Science 51(4): 448-465.

Yarnell, D., 2007. *Thymus vulgaris* L. (thyme), Lamiaceae and related species. www.aarons world.com, accessed 21 Dec. 2012.

Ye, S., Liu, T., and Niu, Y., 2020. Effects of organic fertilizer on water use, photosynthetic characteristics, and fruit quality of pear jujube in northern Shaanxi. Open Chemistry 18(1): 537-545. https://doi.org/10.1515/chem-2020-0060.

Zhang, F., and Li, L., 2003. Using competitive and facilitative interaction in intercropping systems enhances crops productivity and nutrient use efficiency. Plant and Soil 248: 305-312. DOI:10.1023/A:1022352229863.

Zheljazkov, V.D., and Warman, P.R., 2004. Source separated municipal solid waste compost application to Swiss chard and basil. Journal of Environmental Quality 33: 542-552. DOI: 10.2134/jeq2004.5420

Zhong, W., Gu, T., Wang, W., Zhang, B., Lin, X., Huang, Q., and Shen, W., 2010. The effects of mineral fertilizer and organic manure on soil microbial community and diversity. Plant and Soil 326: 511–522. DOI 10.1007/s11104-009-9988-y.

Zhu, X.C., Sun, L.Y., Song, F.B., Liu, S.Q., Liu, F.L., and Li, X.N., 2018. Soil microbial community and activity are affected by integrated agricultural practices in China. European Journal of Soil Science 69: 924–935. https://doi.org/10.1111/ejss.12679.

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

Research Article
Vol. 14, No. 3, Fall 2022, p. 467-484

Agronomic and Economic Evaluation of Intercropping Systems of Barley (*Hordeum vulgare*) with Two Medicinal Plants, Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) and Garlic (*Allium sativum*)

Y. Esmaeilian[1], M. Eshghizadeh[1*] and A. Tavassoli[2]

Received: 25-03-2020
Revised: 24-05-2021
Accepted: 30-05-2021
Available Online: 13-12-2022

How to cite this article:
Esmaeilian, Y., Eshghizadeh, M., and Tavassoli, A., 2022. Agronomic and economic evaluation of intercropping systems of barley (*Hordeum vulgare*) with two medicinal plants, fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) and garlic (*Allium sativum*). Journal of Agroecology 14(3): 467-484.
DOI: 10.22067/agry.2021.20274.0

Introduction

Today, agriculture faced various challenges, such as the inadequate agricultural products for growing human needs, in other words, step down of food security, reduction of productivity, economic justification, the competitiveness of agriculture, etc. On the other hand, the excessive use of agricultural inputs, especially water, fertilizers, and pesticides, excessive pressure on natural resources along with the consequences of climate change has affected the sustainability and stability of agroecosystems. Intercropping the agricultural practice of growing two or more species on the same farm at the same time has been emphasized by many researchers around the world as one of the ecological approaches for crop production as an effective technique for achieving sustainable agricultural goals. Therefore, the objective of this research was to agronomic and economic evaluation of intercropping patterns of three different crops.

Materials and Methods

To compare sole cropping and intercropping systems of barley, fenugreek, and garlic, a field experiment was conducted in 2016-17 at the Research Farm of Gonabad University based on a randomized complete block design with three replications. Experimental treatments consisted of sole cropping of barley, fenugreek, and garlic; and 4 replacement intercropping series as barley + fenugreek, barley + garlic, fenugreek + garlic, and barley + fenugreek + garlic. Studied traits included dry forage yield, plant height, 1000-seed weight, biological yield, seed yield, and harvest index in barley, dry forage yield, plant height, pod number per plant, seed number per pod, 1000-seed weight, and seed yield in fenugreek, plant height, leaf number per plant, clove length, clove diameter, clove number per plant, and bulb yield of garlic. In this research, intercropping advantage indexes included land equivalent ratio (LER), actual yield loss (AYL), system productivity index (SPI), intercropping advantage (IA), and relative value total (RVT) were calculated. Analyses of variance were carried out at $p\leq0.05$ using SAS 9.1 software. The means were compared using Duncan's multiple-range test.

Results and Discussion

The results indicated that the highest values of dry forage yield (8523 kg.ha^{-1}), seed yield (3494 kg.ha^{-1}), and biological yield (14111 kg.ha^{-1}) of barley were achieved from the sole cropping system. Among intercropping treatments, the highest dry forage yield (6109 kg.ha^{-1}) was achieved from barley + fenugreek. While the highest seed

1- Assistant Professor, Department of Agricultural and Natural Resources, University of Gonabad, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Agriculture, Payam Noor University, Tehran, Iran.
*Corresponding author: m.eshghizadeh@gonabad.ac.ir

yield (2709 kg.ha^{-1}) and biological yield (11081 kg.ha^{-1}) were obtained from barley + garlic intercropping. There was no significant difference between sole cropping and intercropping systems about yield components such as the plant height, 1000-seed weight, and harvest index of barley. The plant height, the number of pods per plant, and the number of seeds per pod showed the highest value in the sole cropping system, although there was no significant difference between sole cropping with fenugreek + garlic intercropping. The seed yield (1145 kg.ha^{-1}) and dry forage yield (5100 kg.ha^{-1}) of fenugreek in sole cropping were significantly higher than intercropping patterns. The garlic +fenugreek intercropping treatment with 4090 kg.ha^{-1} dry forage yield and 569 kg.ha^{-1} seed yield had the highest values among intercropping patterns. Yield components of garlic included the plant height, number of leaves per plant, clove length and diameter, and number of cloves in the plant had the highest value in sole cropping; however, there was no significant difference between sole cropping and fenugreek + garlic intercropping. The highest value of bulb yield (7194 kg.ha^{-1}) was obtained from sole cropping and garlic + fenugreek intercropping with the value of 3381 kg.ha^{-1} ranked in second place. Among intercropping advantage indexes, the highest value of the land equivalent ratio (1.16), actual yield increase (0.30), and system productivity (8414) was achieved from the barley + garlic intercropping system. The highest value of intercropping advantage (0.02) and relative value total (1.27) was obtained from fenugreek + garlic and barley + fenugreek, respectively.

Conclusion

According to our findings, intercropping systems of barley + fenugreek and fenugreek + garlic can be selected as an appropriate approach for planting these crops to produce more forage than sole cropping. The results also indicate the better utilization of barley from intercropping advantages than other species and its competitive superiority in the use of environmental resources and economic yield enhancement. Based on the findings of this research, intercropping barley with garlic and fenugreek is an appropriate approach for the increase of land use efficiency and economic profitability that . Overall, among cropping systems, the barley-garlic intercropping system had more advantages.

Keywords: Advantage, Forage yield, Land equivalent ratio, Seed yield, System Productivity

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

مقاله پژوهشی

ارزیابی زراعی و اقتصادی نظام‌های کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare*) با دو گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) و سیر (*Allium sativum*)

یاسر اسماعیلیان[۱]، مسعود عشقی‌زاده[۱*] و ابوالفضل توسلی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۰۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۳/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۹

اسماعیلیان، ی.، عشقی‌زاده، م.، و توسلی، ا.، ۱۴۰۱. ارزیابی زراعی و اقتصادی نظام‌های کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare*) با دو گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) و سیر (*Allium sativum*). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۳): ۴۸۴-۴۶۷.

چکیده

به‌منظور ارزیابی و مقایسه سیستم‌های کشت مخلوط با تک‌کشتی سه گیاه جو (*Hordeum vulgare*)، شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) و سیر (*Allium sativum*)، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۶- ۱۳۹۵ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی گناباد انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل کشت خالص جو، سیر، شنبلیله و کشت مخلوط جایگزینی به‌صورت جو + شنبلیله، جو + سیر، شنبلیله + سیر، و جو + شنبلیله + سیر بود. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد علوفه خشک، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت در گیاه جو، عملکرد علوفه خشک، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در گیاه شنبلیله، ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، طول سیرچه، قطر سیرچه، تعداد سیرچه در بوته و عملکرد سوخ در گیاه سیر بودند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین مقادیر عملکرد علوفه خشک (۸۵۲۳ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد دانه (۳۴۹۴ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد بیولوژیک (۱۴۱۱۱کیلوگرم در هکتار) گیاه جو از کشت خالص آن حاصل شد. در بین تیمارهای کشت مخلوط، بیشترین عملکرد علوفه (۶۱۰۹ کیلوگرم در هکتار) از کشت مخلوط جو + شنبلیله به‌دست آمد. صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف گیاه شنبلیله در تیمار کشت خالص بیشترین مقادیر را نشان دادند. عملکرد دانه (۱۱۴۵ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد علوفه خشک (۵۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) شنبلیله در الگوی کشت خالص در مقایسه با الگوهای کشت مخلوط به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. تیمار کشت مخلوط سیر + شنبلیله با عملکرد علوفه خشک ۴۰۹۰ کیلوگرم در هکتار و عملکرد دانه ۵۶۹ کیلوگرم در هکتار نسبت به سایر تیمارهای کشت مخلوط برتری داشت. اجزای عملکرد سیر شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، طول و قطر سیرچه، و تعداد سیرچه در بوته در کشت خالص بیشترین مقادیر را داشتند. بیشترین میزان عملکرد سوخ (۷۱۹۴ کیلوگرم در هکتار) از تیمار کشت خالص سیر به‌دست آمد. در میان شاخص‌های ارزیابی مزیت کشت مخلوط، بالاترین مقادیر نسبت برابری زمین (۱/۱۶)، افزایش واقعی عملکرد (۰/۳۰) و بهره‌وری سیستم (۸۴۱۴) از الگوی کشت مخلوط جو + سیر حاصل شد. بیشترین میزان شاخص سودمندی کشت مخلوط (۰/۰۲) از تیمار شنبلیله + سیر، و بالاترین عدد مجموع ارزش نسبی (۱/۱۳) از تیمار کشت مخلوط جو + شنبلیله به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری سیستم، سودمندی، عملکرد دانه، عملکرد علوفه، نسبت برابری زمین

۱- استادیار گروه مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران.
۲- استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: m.eshghizadeh@gonabad.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2021.20274.0

مقدمه

کشاورزی به‌عنوان مهم‌ترین روش تأمین غذای انسان، ساختمان و عمل اکوسیستم‌های طبیعی را به‌شدت تغییر داده است (Hong et al., 2019). بهره‌برداری انسان از منابع طبیعی همواره به‌صورت یک‌جانبه و بی‌رویه بوده و بهره‌برداری از این منابع بدون رعایت جنبه‌های حفاظتی آن و تنها براساس تأمین منافع کوتاه‌مدت انجام می‌گیرد. رشد فزاینده جمعیت و بحران کمبود غذا، سبب بهره‌برداری بیش از اندازه از منابع طبیعی و در نتیجه، برهم خوردن توازن بیولوژیکی شده است. مصرف بی‌رویه مواد شیمیایی نیز در کشاورزی، سبب بروز مشکلات زیست‌محیطی گوناگونی شده است (Hong et al., 2019). کشاورزی پایدار[1] به مدیریت صحیح منابع کشاورزی اطلاق می‌گردد که در جهت رفع نیازهای در حال تغییر بشر به‌کار برده شود و در عین حال، منابع طبیعی و نیز کیفیت محیط زیست را حفظ کرده و حتی بهبود بخشد. کشاورزی پایدار سودمند و مستمر، متکی بر حفظ منابع طبیعی است. این شیوه کشاورزی، اقتصادی‌ترین و در عین‌حال، سودمندترین نحوه تولید محصولات کشاورزی، بدون تخریب حاصل‌خیزی خاک و کیفیت محیط زیست می‌باشد. در گذشته چنانچه زمین تخریب می‌شد، انسان می‌توانست به جای دیگری نقل مکان کند، ولی امروزه با افزایش جمعیت این امر غیرممکن شده است. بدین ترتیب گرایش به‌سمت کشاورزی پایدار اجتناب‌ناپذیر است (Altieri, 2008).

هم‌اکنون چالش اصلی در کشاورزی پایدار این است که استفاده از نهاده‌های خارج از اکوسیستم به حداقل کاهش یابد، در حالی که منابع درون اکوسیستم، به نحو بهتر و با راندمان بیشتری مورد استفاده قرار گیرد. برای دستیابی به هدف فوق، باید به دنبال شناخت روش‌های مدیریت زراعی بود که باعث بهبود و یا حفظ تولید در گذر زمان گردد و کمترین خسارت به محیط زیست وارد آید. از جمله این مدیریت‌های زراعی می‌توان به استفاده از گیاهان پوششی، مدیریت تلفیقی آفات و بیماری‌ها، تناوب زراعی، جنگل – زراعی و کشت مخلوط اشاره کرد (Altieri, 2008). کشت مخلوط به‌عنوان یک سیستم تولید محصولات کشاورزی بر پایه تنوع زیستی، قابلیت افزایش پایداری در سیستم‌های کشاورزی را دارد. این سیستم اشاره به الگویی از کشت دارد که با بهره‌گیری از تفاوت آشیان الکولوژیکی گونه‌های گیاهی و یا با فراهم کردن منابع محیطی برای گونه دیگر، سبب اختلاف در نیازهای محیطی در زمان و مکان می‌شود که استفاده بهینه‌تری از محیط رشد را فراهم می‌نماید (Mucheru-Dhima et al., 2007; Muna et al., 2010; Wezel et al., 2014). البته سیستم کشت مخلوط مزایای دیگری همچون کاهش ریسک تولید و خسارات ناشی از آفات، بیماری‌ها، علف‌های هرز، آبشویی عناصر مغذی و هدررفت نیترات و فرسایش خاک داشته و می‌تواند موجب بهبود کارایی مصرف آب و عناصر غذایی شود (Daryanto et al., 2011; Zhang et al., 2020). برخی از محققین معتقدند، یکی از اهداف اصلی و مهم کاربرد سیستم کشت مخلوط در کشاورزی پایدار، کاهش وابستگی به آفت‌کش‌ها توأم با حفظ کیفیت و بازارپسندی محصول می‌باشد (Fernandez-Aparicio et al., 2007).

امروزه، کشت گیاهان دارویی و معطر نه تنها به خاطر کاربرد آن‌ها در تأمین فراورده‌های دارویی و بهداشتی، بلکه به‌دلیل ارزش اقتصادی و درآمدزایی بالای آن‌ها مورد توجه زیادی قرار گرفته است و تقاضا برای خرید مواد اولیه و ترکیبات ثانویه آن‌ها در سطح تجارت ملی و بین‌المللی رشد قابل توجهی یافته است (Sujatha et al., 2011). علاوه‌براین، کشت گیاهان دارویی مزیت‌هایی همچون کاهش ریسک خسارت آفات و بیماری‌ها، بهبود وضعیت خاک‌های تخریب شده و بهره‌برداری از زمین‌های حاشیه‌ای و با کیفیت پایین‌تر، عمر مفید بیشتر فراورده‌های نهایی گیاهان دارویی و ظرفیت ارزآوری آن‌ها را به‌همراه دارد (GOI, 2000; Rao et al., 2000). از طرفی، رویکرد جهانی در تولید گیاهان دارویی به‌سمت استفاده از نظام‌های کشاورزی پایدار و به‌کارگیری روش‌های مدیریتی کارآمد در زراعت این محصولات نظیر کشت مخلوط می‌باشد (Bahador et al., 2014).

پژوهشگران متعددی برتری کشت مخلوط را بر کشت خالص گزارش کرده‌اند، از آن جمله می‌توان به ارزیابی کشت مخلوط گیاه سیر (*Allium sativum*) با گیاهان دارویی اسفرزه، سیاهدانه، زنیان، رازیانه، همیشه بهار و شوید به‌صورت کشت بینابینی به نسبت ۵۰:۵۰ و در مقایسه با تک‌کشتی اشاره نمود که در این تحقیق مشاهده شد، بالاترین مزیت نسبی از لحاظ شاخص مجموع ارزش نسبی در کشت مخلوط سیر و همیشه بهار بوده است (Bahador et al., 2014). در آزمایشی که در زمینه ارزیابی الگوهای مختلف کشت مخلوط جو

1- Sustainable agriculture

(*Hordeum vulgare*) و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) انجام شد، تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد جو + ۵۰ درصد شنبلیله بالاترین مقدار علوفه خشک و بهترین کیفیت علوفه و همچنین، بالاترین مقدار نسبت برابری زمین را حاصل کرد (Ghanbari et al., 2016). در مطالعه‌ای که در آن به بررسی شاخص‌های سودمندی تیمارهای مختلف کشت مخلوط جایگزینی[1] شنبلیله و مرزه (*Satureja hortensis*) پرداخته شد، نسبت برابری زمین[2] تیمارهای کشت مخلوط در محدوده ۱/۱۷ تا ۱/۹۴ قرار داشت که نشان‌دهنده بهره‌وری بالای استفاده از زمین در کشت مخلوط بود. همچنین، الگوهای کشت مخلوط از شاخص بهره‌وری سیستم[3] بالایی برخوردار بودند. شاخص‌های اقتصادی ارزیابی کشت مخلوط نیز بیانگر مزیت این سیستم کشت نسبت به تک‌کشتی بود (Abdi, 2019).

در پژوهشی در ارتباط با مقایسه کشت خالص و کشت مخلوط گیاه جو با زنیان مشخص شد، الگوی کشت مخلوط اثرات مثبت و معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد جو داشته است که این تأثیر مثبت در سیستم کشت مخلوط درهم نسبت به کشت مخلوط ردیفی بیشتر بوده است (Mahdavi Maraj et al., 2015). عباسیان و همکاران (Abbasian et al., 2018) در نتیجه بررسی الگوهای مختلف کشت مخلوط گیاه سیر با نخود فرنگی اظهار داشتند، عملکرد سیر در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط به‌طور معنی‌داری بیشتر بود، درحالی‌که شاخص‌های نسبت برابری زمین و ارزش نسبی کل نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بود. رضایی چیانه و همکاران (Rezaei-Chiyaneh et al., 2016) با مطالعه الگوهای مختلف کشت مخلوط شنبلیله و شوید (*Anethum graveolens*) گزارش کردند عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی شنبلیله در کشت خالص آن نسبت به تیمارهای کشت مخلوط بیشتر بود. نسبت برابری زمین جزئی شنبلیله در تمامی تیمارهای کشت مخلوط از شوید بیشتر بود. همچنین، نسبت برابری زمین کلیه الگوهای کشت مخلوط بیشتر از یک بود.

با توجه به اینکه کشت مخلوط به‌عنوان یک راهبرد اصلی از کشاورزی پایدار از طریق افزایش تنوع زیستی و بهره‌مندی از روابط متقابل و اختلافات مورفولوژیکی و اکوفیزیولوژیکی گونه‌های گیاهی می‌تواند نقش کلیدی در جهت بهبود پایداری تولید و ارتقاء عملکرد کمّی و کیفی محصول، کاهش هزینه‌های تولید و افزایش درآمد خالص مزرعه داشته باشد، بنابراین تحقیق حاضر با هدف ارزیابی نظام‌های کشت مخلوط جهت اهداف متفاوت تولید (جیره دام، منابع غذایی و گیاهان دارویی) و مقایسه زراعی و اقتصادی کشت مخلوط با تک‌کشتی سه گونه متمایز گیاهی جو، شنبلیله و سیر در شرایط اقلیمی شهرستان گناباد صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۶- ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی گناباد، واقع در جنوب استان خراسان رضوی اجرا شد. مکان آزمایش دارای طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۴۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۰۸۵ متر از سطح دریا است. اقلیم منطقه بر اساس تقسیم‌بندی کوپن گرم و خشک می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه منطقه ۱۴۲ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت منطقه ۱۷/۲ درجه سانتی‌گراد است (IRIMO, 2016).

قبل از اقدام به عملیات آماده‌سازی زمین و پیاده کردن نقشه طرح، از نقاط مختلف خاک محل آزمایش نمونه‌هایی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری برداشت شده و پس از تهیه نمونه مرکب خاک، برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه جهاد کشاورزی گناباد ارسال شد که نتایج آن در جدول ۱ آمده است.

1 - Replacement intercropping
2 - Land equivalent ratio
3 - System productivity index

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش
Table 1- Chemical and physical characteristics of experiment soil

بافت Texture	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	کربن آلی Organic C	نیتروژن کل Total N	فسفر قابل‌جذب Absorbable P	پتاسیم قابل‌جذب Absorbable K	هدایت الکتریکی EC	اسیدیته pH
	(%)					(mg.kg^{-1})		(ds.m^{-1})	
لومی- شنی Sandy-loam	5.4	41.2	53.4	0.19	0.019	8	103	4.3	8.2

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد که در آن تیمارهای کشت خالص جو، شنبلیله، و سیر با الگوهای کشت مخلوط به‌صورت: جو + شنبلیله، جو + سیر، شنبلیله + سیر، و جو + شنبلیله + سیر مورد مقایسه قرار گرفتند. تیمارهای کشت مخلوط با استفاده از روش کشت مخلوط سری جایگزینی طراحی شدند.

هر کرت از ۱۰ ردیف کشت به‌طول سه متر با فاصله ۲۵ سانتی-متر از یکدیگر تشکیل شده بود. فاصله بین کرت‌ها یک متر و فاصله بین بلوک‌ها ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه این پژوهش در راستای اهداف کشاورزی پایدار صورت گرفت، در این آزمایش از هیچ کود شیمیایی و سمی در زمان کاشت و سایر مراحل رشد گیاهان استفاده نشد و قبل از کشت مقدار هشت تن در هکتار کمپوست تا عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک محل آزمایش مخلوط شد. عملیات کشت در ۲۰ آبان ماه ۱۳۹۵ و به‌صورت دستی و به‌روش خشکه‌کاری انجام شد، به‌صورتی که گیاه جو رقم ریحان با تراکم ۲۰۰ بوته در مترمربع (Nakhzari Moghaddam, 2012)، شنبلیله توده بومی مشهد با تراکم ۸۰ بوته در مترمربع (Labbafi et al., 2014) و سیر توده سفید همدان با تراکم ۴۰ بوته در مترمربع (Sedaghti et al., 2016) کشت شد. در تیمارهای کشت مخلوط یک ردیف از گیاه اصلی حذف و گونه دیگر با تراکم معین بین ردیف‌های آن جایگزین شد. به عبارت دیگر، در الگوهای کشت مخلوط ردیف‌های کشت به‌صورت یک در میان اجرا شدند. بلافاصله پس از کاشت عملیات آبیاری انجام شد و برای سهولت و یکنواختی سبز شدن، آبیاری دوم پس از سه روز انجام شد. عملیات آبیاری به‌روش سطحی (غرقابی) و در طول دوره رشد بر اساس نیاز به آبیاری تا قبل از رسیدگی فیزیولوژیکی گونه‌های گیاهی صورت گرفت. در طول دوره رشد محصولات، دو مرحله وجین دستی به‌منظور کنترل علف‌های هرز صورت گرفت. آفت و بیماری خاصی نیز در طول دوره رشد در مزرعه مشاهده نشد.

به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد علوفه خشک جو و شنبلیله، برداشت بوته‌ها به‌صورت دستی در مرحله شیری شدن دانه جو (۲۵ فروردین ۱۳۹۶) و مرحله گل‌دهی شنبلیله (۲۰ فروردین ۱۳۹۶) از مساحت ۰/۲۵ مترمربع هر کرت با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای انجام شد. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شده و در دمای ۷۲ درجه سانتی-گراد به‌مدت ۴۸ ساعت در آون خشک شده و سپس با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند. برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته، ۱۰ گیاه به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب شدند.

در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی گیاهان مورد مطالعه، به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد، برداشت جو، سیر و شنبلیله به‌ترتیب در تاریخ‌های ۳۰ خرداد، ۵ تیر و ۲۵ خرداد و به‌روش دستی از سطح یک مترمربع وسط هر کرت انجام شد. سپس، نمونه‌های برداشت شده برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک در دمای اتاق و شرایط سایه تا زمانی که تغییرات وزن طی ۲۴ ساعت مشاهده نگردید، خشک شدند و اندازه‌گیری وزن نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال انجام شد. اندازه‌گیری عملکرد اندام اقتصادی پس از جدا کردن سوخ‌های سیر و دانه جو و شنبلیله از اندام هوایی گیاه، توزین و سپس محاسبه آن بر مبنای کیلوگرم در هکتار صورت گرفت. شاخص برداشت جو از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک محاسبه گردید. وزن هزار دانه جو و شنبلیله از میانگین وزن دو نمونه صد تایی بذر از هر کرت و تعمیم آن به وزن هزار دانه به‌دست آمد. سایر اجزای عملکرد شنبلیله (تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف) و سیر (تعداد برگ در بوته، تعداد سیرچه در سوخ، طول و قطر سیرچه) از ۱۰ نمونه که به‌صورت تصادفی انتخاب شدند اندازه‌گیری شد.

اولین شاخصی که به‌منظور مقایسه مزیت نسبی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص محاسبه شد، شاخص نسبت برابری زمین (LER) بود. نسبت برابری زمین بر اساس سطح زمین زیر کشت محاسبه می‌گردد و توسط آن مشخص می‌شود که برای به‌دست

آوردن مقدار محصولی که از یک هکتار کشت مخلوط حاصل می‌شود، چه مقدار از زمین به‌صورت زراعت تک کشتی مورد نیاز است تا همان مقدار محصول حاصل شود. نسبت برابری زمین از طریق معادله زیر محاسبه شد (Vandermeer, 1992):

معادله (۱)

$$LER_a = \frac{Y_{ai}}{Y_{aa}}$$

$$LER_b = \frac{Y_{bi}}{Y_{bb}}$$

$$LER_c = \frac{Y_{ci}}{Y_{cc}}$$

$$LER_T = LER_a + LER_b + LER_c$$

که در این معادله، LER_a، LER_b، LER_c و LER_T: به‌ترتیب نسبت برابری زمین جزئی گونه a، b و c و نسبت برابری زمین کل می‌باشد. Y_{ai}، Y_{bi} و Y_{ci}: به‌ترتیب عملکرد سه گونه مذکور در کشت مخلوط، و Y_{aa}، Y_{bb} و Y_{cc}: به‌ترتیب عملکرد آن‌ها در کشت خالص (تک‌کشتی) می‌باشد.

به‌منظور بررسی کاهش یا افزایش عملکرد در کشت مخلوط و نیز گیاه غالب و مغلوب از شاخص کاهش عملکرد واقعی (AYL)[1] با استفاده از رابطه زیر استفاده شد (Banik et al., 2000):

معادله (۲)

$$AYL_a = \left[\frac{\left(\frac{Y_{ai}}{Z_{ai}}\right)}{\left(\frac{Y_{aa}}{Z_{aa}}\right)}\right] - 1$$

$$AYL_b = \left[\frac{\left(\frac{Y_{bi}}{Z_{bi}}\right)}{\left(\frac{Y_{bb}}{Z_{bb}}\right)}\right] - 1$$

$$AYL_c = \left[\frac{\left(\frac{Y_{ci}}{Z_{ci}}\right)}{\left(\frac{Y_{cc}}{Z_{cc}}\right)}\right] - 1$$

$$AYL_T = AYL_a + AYL_b + AYL_c$$

که در این معادله، AYL_a، AYL_b، AYL_c و AYL_T: به‌ترتیب کاهش عملکرد واقعی گونه a، b و c و کاهش عملکرد واقعی کل می‌باشد. در روابط بالا، Z_{ai}، Z_{bi} و Z_{ci}: به‌ترتیب سهم سه گونه مذکور در کشت مخلوط، و Z_a، Z_b و Z_c: به‌ترتیب سهم آن‌ها در کشت خالص می‌باشد. این فرمول رفتار هر گونه را در کشت مخلوط و همچنین میزان رقابت بین و درون گونه‌ای را مورد ارزیابی قرار می‌دهد (Banik et al., 2000).

شاخص بهره‌وری سیستم کشت مخلوط (SPI) از معادله زیر تعیین شد (Odo, 1991):

معادله (۳)

$$SPI = \frac{Y_{aa}}{Y_{bb}} \times Y_{bi} + Y_{ai}$$

که در آن، Y_{ai} و Y_{bi}: به‌ترتیب عملکرد محصول اصلی و فرعی و Y_{aa} و Y_{bb}: عملکرد محصول اصلی و فرعی در کشت خالص است. این شاخص یکی از معیارهای ارزیابی اقتصادی کشت مخلوط است که داده‌های آن با استاندارد کردن عملکرد محصول فرعی بر اساس عملکرد محصول اصلی به‌دست می‌آید. بالاتر بودن این شاخص نشان‌دهنده مزیت و سودمندی کشت مخلوط می‌باشد (Agegnehu et al., 2006).

شاخص دیگری که برای تعیین میزان مزیت اقتصادی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص مورد استفاده قرار گرفت، شاخص سودمندی کشت مخلوط (IA)[2] است که از معادله زیر حاصل شد (Vandermeer, 1992):

معادله (۴)

$$IA_a = \left[\left(\frac{P_a}{P_a + P_b}\right) \times AYL_a\right]$$

$$IA_b = \left[\left(\frac{P_b}{P_b + P_a}\right) \times AYL_b\right]$$

$$IA_T = IA_a + IA_b$$

که در آن، IA_a، IA_b و IA_T: به‌ترتیب سودمندی کشت مخلوط گونه a و b و سودمندی کل می‌باشد. همچنین، Pa: قیمت واحد محصول a، و Pb: قیمت واحد محصول b می‌باشد.

یکی دیگر از شاخص‌هایی که جهت ارزیابی اقتصادی کشت مخلوط مورد استفاده قرار گرفت، شاخص ارزش نسبی کل[3] (RVT) است. این شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد

1- Actual yield loss

2- Intercropping advantage

3- Relative value total

(Vandermeer, 1992):

$$PVT = \frac{(P_a \times Y_{ai}) + (P_b \times Y_{bi}) + (P_c \times Y_{ci})}{P_a \times Y_{aa}} \quad \text{معادله (۵)}$$

که در آن، عملکرد گیاهی که بیشتر بوده است در مخرج کسر قرار می‌گیرد. این شاخص نشان‌دهنده نسبت کل درآمد ناخالص کشت مخلوط به بیشترین درآمد ناخالص تک‌کشتی است. در معادله‌های بالا، قیمت جو، سیر و شنبلیله بر اساس نرخ روز خرید در شهرستان گناباد به‌ترتیب ۶۲۰۰ ،۳۱۰۰۰ و ۴۰۰۰۰ تومان در نظر گرفته شده است.

در پایان، برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها داده‌ها نیز توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

جو

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده اثر معنی‌دار تیمارهای آزمایش بر عملکرد علوفه خشک، بیولوژیک و دانه گیاه جو است، درحالی‌که سایر صفات شامل ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و شاخص برداشت تحت تأثیر تیمارهای مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری از نظر آماری نشان ندادند (جدول ۲).

بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین عملکرد علوفه خشک (۸۵۲۳ کیلوگرم در هکتار) در شرایطی حاصل شد که گیاهان جو تحت سیستم کشت خالص قرار داشتند (جدول ۳). پژوهشگران دیگری نیز به بالاتر بودن عملکرد علوفه گیاه جو در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط آن با ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.) (Lamei & Alizadeh, 2012) و رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) (Kiani et al., 2015) اشاره کرده‌اند. کشت مخلوط جو + شنبلیله و جو + سیر با اختلاف ناچیز نسبت به یکدیگر و اختلاف عملکرد حدود ۲۸ درصدی نسبت به کشت خالص در رتبه بعد قرار گرفتند. کمترین عملکرد علوفه خشک اندازه‌گیری شده (۳۱۳۴ کیلوگرم در هکتار) از گیاهانی حاصل شد که در نظام کشت مخلوط سه‌گانه (جو + شنبلیله + سیر) قرار داشتند که کاهش عملکرد ۶۳ درصدی را نشان داد (جدول ۳). کاهش تراکم و در نتیجه، کاهش سطح زمین اشغال شده توسط گیاه جو را می‌توان به‌عنوان عامل اصلی کاهش عملکرد علوفه به‌خصوص در تیمار کشت مخلوط سه‌گانه نسبت داد (Esmaeili et al., 2012).

مقایسه میانگین اثر نظام‌های مختلف کشت مخلوط برای دو صفت عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه نشان داد، بیشترین عملکرد بیولوژیک (۱۴۱۱۱ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد دانه (۳۴۹۴ کیلوگرم در هکتار) از تیمار کشت خالص آن حاصل شد که با توجه به تراکم بالاتر جو در این تیمار در مقایسه با الگوهای کشت مخلوط، این نتیجه دور از انتظار نبود. کمترین مقادیر صفات مذکور (به‌ترتیب ۷۷۱۷ و ۱۷۰۲ کیلوگرم در هکتار) از تیمار کشت مخلوط سه‌گانه به‌دست آمد (جدول ۳). علت نتایج به‌دست آمده را می‌توان به کاهش سطح اشغال شده توسط گیاه جو در تیمارهای کشت مخلوط به‌ویژه کشت مخلوط با دو گیاه دیگر نسبت داد. این نتایج با نتایج منتشر شده در زمینه کشت مخلوط جو و شنبلیله (Ghanbari et al., 2016)، جو و نخود (Hauggaard-Nielsen et al., 2006)، جو و عدس (Schmidtke et al., 2004)، جو و ماشک گل خوشه‌ای (Kahraryan et al., 2018) و جو و لوبیا چشم بلبلی (Hamzei & Seyedi, 2014) مطابقت دارد. میانگین‌های عملکرد کشت مخلوط جو با شنبلیله و همچنین جو با سیر نیز از نظر آماری در یک سطح قرار داشتند، هرچند عملکرد دانه و بیولوژیک جو در کشت مخلوط با سیر اعداد بیشتری را نشان داد (جدول ۳).

شنبلیله

اثر نظام‌های مختلف کشت مخلوط در سطح احتمال پنج درصد بر صفات ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، عملکرد علوفه و دانه شنبلیله معنی‌دار بود و تنها بر وزن هزار دانه این گیاه اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۴).

ارتفاع بوته این گیاه تحت شرایط کشت خالص بیشترین مقدار (۴۶/۹ سانتی‌متر) را به خود اختصاص داد و پس از این تیمار، کشت مخلوط شنبلیله با سیر با ارتفاع ۴۱/۷ سانتی‌متر قرار گرفت، هرچند اختلاف معنی‌داری از نظر آماری بین این دو تیمار به‌دست نیامد. کمترین مقادیر ارتفاع بوته نیز به‌ترتیب از کشت مخلوط سه گانه جو + شنبلیله + سیر و جو + شنبلیله حاصل شد که فاقد اختلاف معنی‌دار آماری بودند (جدول ۵). کاهش ارتفاع بوته شنبلیله در این الگوهای کشت مخلوط احتمالاً به‌دلیل سایه‌اندازی و اثرات رقابتی گیاه جو بوده است. محققین دیگری نیز اظهار داشتند، جو اثر منفی بر رشد نخود در ترکیب کشت مخلوط داشته است (Hauggaard-Nielsen et al., 2006).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده گیاه جو تحت تأثیر الگوهای کشت مخلوط

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of measured traits of barley under the influence of intercropping patterns

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield	ارتفاع بوته Plant height	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	7041713*	307.02*	96.13ns	48123313**	6265118**	45.63ns
الگوی کشت Cropping pattern	3	14593865**	85.95ns	15.17ns	23222131**	1684305*	2.06ns
خطا Error	6	835933	47.16	28.33	33182604	379343	14.49
ضریب تغییرات CV (%)	-	15.3	8.8	16.8	14.1	24.1	16.1

* و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد؛ ns به‌معنای غیرمعنی‌دار می‌باشد

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

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده گیاه جو تحت تأثیر الگوهای کشت مخلوط

Table 3- Mean comparison of measured traits of barley under the influence of intercropping patterns

الگوی کشت Cropping pattern	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)
کشت خالص جو Sole barley	8523a	14111a	3494a
کشت مخلوط جو + شنبلیله Barley + fenugreek intercropping	6109b	9050ab	2331bc
کشت مخلوط جو+ سیر Barley + garlic intercropping	6095b	11081ab	2709b
کشت مخلوط جو + شنبلیله + سیر Barley + garlic + fenugreek intercropping	3134c	2709b	1702c

حروف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون دانکن نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال پنج درصد است

Means followed by similar letters in each column are not significantly at the 5% level of probability based on Duncan's test

مقایسه میانگین داده‌ها نشان‌دهنده برتری کشت خالص گیاه شنبلیله در زمینه صفات تعداد غلاف در بوته (۹/۴ غلاف در بوته) و تعداد دانه در غلاف (۷/۱ دانه در غلاف) می‌باشد، اگرچه اختلاف میانگین‌ها از نظر آماری با کشت مخلوط سیر و شنبلیله معنی‌دار نبود (جدول ۵). پژوهشگران دیگری نتایج متفاوتی در مورد الگوهای کشت خالص و مخلوط دو گیاه جو و ماشک گل خوشه‌ای به‌دست آورده و گزارش کردند صفات تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته در کشت خالص ماشک به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای کشت مخلوط کمتر بود (Asadi & Khorramdel, 2014). این اختلافات در نتایج مؤید این نکته است که انتخاب نوع گیاه همراه و الگو و تراکم کشت می‌تواند تأثیر زیادی بر تغییرات عملکرد و اجزای عملکرد گونه‌های گیاهی در کشت مخلوط داشته باشد.

نتایج این آزمایش نشان داد، بیشترین میزان عملکرد علوفه خشک شنبلیله (۵۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) از تک‌کشتی این گیاه حاصل شد. کشت مخلوط سیر و شنبلیله با ثبت عملکرد ۴۰۹۰ کیلوگرم در هکتار در رتبه بعدی از نظر این صفت قرار گرفت و سیستم‌های کشت مخلوط جو و شنبلیله و مخلوط سه گانه با اختلاف زیاد در رتبه‌های بعد قرار گرفتند (جدول ۵). دلیل اصلی این نتایج در درجه اول کاهش تعداد و تراکم بوته در واحد سطح در سیستم‌های کشت مخلوط و بالطبع کاهش عملکرد ماده خشک ناشی از کمتر

بودن تراکم از میزان بهینه می‌باشد. علت افت قابل توجه این شاخص در کشت مخلوط جو و شنبلیله احتمالاً به قدرت استقرار و رشد اولیه سریع گیاه جو، سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر و توانایی بیشتر جو در جذب آب و عناصر غذایی و در مجموع، رقابت بیشتر و سایه‌اندازی بر گیاه شنبلیله مرتبط است (Bahrani & Kazemeini, 2008). این کاهش عملکرد در سیستم کشت مخلوط سه‌گانه به خاطر کاهش بیشتر تراکم بوته شنبلیله تشدید شده است.

عملکرد دانه شنبلیله در سیستم‌های تک‌کشتی و کشت مخلوط تفاوت معنی‌داری را نشان داد. بالاترین میانگین عملکرد دانه (۱۱۴۵ کیلوگرم در هکتار) از کشت خالص شنبلیله حاصل شد و پس از آن تیمار کشت مخلوط شنبلیله و سیر با میانگین ۵۶۹ کیلوگرم در هکتار قرار گرفت که کاهش ۴۴ درصدی را در مقایسه با کشت خالص نشان داد. کمترین عملکرد دانه شنبلیله (۱۵۶ کیلوگرم در هکتار) نیز متعلق به تیمار کشت مخلوط ترکیب سه گونه مورد مطالعه بود (جدول ۵). از داده‌های جدول بخوبی مشخص است در نظام‌های کشت مخلوط جو در ترکیب با شنبلیله افت عملکرد بسیار چشم‌گیر بوده که نشان‌دهنده غالبیت و قدرت رقابت بالای گیاه جو در مقابل شنبلیله است که دلیل این امر را می‌توان در خصوصیات ویژه مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی دو گیاه جستجو کرد. اغلب پژوهش‌ها گزارش‌دهنده مغلوبیت گونه‌های بقولات نسبت به غیر بقولات است (Shirani et al., 2002; Hamzei, 2012) که در این تحقیق نیز، گیاه جو به‌خاطر خصوصیات مذکور و سرعت استقرار و رشد اولیه بالا از غالبیت بیشتری برخوردار بوده است (Ghanbari et al., 2016). از طرف دیگر، داده‌های جدول ۵ به‌خوبی نشان می‌دهند که عملکرد دانه شنبلیله در سیستم کشت مخلوط با سیر به‌طور محسوسی نسبت به کشت مخلوط با جو بیشتر بوده است که از یافته‌های این آزمایش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که شکل متفاوت سیستم ریشه‌ای و دارا بودن برگ‌های ایستاده سیر که کمترین سایه‌اندازی را بر گیاه شنبلیله داشته منجر به سازگاری بهتر این دو گیاه در کشت مخلوط شده است (Abbasian et al., 2018).

سیر

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به صفات گیاه دارویی سیر گویای اثر معنی‌دار تیمارهای آزمایش بر صفات مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، طول سیرچه، قطر سیرچه، تعداد سیرچه در سوخ و عملکرد سوخ بود (جدول ۶). جدول ۷ به‌خوبی نشان می‌دهد ارتفاع بوته سیر در کرت‌هایی که زراعت این گیاه به‌صورت تک‌کشتی انجام شده بود با ۴۵/۵ سانتی‌متر در مقایسه با نظام‌های کشت مخلوط بیشتر بود، اگرچه از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با حالت کشت مخلوط سیر و شنبلیله نداشت. سایر تیمارهای کشت مخلوط اعداد به مراتب پایین‌تری را نشان دادند که کمترین ارتفاع بوته (۲۸/۷ سانتی‌متر) تحت شرایط کشت مخلوط سه‌گانه حاصل شد.

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده گیاه شنبلیله تحت تأثیر الگوهای کشت مخلوط

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of measured traits of fenugreek under the influence of intercropping patterns

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد غلاف در بوته No. of pod per plant	دانه در غلاف No. of seed per pod	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield	عملکرد دانه Seed yield
تکرار Replication	2	10.96^{ns}	0.58^{ns}	0.16^{ns}	0.03^{ns}	30033^{ns}	156.3^{ns}
الگوی کشت Cropping pattern	3	425.3**	22.37**	15.72**	0.71^{ns}	12996315**	597835**
خطا Error	6	7.48	0.91	0.94	0.28	222339	1535
ضریب تغییرات CV (%)	-	8.0	12.9	17.3	4.3	16.7	7.4

* و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد؛ ns به‌معنای غیر معنی‌دار می‌باشد

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

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده گیاه شنبلیله تحت تأثیر الگوهای کشت مخلوط

Table 5- Mean comparison of measured traits of fenugreek under the influence of intercropping patterns

الگوی کشت Cropping pattern	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد غلاف در بوته No. of pod per plan	تعداد دانه در غلاف No. of seed per pod	عملکرد علوفه خشک Dry forage yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)
کشت خالص شنبلیله Sole fenugreek	46.9[a]	9.4[a]	7.1[a]	5100[a]	1145[a]
کشت مخلوط جو + شنبلیله Barley + fenugreek intercropping	24.3[b]	5.2[b]	3.9[b]	1206[c]	250[c]
کشت مخلوط سیر+ شنبلیله Fenugreek + garlic intercropping	41.7[a]	10.1[a]	8.0[a]	4090[b]	569[b]
کشت مخلوط جو + شنبلیله + سیر Barley + garlic + fenugreek intercropping	23.7[b]	4.9[b]	3.4[b]	928[c]	156[d]

حروف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون دانکن نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال پنج درصد است.

Means followed by similar letters in each column are not significantly at the 5% level of probability based on Duncan's test

واکنش سایر صفات اجزای عملکرد سیر به تیمارهای آزمایش از روند مشابهی برخوردار بود، به‌طوری که بالاترین مقادیر تعداد برگ در بوته (۸/۷)، طول سیرچه (۲۷/۳ میلی‌متر)، قطر سیرچه (۲۲/۳ میلی-متر) و تعداد سیرچه در سیر (۷/۷) از گیاهانی که در شرایط تک‌کشتی قرار داشتند حاصل شد که البته اختلاف معنی‌داری بین این تیمار و تیمار کشت مخلوط شنبلیله و سیر وجود نداشت. کمترین تعداد برگ در بوته (۶/۱)، طول سیرچه (۱۸/۷ میلی‌متر)، قطر سیرچه (۱۲/۸ میلی‌متر) و تعداد سیرچه در سیر (۵/۸) نیز از تیمار کشت مخلوط جو + شنبلیله + سیر به‌دست آمد (جدول ۷). بالاتر بودن اجزای عملکرد سیر در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط و همچنین تفاوت در میانگین‌های اجزای عملکرد در سیستم‌های کشت مخلوط گیاهان مختلف در تحقیق دیگری نیز گزارش شده است (Bahador et al., 2014). کمتر بودن مقدار اجزای عملکرد در کشت مخلوط سه‌گانه می‌تواند مرتبط با پایین بودن قدرت رقابتی گیاه سیر نسبت به گیاهان دیگر در دستیابی به منابع محیطی به‌خصوص نور و سایه‌اندازی گیاه جو بر سیر باشد (Malek Mohamadi, 2011; Bahador et al., 2014).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۷)، عملکرد سوخ تحت شرایط تک‌کشتی بالاترین میزان (۶۴۹۴ کیلوگرم در هکتار) را حاصل کرد. این در حالی است که تیمارهای کشت مخلوط به‌ترتیب شنبلیله + سیر، جو + سیر و جو + شنبلیله + سیر با اختلاف قابل توجهی در رده‌های بعدی از نظر عملکرد سوخ جای گرفتند. محققین دیگری با مقایسه تک‌کشتی و کشت مخلوط سیر با برخی از گیاهان دارویی (اسفرزه، سیاه دانه، زنیان، رازیانه، همیشه بهار و شوید) گزارش کردند کشت خالص سیر نسبت به کشت مخلوط موجب حصول عملکرد سوخ بیشتری شد. محققین دلیل پایین‌تر بودن عملکرد در سیستم‌های کشت مخلوط را علاوه‌بر اثر کاهش ۵۰ درصدی تراکم سیر در این تیمارها، به اثرات رقابتی به‌خصوص سایه‌اندازی گیاهان همراه نسبت دادند که از طریق کاهش فتوسنتز، افت عملکرد سیر را به‌همراه داشته است (Bahador et al., 2014). نتایج آزمایش گویای عملکرد بالاتر سیر در کشت مخلوط با شنبلیله نسبت به کشت مخلوط با جو است که نشان‌دهنده سازگاری بهتر دو گیاه و شدت کمتر رقابت برون گونه‌ای سیر و شنبلیله و حتی اثرات مکملی و تسهیل‌کننده شنبلیله برای گیاه سیر بوده است (Rahimi et al., 2003).

نسبت برابری زمین

نسبت برابری زمین شاخص مهمی جهت ارزیابی کارایی کشت مخلوط و میزان افزایش بهره‌وری از زمین می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده اختلاف در نظام‌های کشت مخلوط از نظر این شاخص است. همان‌طور که داده‌های جدول ۸ نشان می‌دهند، بیشترین مقدار نسبت برابری زمین جزئی (۰/۷۹) متعلق به گیاه جو در کشت مخلوط با شنبلیله بود. درحالی‌که کمترین عدد (۰/۱۴) از گیاه دارویی شنبلیله در سیستم کشت سه‌گانه حاصل شد. از داده‌های جدول مشخص است که نسبت برابری زمین جزئی برای گیاه جو در تمامی ترکیبات کشت مخلوط به نسبت بالا بوده که معرف سازگاری بهتر و تأثیرپذیری مثبت بیشتر این گیاه از الگوی کشت مخلوط است (Rezaei-Chiyaneh et al., 2019).

جدول ٦- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده گیاه سیر تحت تأثیر الگوهای کشت مخلوط

Table 6- Analysis of variance (mean of squares) of measured traits of garlic under the influence of intercropping patterns

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی D.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد برگ در بوته No. of leaf per plant	طول سیرچه Clove length	قطر سیرچه Clove diameter	تعداد سیرچه در بوته No. of clove per plant	عملکرد سوخ Bulb yield
تکرار Replication	2	69.8^{ns}	1.04^{ns}	4.08^{ns}	14.43^{ns}	0.01^{ns}	671607^{ns}
الگوی کشت Cropping pattern	3	410.8*	6.30**	59.88**	75.8*	4.77**	14474302**
خطا Error	6	24.8	0.35	2.31	13.44	0.87	182040
ضریب تغییرات CV (%)	-	12.9	8.2	6.6	21.6	8.9	12.5

* و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد؛ ns به‌معنای غیر معنی‌دار می‌باشد

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

جدول ۷- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده گیاه سیر تحت تأثیر الگوهای کشت مخلوط

Table 7- Mean comparison of measured traits of garlic under the influence of intercropping patterns

الگوی کشت Cropping pattern	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ در بوته No. of leaf per plant	طول سیرچه Clove length (mm)	قطر سیرچه Clove diameter (mm)	تعداد سیرچه در بوته No. of clove per plant	عملکرد سوخ Bulb yield (kg.ha^{-1})
کشت خالص سیر Sole garlic	45.5^{a}	8.7^{a}	27.3^{a}	22.3^{a}	7.7^{a}	6494^{a}
کشت مخلوط جو + سیر Barley + garlic intercropping	29.4^{b}	5.7^{b}	19.3^{b}	12.5^{b}	5.9^{b}	2372^{c}
کشت مخلوط سیر+ شنبلیله Fenugreek + garlic intercropping	40.9^{a}	8.1^{a}	26.0^{a}	20.1^{a}	8.3^{a}	3381^{b}
کشت مخلوط جو + شنبلیله + سیر Barley + garlic + fenugreek intercropping	28.7^{ab}	6.1^{b}	18.7^{b}	12.8^{b}	5.8^{b}	1439^{d}

حروف مشابه در هر ستون، بر اساس آزمون دانکن نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال پنج درصد است

Means followed by similar letters in each column are not significantly at the 5% level of probability based on Duncan's test

از طرف دیگر، اعداد پایین‌تر نسبت برابری زمین جزئی در مورد سایر گونه‌های گیاهی در این الگوهای مختلف کاشت نشان می‌دهد که گونه جو به‌دلیل سرعت رشد بیشتر خصوصاً در ابتدای دوره رشد (Sadeghpour et al., 2013)، ارتفاع بالاتر (Hauggaard-Nielsen et al., 2006) و همچنین کارآیی بیشتر در جذب منابع (Sadeghpour et al., 2013) اثر غالبیت بر گونه دیگر داشته است.

محاسبه نسبت برابری زمین کل نشان داد، این شاخص در اثر اجرای کشت مخلوط جو + سیر از بیشترین میزان (۱/۱۶) در بین سایر سیستم‌های کشت مخلوط برخوردار بود (جدول ۸). علت نتیجه به‌دست آمده می‌تواند مربوط به استفاده بهتر اجزای کشت مخلوط از منابع محیطی مانند نور، آب و مواد غذایی و همچنین اثرات برهم‌کنشی و تسهیل‌سازی، به‌علاوه تداخل و رقابت بین گونه‌ای کمتر نسبت به رقابت درون گونه‌ای باشد (Rezaei-Chiyaneh et al., 2019). محققین دیگری نیز، اختلافات مورفولوژیکی گونه‌های در ترکیب کشت مخلوط و در نتیجه، ایجاد اشکوب‌های مختلف و استفاده مکملی از منابع، بهره‌برداری بهتر از نور و یا افق‌های خاک را در بیشتر شدن نسبت برابری زمین از عدد یک از دلایل عمده مزیت کشت مخلوط برشمرده‌اند (Javanmard et al., 2019). در نتیجه

تحقیقی در مورد نسبت‌های مختلف کشت مخلوط سیر و نخود فرنگی گزارش شد، نسبت برابری زمین در تمام حالات کشت مخلوط بیشتر از یک بوده است (Abbasian et al., 2018).

بر اساس نتایج آزمایش (جدول ۸)، نسبت برابر زمین کل در مورد دو سیستم کشت مخلوط جو + شنبلیله و جو + شنبلیله + سیر به‌ترتیب برابر ۰/۸۶ و ۰/۸۴ بود که با توجه به اینکه اعداد کمتر از ۱ حاصل شد، گویای عدم برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص از نظر این شاخص بود. افت این شاخص احتمالاً مرتبط با عملکرد نسبی پایین‌تر اجزای در ترکیب با جو به‌دلیل واکنش‌های رقابتی و غالبیت جو به‌خصوص تداخلات ریشه‌ای و سایه‌اندازی این گیاه بر گیاه همراه است (Mashhadi et al., 2015).

جدول ۸- نسبت برابری زمین (LER) الگوهای کشت مخلوط

Table 8- Land equivalent ratio (LER) of intercropping patterns

الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern	LER_b	LER_f	LER_g	LER
کشت مخلوط جو + شنبلیله Barley + fenugreek intercropping	0.64	0.22	-	0.86
کشت مخلوط جو + سیر Barley + garlic intercropping	0.79	-	0.37	1.16
کشت مخلوط سیر+ شنبلیله Fenugreek + garlic intercropping	-	0.50	0.52	1.02
کشت مخلوط جو + شنبلیله + سیر Barley + garlic + fenugreek intercropping	0.48	0.14	0.22	0.84

LER_b، LER_f و LER_g: به‌ترتیب نسبت برابری زمین جزئی جو، شنبلیله و سیر

LER_b, LER_f, and LER_g: Partial and equivalent ratios of barley, fenugreek, and garlic, respectively.

کاهش واقعی عملکرد

بررسی کاهش واقعی عملکرد (AYL) در بین تیمارهای کشت مخلوط نشان‌دهنده مثبت بودن آن در تمام نظام‌های کشت مخلوط گیاه جو بود. بالاترین عدد (۰/۵۷) از تیمار کشت مخلوط جو و شنبلیله حاصل شد (جدول ۹). محققین دیگری نیز به اعداد مثبت این شاخص در مورد کشت مخلوط گیاهان خانواده گندمیان با سایر گونه‌های گیاهی اشاره کرده‌اند (Nakhzari Banik et al., 2006; Moghaddam, 2016). درحالی‌که این شاخص در مورد کلیه حالات کشت مخلوط در گیاه شنبلیله منفی بود که البته عدد منفی آن در کشت مخلوط شنبلیله و سیر (۰/۰۱-) قابل چشم پوشی است. همان‌طور که در جدول ۹ مشخص است، بالاترین عدد منفی (۰/۵۹-) برای شنبلیله در نتیجه کشت مخلوط سه گونه گیاهی به‌دست آمد که به‌نوعی نشان می‌دهد، دو گیاه دیگر (به‌خصوص جو) برای استفاده از منابع محیطی و همچنین اشغال فضا با این گیاه با شدت بالایی رقابت کرده‌اند (Koocheki et al., 2009). شاخص مذکور برای گیاه دارویی سیر در کشت مخلوط سیر و شنبلیله مثبت و برای دو الگوی کشت مخلوط جو + سیر و جو + شنبلیله + سیر منفی بود که بالاترین عدد منفی (۰/۳۳-) از سیستم کشت مخلوط جو + شنبلیله + سیر حاصل شد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، شاخص AYL رفتار گونه و رقابت بین گونه‌ای را به‌خوبی نشان می‌دهد. نتایج به‌دست آمده، بیانگر این واقعیت است که گیاه جو به‌عنوان یک گونه از خانواده گندمیان در نظام‌های کشت مخلوط مورد بررسی خود را به‌عنوان یک گیاه رقابت‌کننده و غالب نشان داده است (Mashhadi et al., 2015). این درحالی است که اعداد به‌دست آمده در ارتباط با کشت مخلوط شنبلیله و سیر و در مورد هر دو گیاه نزدیک به صفر بود که نشان می‌دهد دو گیاه، غالبیت و چیرگی نسبت به یکدیگر در این سیستم کشت مخلوط نداشته‌اند (جدول ۹).

بررسی شاخص کل نیز نشان‌دهنده افزایش واقعی عملکرد در سیستم کشت مخلوط جو + سیر و سیر + شنبلیله و افت واقعی عملکرد در سیستم کشت مخلوط جو + شنبلیله و جو + سیر + شنبلیله است. بهترین نتیجه (۰/۳۰) از کشت مخلوط جو + سیر و نامطلوب‌ترین حالت از نظر شاخص مذکور (۰/۴۸-) از سیستم کشت مخلوط سه‌گانه حاصل شد (جدول ۹).

جدول ۹- کاهش واقعی عملکرد (AYL) الگوهای کشت مخلوط

Table 9- Actual yield loss (AYL) of intercropping patterns

الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern	AYL_b	AYL_f	AYL_g	AYL
کشت مخلوط جو + شنبلیله Barley + fenugreek intercropping	0.27	-0.56	-	-0.29
کشت مخلوط جو + سیر Barley + garlic intercropping	0.57	-	-0.27	0.30
کشت مخلوط سیر+ شنبلیله Fenugreek + garlic intercropping	-	-0.01	0.04	0.03
کشت مخلوط جو + شنبلیله + سیر Barley + garlic + fenugreek intercropping	0.44	-0.59	-0.33	-0.48

AYL_b، AYL_f و AYL_g: به‌ترتیب کاهش واقعی عملکرد جو، شنبلیله و سیر

AYL_b, AYL_f, and AYL_g: Actual yield loss of barley, fenugreek, and garlic, respectively

شاخص بهره‌وری سیستم

نتایج شاخص SPI در سیستم‌های مختلف کشت مخلوط در جدول ۱۰ آورده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بهترین نتایج بهره‌وری سیستم کشت مخلوط از الگوی کشت مخلوط جو و سیر حاصل شد و بالاترین عدد این شاخص (۸۴۱۴) مربوط به حالتی بود که گیاه سیر به‌عنوان محصول اصلی و جو محصول فرعی در نظر گرفته شد. بعد از این ترکیب نیز کشت مخلوط سیر و شنبلیله با شرایط کشت سیر به‌عنوان گیاه اصلی با عدد ۶۶۰۵ قرار گرفت که نشان می‌دهد در سیستم‌های کشت مخلوطی که گیاه سیر به‌عنوان گیاه اصلی در نظر گرفته شده است، مقدار شاخص مذکور افزایش قابل توجهی داشته است که بیانگر افزایش کارایی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است. در نتیجه، آزمایشی که در مورد بهره‌وری زراعی و اقتصادی سیستم‌های کشت مخلوط ذرت با باقلا، سیر و پیاز انجام شد، بیشترین شاخص بهره‌وری سیستم در نتیجه کشت مخلوط ذرت و پیاز حاصل شد. نگارندگان اظهار داشتند، این شاخص نشان‌دهنده کارایی و بهره‌وری بیشتر ترکیب گونه‌های گیاهی در استفاده از منابع محیطی و پایداری بیشتر عملکرد است (Hargilas & Ameta, 2015). بر اساس نتایج آزمایش (جدول ۱۰)، کمترین اعداد به‌دست آمده (به‌ترتیب ۱۰۱۴ و ۱۱۶۵) مربوط به کشت مخلوط شنبلیله + جو و کشت مخلوط شنبلیله + سیر بوده است که نشان داد وقتی گیاه شنبلیله در ترکیب کشت مخلوط به‌عنوان گیاه اصلی قرار گرفته است، مقدار شاخص بهره‌وری سیستم کشت مخلوط افت داشته است. در نتیجه تحقیقی که به بررسی شاخص‌های مزیت نسبی در الگوهای مختلف کشت مخلوط جو و شنبلیله پرداخته شد، گزارش گردید بیشترین اعداد شاخص بهره‌وری سیستم از الگوهای کاشت با نسبت بیشتر جو در مقایسه با شنبلیله حاصل شد و برعکس، در ترکیباتی که نسبت شنبلیله افزایش داشت این شاخص کاهش محسوسی را نشان داد (Ghanbari et al., 2016).

جدول ۱۰- شاخص بهره‌وری سیستم (SPI) الگوهای کشت مخلوط

Table 10- System productivity index (SPI) of intercropping patterns

الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern	گیاه اصلی Main plant		
	جو Barley	شنبلیله Fenugreek	سیر Garlic
کشت مخلوط جو + شنبلیله Barley + fenugreek intercropping	3095	1014	-
کشت مخلوط جو + سیر Barley + garlic intercropping	3607	-	8414
کشت مخلوط سیر+ شنبلیله Fenugreek + garlic intercropping	-	1165	6605

شاخص سودمندی کشت مخلوط و ارزش نسبی کل

شاخص سودمندی محاسبه شده برای گیاه جو در تمام نظام‌های کشت مخلوط با دو گیاه شنبلیله و سیر مثبت بود که مشخص‌کننده مزیت اقتصادی و برتری کشت مخلوط جو نسبت به کشت خالص آن از نظر این شاخص است. این درحالی است که شاخص مذکور برای شنبلیله و سیر در ترکیب با جو اعداد منفی را نشان داد که گویای عدم سودمندی کشت مخلوط این گیاهان با جو از نظر اقتصادی بوده است (جدول ۱۱). مثبت بودن این شاخص برای جو و منفی بودن آن برای جزء دیگر (لگوم) توسط محققین دیگری نیز گزارش شده است (Yilmaz et al., 2008; Nakhzari Moghaddam, 2016).

محاسبه شاخص سودمندی کل کشت مخلوط (جدول ۱۱) نشان‌دهنده اعداد منفی و عدم سودمندی اقتصادی سیستم‌های کشت مخلوط جو + شنبلیله، جو + سیر و جو + شنبلیله + سیر بود. کمترین مقادیر (۰/۴۵-) از کشت مخلوط جو و شنبلیله حاصل شد که می‌تواند به‌دلیل اختلاف قیمت زیاد این دو محصول، اختلاف قابل توجه در عملکرد تک‌کشتی و کشت مخلوط شنبلیله و همچنین غالبیت گیاه جو و رقابت بین گونه‌ای بالای آن باشد (Aasim et al., 2008; Sadri et al., 2015). درحالی‌که شاخص سودمندی سیستم کشت مخلوط سیر + شنبلیله مثبت شد که بیانگر منفعت اقتصادی بیشتر کشت مخلوط دو گیاه مذکور نسبت به کشت خالص آن‌ها است. در مطالعه‌ای روی بررسی شاخص‌های مزیت اقتصادی کشت مخلوط سیر با شش گیاه دارویی، بهترین اعداد شاخص سودمندی از کشت مخلوط این گیاه به‌ترتیب با اسفرزه، همیشه بهار و رازیانه حاصل شد (Bahador et al., 2014).

نتایج به‌دست آمده در مورد ارزش نسبی کل کشت مخلوط در مقایسه با شاخص سودمندی کشت مخلوط متفاوت بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده (جدول ۱۱)، بهترین نتیجه از نظام کشت مخلوط جو و شنبلیله به‌دست آمد که باعث افزایش ۱۳ درصدی درآمد ناخالص مزرعه شده بود. دلیل این امر را می‌توان به افزایش عملکرد کل این دو محصول در کشت مخلوط، عملکرد نسبی بالای جو در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص و نرخ بالای قیمت شنبلیله نسبت داد (Javanmard et al., 2014). برتری شاخص ارزش نسبی کل برای کشت مخلوط جایگزینی مرزه و شنبلیله (Abdi, 2019) و افزایشی جو و ماشک گل خوشه‌ای (Ahmadi et al., 2010) در تحقیقات دیگری گزارش شده است. از طرف دیگر، سایر تیمارهای کشت مخلوط اعداد کمتر از یک را نشان دادند که بیانگر عدم سودمندی اقتصادی این سیستم‌های کشت مخلوط از نظر شاخص مذکور است (جدول ۱۱). محققین دیگری اعداد کمتر از یک را که نشان‌دهنده عدم برتری کشت مخلوط رازیانه و شنبلیله است در سری‌های جایگزینی نظام کشت مخلوط گزارش کردند. امّا سری افزایشی این سیستم کاشت اعداد بالاتر از یک را به‌دست آورد (Sadri et al., 2015).

جدول ۱۱- شاخص سودمندی کشت مخلوط (IA) و ارزش نسبی کل (RVT) در الگوهای کشت مخلوط

Table 11- Intercropping advantage (IA) and relative value total (RVT) in intercropping patterns

الگوی کشت مخلوط Intercropping pattern	IA_b	IA_f	IA_g	IA	RVT
کشت مخلوط جو + شنبلیله Barley + fenugreek intercropping	0.04	-0.49	-	-0.45	1.13
کشت مخلوط جو + سیر Barley + garlic intercropping	0.10	-	-0.22	-0.12	0.45
کشت مخلوط سیر+ شنبلیله Fenugreek + garlic intercropping	-	0.00	0.02	0.02	0.63
کشت مخلوط جو + شنبلیله + سیر Barley + garlic + fenugreek intercropping	0.04	-0.31	-0.14	-0.41	0.31

IA_b، IA_f و IA_g: به‌ترتیب سودمندی کشت مخلوط جو، شنبلیله و سیر

IA_b, IA_f, and IA_g: intercropping advantage of barley, fenugreek, and garlic, respectively

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، اگرچه عملکرد گونه‌های گیاهی مورد مطالعه در الگوهای کشت مخلوط نسبت به کشت خالص هر گیاه پایین‌تر بود (که دلیل اصلی آن کاهش تراکم و سطح اشغال شده هر گونه در ترکیب کشت مخلوط بود)، امّا شاخص‌های ارزیابی مزیت کشت مخلوط نشان‌دهنده سودمندی این سیستم کشت نسبت به کشت خالص بود. بالاترین نسبت برابری زمین و بیشترین افزایش واقعی عملکرد از کشت مخلوط جو + سیر حاصل شد. در الگوهای کشتی که

سیر در ترکیب کشت مخلوط قرار گرفته بود، شاخص بهره‌وری سیستم افزایش یافت که در بین تیمارها، کشت مخلوط جو + سیر از بالاترین عدد برخوردار بود. محاسبه شاخص‌های اقتصادی ارزیابی کشت مخلوط مشخص کرد، بالاترین سودمندی کشت مخلوط از تیمار کشت مخلوط سیر + شنبلیله و بیشترین ارزش نسبی کل از تیمار کشت مخلوط جو + شنبلیله حاصل شد. یافته‌های این تحقیق مشخص کرد، اجرای کشت مخلوط راهکار مناسبی در جهت بهبود راندمان استفاده از منابع محیطی و افزایش سودمندی اقتصادی سیستم کشت است که در مجموع، نظام‌های کشت مخلوط جو + سیر و جو + شنبلیله نسبت به سایر الگوهای کشت در منطقه محل آزمایش برتری دارد.

References

Aasim, M., Umer, E.M., and Karim, A., 2008. Yield and competition indices of intercropping cotton (*Gossypium hirsutum* L.) using different planting patterns. Tarim Bilimleri Dergisi 14(4): 326-333. https://doi.org/10.1501/Tarimbil_0000001048

Abbasian, A., Nakhzari Moghaddam, A., Pirdashti, H., and Gholamalipour Alamdari, E., 2018. Evaluation the characteristics of additive and replacement series of garlic (*Allium sativum* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) intercropping in Gonbad Kavoos and Sari regions. Journal of Plant Production Research 25(1): 101-117. (In Persian with English Summary). https://dx.doi.org/10.22069/jopp.2017.12254.2110

Abdi, S., 2019. Evaluation of yield, essential oil percentage, and advantage indices in fenugreek and savory intercropping ratios. Crops Improvement 21(1): 75-92. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22059/jci.2019.268917.2110

Agegnehu, G., Ghizaw, A., and Sinebo, W., 2006. Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. European Journal of Agronomy 25: 202-207. https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.05.002

Ahmadi, A., Dabbagh Mohammdi Nasab, A., Zehtab Salmasi, S., Amini, R., and Janmohammadi, H., 2010. Evaluation of yield and advantage indices in barley and vetch intercropping. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 20(4): 77-87. (In Persian with English Summary). https://dorl.net/dor/20.1001.1.24764310.1389.20.4.7.4

Altieri, M.A., 2008. Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture. West View Press, Inc, 448 pp.

Asadi, G.A., and Khorramdel, S., 2014. The Effect of mixed crop mixed ratios on crop variety and weed and yield. Crop Production 7(1): 131-156. (In Persian with English Summary). https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1393.7.1.8.1

Bahador, M., Abdali-Mashhadi, A., Koochekzade, A., Lotfi, A., and Yousefian, H., 2014. Evaluation of intercropping of garlic (*Allium sativum* L.) with some medicinal plants in Ahvaz climatic conditions. Journal of Agroecology 6(3): 488-494. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/jag.v6i3.21005

Bahrani, M.J., and Kazemeini, S.A., 2008. Forage yield, botanical composition and adaptation of some forage grasses and legumes in mono and dual cultures (*Binary combinations*). Iranian Journal of Field Crop Science 39(1): 203-210. (In Persian with English Summary). https://dorl.net/dor/20.1001.1.20084811.1387.39.1.20.5

Banik, P., Sasmal, T., and Ghosal, P.K., 2000. Evaluation of mustard (*Brassica compestris* Var. Toria) and legume intercropping under 1:1 and 2:1 row-replacement series systems. Journal of Agronomy and Crop Science 185: 9-14. https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2000.00388.x

Banik, P., Midya, A., Sarkar, B.K., and Ghose, S.S., 2006. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. European Journal of Agronomy 24: 325-332. https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.10.010

Daryanto, S., Fu, B., Zhao, W., Wang, S., Jacinthe, P.A., and Wang, L., 2020. Ecosystem service provision of grain legume and cereal intercropping in Africa. Agricultural System 178: 102761. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102761

Dhima, K.V., Lithourgidis, A.S., Vasilakoglou, I.B., and Dordas, C.A., 2007. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. Field Crops Research 100: 249-256. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.07.008

Esmaeili, A., Hossein, M.B., Mohammadi, M., and Hosseinikhah, F.S., 2012. Evaluation of grain yield, dry matter production and some of the forage and silage quality properties in annual medic (*Medicago scutellata*) and spring barley (*Hordeum vulgare*) intercropping. Seed and Plant Production Journal 28(3): 277-296. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110476

Ghanbari, S., Moradi Telavat, M., and Siadat, S.A., 2016. Evaluation of competitive indices in barley intercropped with fenugreek under manure applications. Journal of Crop Improvement 18(4): 821-834. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22059/jci.2017.56654

GOI., 2000. Report of the Taskforce on Medicinal Plants in India. Planning Commission, Government of India, Yojana Bhawan, New Delhi, India, 194 pp.

Fernandez-Aparicio, M., Sillero, J.C., and Rubials, D., 2007. Intercropping with cereals reduces infection be *Orobanche crenata* in legumes. Crop Protection 26: 1166-1172. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.10.012

Hamzei, J., 2012. Performance evaluation index SPAD, land use efficiency and productivity index barley (*Hordeum vulgar*) and bitter vetch (*Vicia errilia*) intercropping system. Journal of Crop Production and Processing 2(4): 79-91. (In Persian with English Summary). http://dorl.net/dor/20.1001.1.22518517.1391.2.4.7.3

Hamzei, J., and Seyedi, M., 2013. Evaluation of mixed cultivation of chickpea and barley using mixtures crop efficiency indices under conditions of competition with weeds. Journal of Agronomy Sciences 5(9): 10-12. (In Persian with English Summary)

Hargilas, M., and Ameta, G.S., 2015. Production potential and advantages of winter maize based intercropping systems in Humid Southern Rajasthan. Green Farming 6(2): 323-326.

Hauggaard-Nielsen, H., Andersena, M.K., Jornsgaard, B., and Jensen, E.S., 2006. Density and relative frequency effects on competitive interactions and resource use in pea-barley intercrops. Field Crops Research 95(2-3): 256-267. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.03.003

Hong, Y., Berentsenc, P., Heerinkb, N., Shid, M., and Van Der Werfe, W., 2019. The future of intercropping under growing resource scarcity and declining grain prices- A model analysis based on a case study in Northwest China. Agricultural Systems 176: 102661. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102661

IRIMO., 2016. Statistical information of Gonabad synoptic station, https://www.irimo.ir.

Javanmard, A., Amani Machiani, M., and Eskandari, H., 2019. Evaluation of forage quantity and quality of barley (*Hordeum vulgare* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) intercropping system in Maragheh rainfed conditions. Journal of Agroecology 11(2): 435-452. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.65105

Javanmard, A., Arzheh, J., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., and Ezan, T., 2014. Evaluation of different intercropping patterns of forage sorghum (*Sorghum bicolor*) and vetch (*Vicia villosa*) different nitrogen fertilizer levels. Research in Field Crops 2(2): 1-20. (In Persian with English Summary)

Kahraryan, B., Farahvash, F., Mohammadi, S., Mirshekari, B., and Rashidi, V., 2018. Evaluation of barley (*Hordeum vulgare* L.) and vetch (*Vicia villosa* Roth) intercropping. Journal of Crop Ecophysiology 12(4): 651-670. (In Persian with English Summary)

Kiani, S., Moradi Telavat, M.R., Siadat, S.A., Abdali Mashhadi, A.R., and Sari, M., 2015. Evaluation of qualitative and quantitative of forage yield in intercropping of barley and fennel at different levels of nitrogen. Journal of Crop Improvement 16(4): 973-986. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22059/jci.2015.53591

Koocheki, A., Najibnia, S., and Lalegani, B., 2009. Evaluation of saffron yield (*Crocus sativus* L.) in intercropping with cereals, pulses and medicinal plants. Iranian Journal of Agronomy Researches 7(1): 173-182. (In Persian with English Summary). https://dorl.net/dor/20.1001.1.20081472.1388.7.1.18.6

Labbafi, M.R., Naghdi Badi, H., Zand, E., Qaderi, A., Noormohammadi, G., Khalaj, H., and Mehrafarin, A., 2014. Determination of yield components of trigonelline in fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) seed based on path analysis and regression. Iranian Journal of Medicinal Plants 13(2): 144-155. (In Persian with English Summary). http://dorl.net/dor/20.1001.1.2717204.2014.13.50.14.2

Lamei, J., and Alizadeh, K., 2012. The selection of most suitable combination in mixed cropping of hairy vetch with barley or triticale under Zanjan rainfed conditions. Iranian Journal of Dryland Agriculture 1(1): 17-39. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22092/idaj.2012.100094

Mahdavi Maraj, T., Ghanbari, A., and Asghari Pour, M.R., 2015. Intercropping of barley and ajwain under different levels of manure and chemical fertilizers. Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology 1(4): 63-78. (In Persian with English Summary). http://arpe.gonbad.ac.ir/article-1-168-en.html

Malek Mohammadi, M., 2011. Evaluation effect of different mulch on quantity and quality yield of garlic populations. M.Sc. Dissertation, Faculty of Agriculture, Ramin Agriculture and Natural Resources University, Ahwaz, Iran. (In Persian with English Summary)

Mashhadi, T., Nakhzari Moghaddam, A., and Sabouri, H., 2015. Investigation of competition indices in intercropping of wheat (*Triticum aestivum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) under nitrogen consumption. Journal of Agroecology 7(3): 344-355. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/jag.v7i3.26662

Mucheru-Muna, M., Pypers, P., Mugendi, D., Kung'u, J., Mugwe, J., Merckx, R., and Vanlauwe, B., 2010. A suggested maize-legume intercrop arrangement robustly increases crop yield and economic returns in the highlands of Central Kenya. Field Crops Research 115: 132-139. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.10.013

Nakhzari Moghaddam, A., 2012. The yield and forage quality of intercropping barley and mustard in different planting dates. Journal of Crop Production 5(4): 173-189. (In Persian with English Summary). https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1391.5.4.10.5

Nakhzari Moghaddam, A., 2016. Effect of nitrogen and different intercropping arrangements of barley (*Hordeum vulgare* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) on forage yield and competitive indices. Journal of Agroecology 8(1): 47-58. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/jag.v8i1.12534

Odo, P.E., 1991. Evaluation of short and tall sorghum varieties in mixtures with cowpea in the Sudan savanna of Nigeria: Land equivalent ratio, grain yield and system productivity index. Experimental Agriculture 27: 435-441. https://doi.org/10.1017/S0014479700019426

Rahimi, M.M., Mazaheri, D., Khodabande, N., and Heidary, H., 2003. Product evaluation in corn and soybean intercropping in Arsanjan area. Agricultural Science 9(3): 109-126. (In Persian with English Summary)

Rao, E.V.S.P., Puttanna, K., Rao, R.S.G., and Kumar, S., 2000. Prospect of commercial mediculture and recent advances in agrotechnologies of aromatic plants in south India. Journal of Medicinal and Aromatic Plant Science 22(1): 207-213.

Rao2004, M.R., Palada, M.C., and Becker, B.N., 2004. Medicinal and aromatic plants in agroforestry systems. Agroforestry Systems 61: 107-122. https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000028993.83007.4b

Rezaei-Chiyaneh, E., Tajbakhsh, M., Jamali, M., and Ghiyasi, M., 2016. Evaluation of yield and indices advantages at different intercropping patterns of dill (*Anethun graveolens* L.) and fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). Plant Production Technology 8(1): 15-27. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22084/ppt.2016.1752

Rezaei-Chiyaneh, E., Rasouli, Y., Jalilian, J., and Ghodsi, M., 2019. Evaluation of quantitative and qualitative yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) in intercropping affected by biological and chemical fertilizers in supplemental irrigation condition. Journal of Agroecology 11(1): 69-85. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22067/jag.v11i1.71201

Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Esmaeili, A., Hosseini, M.B., and Hashemi, M., 2013. Forage yield, quality and economic benefit of intercropped barley and annual medic in semi-arid conditions: Additive series. Field Crops Research 148: 43-48. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.03.021

Sadri, S., Poor Yousef, M., and Soleimani, A., 2015. Evaluation of yield, essential oil and productivity indices in fennel and fenugreek intercropping. Journal of Crop Improvement 16(4): 921-932. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22059/jci.2015.53586

Schmidtke, K., Neumann, A., Hof, C., and Rauber, R., 2004. Soil and atmospheric nitrogen uptake by lentil (*Lens culinaris* Medik.) and barley (*Hordeum vulgare* ssp. *nudum* L.) as monocrops and intercrops. Field Crops Research 87(2-3): 245-256. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.11.006

Sedaghati. A.R., Kafi, M., Rezvan Bidokhti, S., and Akbari, S., 2016. Effects of planting date and density on yield and yield components and allicin content of two garlic (*Allium sativum* L.) ecotypes. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 31(6): 1024-1034. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2016.105891

Shirani, H., Hajabasi, M.A., Afyuni, M., and Hemmat, A., 2002. Effect of farmyard manure and tillage system on soil physical properties and corn yield in central Iran. Soil and Tillage Research 68: 101-108. https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00110-1

Sujatha, S., Bhat, R., Kannan, C., and Balasimha, D., 2011. Impact of intercropping of medicinal and aromatic plants with organic farming approach on resource use efficiency in arecanut (*Areca catechu* L.) plantation in India. Industrial Crops and Products 33: 78-83. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.09.001

Vandermeer, J.H., 1992. The Ecology of Intercropping. Cambridge University Press, New York, USA, 273 pp.

Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J.V., Ferrer, A., and Peigné, A., 2014. Agroecological practices for sustainable agriculture: A review. Agronomy for Sustainable Development 34: 1-20. https://doi.org/10.1007/s13593-013-0180-7

Yilmaz, S., Atak, M., and Erayman, M., 2008. Identification of advantages of maize legume intercropping over solitary cropping through competition indices in the east Mediterranean region. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 32: 111-119.

Zhang, L., Wang, G., Zhang, E., Zhang, B., He, C., Wang, Q., Qiang, S., and Huang, G., 2011. Effect of phosphorus application and strip intercropping on yield and some wheat-grain components in a wheat/maize/potato intercropping system. African Journal of Agricultural Research 6(27): 5860-5869. https://doi.org/10.5897/AJAR11.1118

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

Research Article
Vol. 14, No. 3, Fall 2022, p. 485-507

Effects of Nitroxin Biofertilizer on Morpho-Physiological Characteristics of Blackseed (*Nigella sativa* L.) Ecotypes under Drought Stress

Z. Saydi[1], N. Abbasi[2*], M.J. Zarea[3] and B. Zarei[4]

Received: 02-08-2020
Revised: 30-05-2021
Accepted: 01-06-2021
Available Online: 13-12-2022

How to cite this article:
Saydi, Z., Abbasi, N., Zarea, M.J., and Zarei, B., 2022. Effects of nitroxin biofertilizer on morpho-physiological characteristics of blackseed (*Nigella sativa* L.) ecotypes under drought stress. Journal of Agroecology 14(3):485-507.
DOI: 10.22067/agry.2021.20298.0

Introduction

Following climate change, drought stress has become the most important limiting factor for crop production. Plants become dry when the water available to the roots is limited or the water loss through transpiration is very high. Decreased photosynthetic active radiation absorption, impaired light consumption efficiency, and reduced harvest index are the most important factors reducing yield in soil moisture deficit conditions. On the other hand, the adverse effects of the use of chemical drugs in recent years have led to much attention to the cultivation of medicinal plants, which with the increase in their use requires the development of cultivation, management, and proper planning. Bio-fertilizers as an alternative in some cases and in most cases as a complement to chemical fertilizers can help to ensure the sustainability of agricultural production systems.

Materials and Methods

The study aimed to evaluate the effect of nitroxin biological fertilizer on the ecotypes of black seed under drought stress. The experiment was conducted as a split-split plot with three replicates at Ilam University during the growing season of in 2018. Drought stress levels including no stress (Irrigation based on 100% of plant water needs), moderate stress (Irrigation based on 50% of plant water needs), and severe stress (Irrigation based on 35% of plant water needs) as the main plot, nitroxin fertilizer treatments including no nitroxin (control) and application of 1 liter ha^{-1} nitroxin as subplot and ecotype treatments including Neyshabour, Mashhad, Semirom and Isfahan Sub-plots were considered as sub-plots. Measured traits included plant height, number of sub-branches, yield, grain yield components (number of follicles and number of seeds per follicle), relative leaf water content, ion leakage, and photosynthetic pigments.

Results and Discussion

The results showed that the main effect of drought stress, nitroxin, and ecotype on all treats was significant ($p\leq0/01$). The highest plant height and the first sub-branch height of the Mashhad ecotype were obtained under

1- Ph.D. Student of Agronomy Physiology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.
2- Assistant Professor, Agronomy Physiology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.
3- Associate Professor, Ecology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.
4- Laboratory Expert, Ph.D. in Genet fresh weightic Engineering, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.
*Corresponding author: n.abbasi@ilam.ac.ir

Irrigation based on 100% of plant water needs conditions under moderate stress. The highest number of branches per plant of the Neyshabur ecotype was obtained under nitroxin under drought stress conditions. The highest number of capsules per plant was obtained from Mashhad ecotype treatment with no nitroxin and Irrigation based on 100% of plant water needs. The highest number of seeds in the main capsule, seed yield, and harvest index were obtained from the Semirom ecotype under nitroxin under Irrigation based on 50% of plant water needs. The highest biological yield was obtained in Isfahan ecotype, nitroxin consumption, and Irrigation based on 50% of plant water needs. The results of this study showed that drought stress caused a significant reduction ($p \leq 0.01$) in the values of chlorophyll a, b and total chlorophyll traits and relative moisture content of leaves Meanwhile, the use of nitroxin biological fertilizer in most cases improved these traits in different ecotypes, which can be due to the positive effects of biological fertilizer in helping to better absorb water and nutrients under drought stress and reduce the negative effects of water deficiency on Physiological traits of the plant**.**

Conclusion

Since better absorption of nutrients depends on the existence of an extensive root system, it seems that the lack of expansion of the plant root system under drought stress and the lack of use of chemical fertilizers is the ground for the activity of microorganisms. This has led to the improvement of the root system and consequently better absorption of water and nutrients needed by the plant in conditions of moisture stress. In general, the results of this study indicate that the application of biological fertilizers may have had a positive effect on improving the yield and quantitative properties of the herbicide under drought stress conditions, however, this issue needs further investigation. From the results, it can be concluded that moderate drought stress can be applied in weather conditions in Ilam province in addition to reducing water consumption will lead to better outcomes.

Acknowledgments

I would like to express my gratitude to Dr. Hajinia for her help in conducting this research.

Keywords: Water requirements, Yield, Chlorophyll, Relative Water Content, Electrolyte Leakage

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

مقاله پژوهشی

اثر کود زیستی نیتروکسین بر برخی ویژگی‌های مورفو-فیزیولوژیکی اکوتیپ‌های سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) تحت تنش خشکی

زهرا صیدی[۱]، نصرت‌اله عباسی[۲*]، محمد جواد زارع[۳]و بتول زارعی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۱۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۳/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۱

صیدی، ز.، عبا سی، ن.، زارع، م.ج.، و زارعی، ب.، ۱۴۰۱. اثر کود زیستی نیتروکسین بر برخی ویژگی‌های مورفو-فیزیولوژیکی اکوتیپ¬های سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) تحت تنش خشکی. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۳): ۵۰۷-۴۸۵.

چکیده

عوارض ناشی از استفاده داروهای شیمیایی در سال های اخیر توجه زیادی را به کشت گیاهان دارویی جلب کرده است. خشکی منجر به اثرات نامطلوب بر عملکردهای فیزیولوژیکی مختلف گیاه، متابولیسم، عملکرد رشد و عملکرد می شود. تحقیقات نشان داده است که کودهای زیستی می توانند اثرات نامطلوب تنش خشکی را کاهش دهند. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر کود زیستی (نیتروکسین) بر کاهش اثر نامطلوب تنش خشکی بر چهار اکوتیپ زیره سیاه (نیشابور، مشهد، سمیرم و اصفهان) انجام شد. آزمایش مزرعه ای در قالب طرح کرت های خرد شده با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام در سال ۱۳۹۷ انجام شد. کرت اصلی شامل سطوح تنش خشکی: آبیاری کامل(آبیاری براساس ۱۰۰درصد نیاز آبی گیاه) و تنش متوسط (آبیاری بر اساس ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) و تنش شدید (آبیاری بر اساس ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه). دو تیمار اصلی دیگر، نیتروکسین به عنوان کرت فرعی و ارقام سیاه‌دانه به عنوان کرت فرعی فرعی بودند. صفات زراعی و برخی پارامترهای فیزیولوژیکی در اکوتیپ‌های سیاهدانه تحت تاثیر نیتروکسین و تنش خشکی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که اثرات اصلی نیتروکسین، تنش خشکی و اکوتیپ بر تمام صفات معنی دار($p\leq0.01$) بود. بیشترین ارتفاع بوته و ارتفاع اولین شاخه فرعی مربوط به اکوتیپ مشهد در شرایط عدم استفاده از نیتروکسین تحت آبیاری کامل گیاه و تنش متوسط به دست آمد. بیشترین تعداد کپسول در بوته در واحد سطح از تیمار اکوتیپ مشهد عدم نیتروکسین و آبیاری کامل گیاه حاصل گردید. بیشترین تعداد دانه در کپسول، عملکرد دانه و شاخص برداشت از اکوتیپ سمیرم تحت تاثیر نیتروکسین و در شرایط تنش متوسط به‌دست آمد. اگرچه تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار رنگدانه‌های کلروفیل و محتوای آب نسبی برگ شد، اما کاربرد نیتروکسین می‌تواند تا حدودی اثر تنش خشکی بر صفات ذکر شده را کاهش دهد. در این پژوهش، عملکرد و واکنش رشد گیاه اکوتیپ‌های سیاه‌دانه به شرایط آبیاری کامل و تنش

۱- دانشجوی دکترای فیزیولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
۲- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
۳- دانشیار اکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
۴- کارشناس آزمایشگاه، دکترای تخصصی مهندسی ژنتیک، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: n.abbasi@ilam.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2021.20298.0

خشکی به‌طور معنی‌داری تفاوت داشتند. اکوتیپ سمیرم از نظر تحمل به تنش خشکی نسبت به سایر ارقام عملکرد بهتری داشت. استفاده از نیتروکسین می تواند تا حدی تحمل به تنش خشکی را بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: رطوبت نسبی، عملکرد، کلروفیل، نشت الکترولیت، نیاز آبی

مقدمه

به‌دنبال تغییرات آب و هوایی، تنش خشکی تبدیل به مهم‌ترین عامل محدودکننده تولیدات گیاهی و در نهایت، امنیت غذایی شده است (Lobell et al., 2011). گیاهان زمانی تحت خشکی قرار می‌گیرند که آب در دسترس ریشه‌ها محدود شود یا از دست دادن آب از طریق تعرق بسیار بالا باشد (Anjum et al., 2011). تأثیر خشکی در رشد، جذب مواد مغذی و آب، فتوسنتز، تسهیم اسیمیلات‌ها تداخل ایجاد کرده و در نهایت، باعث کاهش قابل‌توجهی در عملکرد محصول می‌شود (Praba et al., 2009). پاسخ گیاه به تنش خشکی به‌طور کلی، از گونه‌ای به گونه دیگر بسته به مرحله رشد گیاه و دیگر عوامل محیطی متفاوت است (Demirevska et al., 2009). کاهش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی، اختلال در راندمان مصرف نور و کاهش شاخص برداشت مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد در شرایط کمبود رطوبت خاک است (Earl & Davis, 2003). گیاهان مختلف طی دوره رشد خود با تنش‌های زنده و غیرزنده مختلفی مواجه می‌شوند که آن‌ها را به واکنش‌های فیزیولوژیک در برابر این تنش‌ها وادار می‌کند (Tas & Ttas, 2007). این تغییر در صفات فیزیولوژیک به‌نوعی از مهم‌ترین مکانیسم‌ها جهت سازگاری گیاه با شرایط خشکی هست (Liu et al., 2011). گیاهان هنگامی‌که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند با پاسخ‌های موفولوژیک و فیزیولوژیکی که از خود نشان می‌دهند، با شرایط پیش‌آمده سازگار می‌شوند (Wang & Huang, 2004). تنش خشکی موجب آسیب به سیستم فتوسنتزی گیاه شده که در پی آن سطح کلروفیل گیاه نسبت به شرایط فراوانی آب کاهش می‌یابد (Fu & Huang, 2001).

انسان در طول تاریخ وابسته به گیاهان دارویی بوده و برای قرن‌ها، گیاهان دارویی در درمان بسیاری از بیماری‌ها در شاخه‌های مختلف دارویی و همچنین در طب سنتی مورد استفاده قرار می‌گرفتند (Ahmad & Beg, 2013) با توجه به اثرات سوء ناشی از مصرف داروهای شیمیایی، در سال‌های اخیر توجه زیادی به کشت گیاهان دارویی شده که با افزایش مصرف آن‌ها نیاز به توسعه کشت، مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح می‌باشد (Norouzpour & Rezvani).

سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) گیاهی علفی (Moghaddam, 2006) و بومی نواحی جنوب غربی آسیا از جمله ایران، هند و پاکستان است. حداکثر ارتفاع گیاه ۷۰–۴۰ سانتی‌متر، دارای برگ‌های بریده بریده و گل‌های به رنگ آبی کم‌رنگ و سفید است. از میوه‌های کپسول‌مانند تعداد زیادی دانه‌های سیاه تولید می‌شود. سیاه‌دانه به‌طور گسترده‌ای برای بیش از دو هزار سال به‌عنوان دارو و پیشگیری‌کننده در برابر بسیاری از بیماری‌ها در آسیای مرکزی و برخی دیگر از کشورهای آسیایی (Goreja, 2003) به‌عنوان مسکن، اشتهاآور، بادشکن، هاضم، تب‌بر و به‌عنوان مسهل و همچنین به‌عنوان کاهنده ضعف و ضدافسردگی و افزاینده مقاومت بدن گزارش‌شده است (Razavi & Hosseinzadeh, 2014). همچنین مشخص‌شده که مواد مؤثره سیاه‌دانه دارای اثرات ضدباکتریایی، ضدقارچی، ضددیابتی، ضدالتهابی، ضددرد، ضدویروسی، آنتی‌اکسیدانی، ضدانعقادی، ضدفشارخون و غیره می‌باشد (Entok et al., 2014; Singh et al., 2014). بذرهای سیاه‌دانه بسته به منطقه، حاوی (۰/۴۵– ۰/۴۰ درصد) روغن فرار و (۴۰–۳۲ درصد) روغن غیرفرار، (۲۰/۸۵– ۱۶ درصد) پروتئین، (۳۳/۹–۳۱ درصد) کربوهیدرات‌ها، (۷/۹۴– ۵/۵ درصد) فیبر، آلکالوئیدها، تانن‌ها، ساپونین‌ها، مواد معدنی مانند آهن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، روی و مس (۳/۴۴– ۱/۷۹ درصد)، ویتامین A و C، تیامین، نیاسین، پیریدوکسین و فولات می‌باشد. روغن فرار حاوی اجزای اساسی فعال مانند تیموکینون، دیتیووکوینون و تیمو هیدروکینون است (Güllü & Gülcan, 2013).

به دنبال آشکار شدن اثرات مخرب کودهای شیمیایی در کشاورزی رایج و اثرات زیان‌بار آن بر سلامت انسان و محیط زیست در سال‌های اخیر تلاش‌های گسترده‌ای به‌منظور یافتن راهکارهای مناسب برای بهبود کیفیت خاک و محصولات کشاورزی آغازشده است؛ به‌گونه‌ای که امروزه کودهای زیستی به‌عنوان گزینه‌ای جایگزین پایدار برای کودهای شیمیایی، به‌منظور افزایش حاصلخیزی خاک در تولید محصولات در کشاورزی پایدار مطرح شده‌اند (Caob et al., 2005). کودهای زیستی در حقیقت ماده‌ای شامل انواع مختلف ریزموجودات آزادزی هستند (Vessey et al., 2013) که توانایی تبدیل عناصر غذایی

پرمصرف را از فرم غیرقابل دسترس به فرم قابل دسترس طی فرآیندهای زیستی داشته و منجر به توسعه سیستم ریشه‌ای و جوانه‌زنی بهتر بذور می‌گردند (Rajendran et al., 2004). در میان این باکتری-ها، *آزوسپیریلوم* و *ازتوباکتر* به‌دلیل پراکنش وسیع جغرافیایی، گستردگی دامنه گیاهان میزبان و به‌ویژه توان برقراری ارتباط همیاری با گیاهان مهم زراعی مانند برنج (*Oryza sativa* L.)، گندم (*Triticum aestivum* L.)، سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) و نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) توجه بیشتری را به خود جلب کرده و به‌عنوان یک پتانسیل در تهیه کودهای زیستی شناخته شده‌اند (Youssef et al., 2004). کود زیستی نیتروکسین از جمله کودهای زیستی می‌باشد که حاوی مؤثرترین باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از جنس *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* می‌باشد که علاوه‌بر تثبیت نیتروژن هوا و متعادل کردن جذب عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف موردنیاز گیاه، با سنتز و ترشح مواد محرک رشد گیاه مانند اکسین، همچنین ترشح اسیدهای آمینه مختلف سبب رشد و توسعه ریشه و اندام‌های هوایی گیاه می‌گردد (Por Akbar et al., 2008). افزایش حاصلخیزی خاک با کودهای زیستی، نظیر *ازتوباکتر* و *سودوموناس*، باعث بهبود خصوصیات رشدی گیاه دارویی سیاه‌دانه می‌شود (Shaalan, 2005). نتایج پژوهش نجات زاده (Negat Zadeh, 2015) روی شوید (*Anethum graveolens* L.) نشان داد ارتفاع بوته، عملکرد زیستی و اجزای عملکرد دانه به‌جز شاخص برداشت تحت تأثیر کودهای زیستی نیتروکسین قرارگرفته و بالاترین میزان این صفات مربوط به کاربرد کود زیستی نیتروکسین بود. دهقانی مشکان و همکاران، (Dehghani Meshkan et al., 2011) طی تحقیقی اعلام داشتند که تیمارهای کود زیستی (*ازتوباکتر*، *آزوسپیریلوم* و *باسیلوس*) نسبت به تیمار کود شیمیایی کامل و شاهد به‌طور معنی‌داری سبب افزایش ارتفاع بوته بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) شده‌اند. استفاده از کود زیستی حاوی *آزوسپیریلوم* و *ازتوباکتر*، در گیاه مریم‌گلی (*Salvia officinalis*) سبب افزایش ارتفاع بوته، وزن‌تر و خشک اندام‌های هوایی گیاه در چین‌های اول و دوم طی دو فصل گردید (Youssef et al., 2004).

نتایج جابری و همکاران (Jaberi et al., 2015) نشان داد که تیمار دور آبیاری و کود زیستی بر اکثر صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. اثر متقابل تیمار آبیاری و کود زیستی در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد دانه و در سطح یک درصد بر عملکرد برگ شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) معنی‌دار بود. بهترین دور آبیاری برای حصول حداکثر عملکرد دانه (۴۸/۱۶ گرم در مترمربع) و عملکرد برگ (۱۵۹/۵۰ گرم در مترمربع)، دور آبیاری با فواصل شش روز یک‌بار بود. افزایش دور آبیاری باعث کاهش عملکرد دانه، برگ و سایر صفات مورفولوژیک گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) گردید. همچنین نتایج پژوهش جعفرزاده و همکاران (Jafarzadeh et al., 2013) بر روی گیاه دارویی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) نشان داد اثر خشکی، کود زیستی نیتروژنه نیتروکسین و اثر برهم‌کنش آن‌ها بر تمام صفات به‌جز ارتفاع بوته و وزن ریشه تأثیر معنی¬داری داشت ($P<0.01$)، به‌طوری‌که با افزایش سطح خشکی، طول ریشه (۱۶ درصد)، محتوی آنتوسیانین (۲۳ درصد)، کاروتنوئید (۷۱ درصد)، قندهای محلول (۳۶ درصد)، محتوی پرولین (۴۷ درصد) و رنگیزه‌های فتوسنتزی (۶۳ درصد) افزایش یافت. بیش‌ترین میزان پرولین در تنش نسبتاً شدید و استفاده از نیتروکسین حاصل شد. همچنین اثر برهمکنش دو تیمار نشان داد که در شرایط تنش ملایم و تنش نسبتاً شدید، با مصرف نیتروکسین به‌صورت بذرمال، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار کلروفیل حاصل شد.

نوروزپور و رضوانی‌مقدم (Norouzpour & Rezvani Moghaddam, 2006) طی تحقیقی در گیاه سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) گزارش کردند که با افزایش فواصل آبیاری به‌طور معنی-داری از ارتفاع بوته، تعداد دانه در فولیکول، تعداد فولیکول در بوته، عملکرد زیستی و عملکرد دانه کاسته شد. در یک بررسی دیگر ارتفاع بوته، تعداد دانه در فولیکول، تعداد فولیکول در بوته، عملکرد زیستی، عملکرد دانه سیاه‌دانه تحت تنش خشکی کاهش یافت. در تحقیقی دیگر در گیاه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) مشخص شد که در شرایط تنش خشکی، ارتفاع گیاه، تعداد گل و عملکرد دانه این گیاه به‌شدت کاهش یافت (Moradi &Goldani, 2011). لاریبی و همکاران (Laribi et al., 2009) در مطالعه‌ای روی زیره سیاه (*Carum carvi* L.) یافتند که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته داشت. کاهش سرعت جوانه‌زنی، وزن خشک و تر و همچنین طول گیاهچه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت شرایط تنش خشکی توسط معافی پاشاکلایی (Maafi Pashaklaei, 2010) نیز گزارش‌شده است. در شرایط تنش خشکی محتوای رطوبت نسبی برگ یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای تعیین وضعیت آب گیاه می‌باشد (Nayyar & Walia, 2003). قابلیت حفظ RWC بالا در پتانسیل آب پایین می‌تواند نشان‌دهنده بالا بودن استحکام دیواره سلولی و تحمل

بالای آن در برابر آسیب‌های ناشی از این تنش باشد (Irigoyen et al., 1992). نتایج مطالعه فرهودی و مدحج (Farhoudi & Modhej, 2018) بر روی گیاه دارویی سیاه‌دانه نشان داد که تنش خشکی ملایم، متوسط و شدید به‌ترتیب عملکرد دانه سیاه‌دانه توده کاشمر را ۲/۴، ۲۰/۲ و ۴۰/۱ درصد و عملکرد دانه توده شهرضا را ۶/۲، ۳۸/۱ و ۶۳ درصد در مقایسه با شرایط نرمال کاهش داد. نتایج تجزیه واریانس داده‌های سرداری و همکاران (Sardari et al., 2020) نیز حاکی از آن بود که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار در تمامی صفات اندازه‌گیری شده به‌جز تاریخ گل‌دهی شد. مقایسه میانگین داده‌های این پژوهش نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه و درصد روغن را به‌ترتیب اکوتیپ‌های سمیرم و کاظمین دارند. از سوی دیگر، نتایج تحقیق کبیری و همکاران (Kabiri et al., 2014) نیز نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی محتوای نسبی آب برگ، رنگیزه‌های فتوسنتزی آنتوسیانین‌ها، ترکیبات پلی فنلی، فلاونوئیدها و پروتئین و افزایش نشت یونی، مقدار مالون دی‌آلدئید و سایر آلدئیدها، فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز و محتوای قندهای محلول گیاه سیاه‌دانه گردید.

هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر فواصل مختلف آبیاری و کود زیستی بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات فیزیولوژیک اکوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه و معرفی بهترین اکوتیپ در شرایط ذکر شده برای شهرستان ایلام می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت طرح آزمایشی کرت‌های دو بار خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه عامل در سه تکرار در سال ۱۳۹۷ در مزرعه آموزشی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام انجام شد. طول جغرافیایی منطقه مورد آزمایش ۴۶ درجه و ۲۸ دقیقه، عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۱۱۷۴ متر، می¬باشد. آب و هوای منطقه نیمه‌مرطوب با تابستان گرم و زمستان نسبتاً سرد است. با میانگین بارندگی سالانه ۶۰۰ میلی¬متر و میانگین دما ۱۶/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. شرایط اقلیمی این منطقه در جدول ۱ نشان داده‌شده است. تیمارهای آزمایش شامل؛ تنش خشکی در سه سطح (آبیاری کامل (آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه)، تنش متوسط (آبیاری بر اساس ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه)، تنش شدید (آبیاری بر اساس ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه) به‌عنوان کرت اصلی، مصرف کود زیستی نیتروکسین در دو سطح (شاهد (عدم مصرف کود نیتروکسین)، مصرف بذر مال کود نیتروکسین به‌میزان ۰/۸ میلی‌لیتر در هر کرت) به‌عنوان کرت فرعی و اکوتیپ‌های سیاه‌دانه در چهار سطح (مشهد، نیشابور، اصفهان و سمیرم) به‌عنوان کرت فرعی– فرعی بودند.

برای تعیین تبخیر و تعرق مرجع از داده‌های تبخیر از تشت تبخیر کلاس A و ضرایب تشتک استفاده شد.

معادله (۱) $ET_0=Kp \times Epan$

در این معادله، Kp، Epan و ET_0: به‌ترتیب تبخیر از تشت، ضریب تشت و تبخیر و تعرق گیاه مرجع است. در این روش ضریب تشتک محاسبه شده از روش پیشنهاد شده در نشریه فائو ۵۶، به‌طور میانگین ۰/۶۵ منظور شد.

معادله (۲) $ETcrop=Kc \times ET_0$

در این معادله، ETcrop: تبخیر و تعرق گیاه سیاه‌دانه (میلی‌متر در روز) و Kc: ضریب گیاهی (بدون واحد) است (Allen et al., 1998).

برای تعیین ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد از دستورالعمل‌های فائو استفاده گردید.

در این آزمایش، برای محاسبه میزان آب آبیاری از معادله زیر استفاده شد (Allen et al, 1998).

معادله (۳) $I\ (mm)= ETcrop \times A(m^2)$

در این معادله، ETcrop: تبخیر و تعرق گیاه سیاه‌دانه (میلی‌متر در روز) و A: مساحت هر کرت می‌باشد. میزان نیاز آبی سیاه‌دانه سالانه ۶۶۶/۰۲ میلی‌متر در مترمربع برآورد گردید.

حجم آب مورد نیاز در هر بار آبیاری با در نظر گرفتن بارندگی مؤثر، مساحت هر کرت، راندمان آبیاری (۸۰ درصد) و ۴۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی در منطقه توسعه ریشه برآورد گردید (Doorenbos & Kassam, 1979). نیاز آبی گیاه هم‌زمان با رشد آن و به‌صورت روزانه اندازه‌گیری و مقدار آب مصرفی در تیمارهای مختلف تعیین شد. تعیین دور آبیاری بر اساس درصد حجمی نیاز آبی گیاه به‌صورت ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه و ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه صورت گرفت.

جدول ۱- میانگین شاخص‌های آب و هوایی در طول دوره رشد گیاهان مربوط به سال ۱۳۹۷ در شهرستان ایلام

Table 1- Average climatic indices during the growth period of plants related to 2018 in Ilam city

سال	ماه‌های سال	بارندگی Rainfall (mm)	حداقل رطوبت نسبی Minimum relative humidity (%)	حداکثر رطوبت نسبی Maximum relative humidity (%)	میانگین حداقل دما Average minimum temperature(^{0}C)	میانگین حداکثر دما Average maximum temperature (^{0}C)
2018	فروردین April	103.3	28	69	8.7	21.8
	اردیبهشت May	114.9	40	84	11	22.5
	خرداد June	0.2	17	47	16.8	32.2
	تیر July	0	14	30	21.1	37.8
	مرداد August	0	14	35	21.2	38.2
	شهریور September	0	13	31	19.3	36
	مهر October	45.6	20	46	15.2	29.5

جدول ۲- نتایج خصوصیات فیزیکیوشیمیایی خاک

Table 2- Results of soil physical and chemical characteristics

عمق Depth (cm)	بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.cm^{-1})	ماده آلی Organic matter (%)	نیتروژن کل خاک Total soil nitrogen (%)	فسفر P (mg.kg^{-1})	پتاسیم قابل‌تبادل K exchangeable (mg.kg^{-1})
0-30	لومی سیلتی silt loam	7.06	0.15	0.37	.125	5.05	**259.2**

برای اجرای آزمایش ابتدا زمین در اردیبهشت‌ماه شخم زده شده و بعد از ایجاد جوی و پشته توسط کولتیواتور کرت‌بندی صورت گرفت. ابعاد هر کرت ۲×۴ مترمربع، فاصله بین کرت‌ها یک متر و فاصله تکرارها از یکدیگر یک متر در نظر گرفته شد. کاشت در تاریخ ۱۳۹۷/۲/۲۷ و در وسط پشته‌ها بافاصله بین پشته ۵۰ سانتی‌متر صورت گرفت.

کود زیستی نیتروکسین از شرکت زیست‌فناوری مهر آسیا تهیه گردید. بذور اکوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. اعمال تیمار کود زیستی نیتروکسین روی بذور به‌گونه‌ای بود که از قبل بذرهای مربوط به هر کرت را به‌مدت یک ساعت به‌میزان ۰/۸ میلی‌لیتر در هشت مترمربع در سایه محلول‌پاشی گردید و بذرمال بذرها صورت گرفت. کاشت بذور در ابتدا به‌صورت متراکم بود و پس از رسیدن به مرحله چهار برگی برای رسیدن به تراکم مطلوب (۲۵۰ بوته در مترمربع) (Norozpoor & Rezvani Moghaddam, 2006) به فاصله دو سانتی‌متر تنک صورت گرفت. آبیاری به‌روش نوار تیپ انجام گردید. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت بود و بنا بر نتایج حاصل از آزمایش‌های آزمایشگاهی به‌دلیل حساسیت بذور سیاه‌دانه به تنش خشکی، اعمال تنش خشکی پس از استقرار گیاهچه‌ها انجام گرفت. به‌منظور اعمال تنش خشکی از دور آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه استفاده شد.

جهت انجام آزمون خاک نمونه‌هایی از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک تهیه و جهت تعیین خصوصیات خاک در آزمایشگاه گروه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس آزمون خاک (جدول ۲) صورت گرفته، مقادیر کودی پایه برای

هر کرت اعمال شد. کودهای پایه فسفر و پتاسیم به‌ترتیب (N-P-K) از منابع سوپر فسفات تریپل (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و کود پتاسه (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) در یک قسط و به‌صورت پیش‌کاشت اعمال گردید و کود نیتروژن از منبع کود اوره ۴۶ درصد به‌میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در سه قسط، یک قسط به‌صورت پیش‌کاشت و دو قسط دیگر پس از استقرار گیاهچه به خاک اضافه گردید. کودهای پیش‌کاشت پس از تهیه اولیه زمین و قبل از تهیه جوی و پشته به خاک اضافه گردید تا کود در محل ریشه و عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک قرار گیرد.

مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی و در چند نوبت صورت گرفت. جهت نمونه‌برداری از هر کرت آزمایشی پنج بوته در مترمربع به‌طور تصادفی انتخاب گردید و صفات ارتفاع بوته، ارتفاع شاخه فرعی، تعداد کپسول در بوته، تعداد کپسول در شاخه فرعی و تعداد دانه در کپسول اصلی اندازه‌گیری شد، عملیات برداشت گیاه در زمان زرد شدن برگ‌ها و کپسول‌ها در تاریخ ۱۳۹۷/۶/۵ انجام شد. پس از رسیدگی فیزیولوژیک عملکرد دانه و عملکرد زیستی در سطح یک مترمربع با حذف اثر حاشیه، از ردیف‌های میانی هر کرت تعیین گردید.

برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل برگ به‌روش آرنون (Arnon, 1975) عمل شد. ابتدا ۰/۵ گرم از بافت برگ را با استفاده از پنج میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد با استفاده از دستگاه هموژن، هموژن کرده سپس آن را با استفاده از استون ۸۰ درصد به حجم ۱۵ میلی‌لیتر رسانده سپس نمونه‌ها درون دستگاه سانتریفیوژ قرار داده شد. ابتدا از استون ۸۰ درصد به‌عنوان شاهد در دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-Visible مدل Cary-50 ساخت شرکت Varian) استفاده گردید

سپس میزان جذب محلول رویی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر به‌ترتیب برای کلروفیل a و کلروفیل b قرائت گردید. میزان کلروفیل با استفاده از معادله‌های زیر محاسبه شد (Arnon, 1975).

معادله (۱ تا ۳)

$$Chla(mg/gFW)=(12.7\ (A\ 663)-2.69\ (A\ 645))\times V/W\times 1000$$

$$Chlb(mg/gFW)=(22.9\ (A\ 645)-4.69\ (A\ 663))\times V/W\times 1000$$

$$Chl\ a+b\ (mg/gFW)=(20.2\ A(645)+8.02\ (663))\times V/W\times 1000$$

V= حجم نهایی نمونه مورداستفاده = ۱۰ میلی‌لیتر

W = وزن‌تر نمونه = ۰/۵ گرم

برای سنجش میزان آسیب به غشا، میزان نشت یونی از روش شیفراو و باکر (Shiferaw & Baker, 1996) اندازه‌گیری شد. به این منظور میزان ۰/۲ گرم از بافت سالم و تازه اندام هوایی گیاه را بعد از شست‌وشو با آب مقطر برای شست‌وشوی یون‌های احتمالی از سطح گیاه، درون فالکن ۵۰ میلی‌لیتر قرار داده و ۲۰ میلی‌لیتر آب یون‌گیری شده به آن اضافه گردید. سپس فالکن‌ها را به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده؛ پس از آن، میزان هدایت الکتریکی آب مقطر همراه نمونه به‌عنوان نشت اولیه (EC_1) اندازه‌گیری شد. پس از آن، نمونه‌ها را به‌مدت یک ساعت درون حمام آب گرم در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و زمانی که نمونه‌ها به دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد رسیدند، مجدد میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_2) با استفاده از دستگاه ECمتر اندازه‌گیری شد و با استفاده از معادله زیر درصد نشت یونی محاسبه گردید.

معادله (۴)

$$\text{درصد نشت یونی}=\frac{EC1}{EC2}\times 100$$

به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، ۰/۱ گرم از بافت برگی با ترازوی دقیق آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۰۰۱ وزن گردید (FW[1]). سپس بافت برگی در فالکن‌های حاوی آب مقطر برای مدت ۵-۴ ساعت غوطه‌ور گردید. در طول این مدت ظروف در نور قرار داشتند. سپس نمونه‌ها از ظروف خارج گردید و با استفاده از کاغذ صافی خشک گردیدند، مجدد مورد توزین قرار گرفتند تا وزن بافت گیاهی در حالت تورژسانس کامل (TW) به‌دست آید. برای محاسبه وزن خشک (DW) بافت‌های برگی درون فویل آلومینیوم پیچیده شدند و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد درون آون قرار داده شدند و پس از طی این مدت نمونه‌ها مجدد توزین گردیدند و در نهایت، محتوای نسبی آب برگ (RWC) از طریق رابطه زیر محاسبه گردید (Wheutherley, 1950).

معادله (۵)

$$RWC=\frac{FW-DW}{TW-DW}\times ۱۰۰$$

تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی انجام گرفت. میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار(LSD[2]) در سطح احتمال

1- Fresh weight

2- Least significant difference

پنج درصد مقایسه شدند. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 صورت گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و متقابل دوگانه و سه‌گانه تیمارهای مختلف تنش خشکی، نیتروکسین و اکوتیپ‌های سیاه‌دانه بر صفت ارتفاع بوته دارای اختلاف معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود (جدول ۳). نتایج مقایسه‌های میانگین اثرات متقابل برای صفت ارتفاع بوته بیانگر آن بود که اکوتیپ‌های مشهد (۵۲/۵ سانتی‌متر) و سمیرم (۵۲/۱ سانتی‌متر) در تیمار عدم نیتروکسین تحت ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه بدون اختلاف معنی‌دار بیش‌ترین و اکوتیپ مشهد (۲۹/۴ سانتی‌متر) در تیمار نیتروکسین تحت تیمار ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه دارای کم‌ترین ارتفاع بوته بود (جدول ۵).

طی بروز تنش خشکی، کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستمی در طول روز موجب کاهش پتانسیل فشاری به حدی کمتر از میزان لازم برای بزرگ شدن سلول‌ها می‌گردد (Zavareh & Imam, 2005). ازآن جا که اندام‌های هوایی حساسیت بیشتری به تنش کم‌آبی دارند و محدودیت نموی گیاه در اثر کمبود رطوبت خاک در قسمت‌های هوایی زودتر اتفاق می‌افتد. هر گونه کمبود آب موجب تقلیل بیشتر آماس سلولی، کاهش تقسیم و توسعه سلولی به‌خصوص در ساقه و برگ‌ها می‌شود. به همین دلیل، اولین اثر محسوس کم‌آبی روی گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع یا اندازه کوچک‌تر برگ‌ها تشخیص داد (Blum, 2005). از سوی دیگر، دسترسی به مواد غذایی در نتیجه استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاهی، از طریق افزایش طول میان‌گره‌ها موجب افزایش ارتفاع گیاه می‌شود. باکتری‌های محرک رشد گیاهی با ترشح ترکیبات مختلفی مانند اکسین‌ها، سیتوکنین‌ها، ریبوفلاوین‌ها و ویتامین‌ها موجب افزایش رشد و طول سلول‌های اندام هوایی و در نتیجه، موجب افزایش ارتفاع بوته می‌گردد (Besh et al., 2018). شعبان‌زاده و گلوی (Shabanzadeh & Galavi, 2011) در آزمایش خود بر روی گیاه سیاه‌دانه بیان داشتند که دور آبیاری هفت‌روزه بیش‌ترین و دور آبیاری ۲۱ روزه کم‌ترین ارتفاع بوته را داشته است. اکبری‌نیا و همکاران (Akbarinia et al., 2005) نیز بالاترین ارتفاع بوته سیاه‌دانه را تحت تأثیر دور آبیاری شش‌روزه گزارش نمودند. رضایی‌چیانه و همکاران (Rezaie Chianeh et al., 2012) در تحقیق خود گزارش کرد که با افزایش سطوح آبیاری گیاه مواد فتوسنتزی بیشتری را به ریشه اختصاص می‌دهد. در نتیجه سهم مواد فتوسنتزی به اندام‌های هوایی از جمله ساقه کاهش می‌یابد که این امر منجر به کاهش ارتفاع بوته رازیانه(*Foeniculum vulgare* L.) شد. جعفرزاده و همکاران (Jafarzadeh et al., 2013) در تحقیق خود عنوان داشتند، در شرایط بدون تنش و تنش ملایم، استفاده از کود زیستی نیتروکسین همراه آب آبیاری بر ارتفاع گیاه دارویی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) مفید بود. نوروزپور و رضوانی‌مقدم (Norouzpour & Rezvani Moghaddam, 2006) در آزمایش اثر دورهای مختلف آبیاری و تراکم بر عملکرد و اجزای عملکرد در سیاه‌دانه دریافتند که رقابت بیش از حد بین بوته‌ها برای به‌دست آوردن آب در تیمارهای تنش خشکی کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه را به دنبال داشته که این امر کوتاه قدی گیاه را سبب شد. بیش‌ترین ارتفاع بوته رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill L.) از برهم‌کنش تیمار آبیاری با ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و کود زیستی بیوفسفر و کم‌ترین مقدار آن‌ها از تیمار آبیاری با ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم مصرف کود (شاهد) به‌دست آمد(Gorgini Shabankare et al., 2017). لاریبی و همکاران (Laribi et al., 2009) در زیره سیاه، رضاپور و همکاران (Rezapor et al., 2011) در سیاه‌دانه، موسوی‌نیک (Mousavi Nick, 2011) در اسفرزه (*Plantago psyllium* L.) و اکرنا و همکاران (Ekrena et al., 2012) در ریحان (*Ocimum basilicum* L.) نیز اثر معنی‌دار تنش خشکی را بر ارتفاع بوته گزارش نموده‌اند.

ارتفاع شاخه فرعی

نتایج اثرات ساده و اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه تیمارهای مختلف تنش خشکی، نیتروکسین و اکوتیپ‌های سیاه‌دانه بر صفت ارتفاع شاخه فرعی دارای اختلاف معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود (جدول ۳). نتایج مقایسه‌های میانگین اثرات متقابل سه‌گانه برای صفت ارتفاع شاخه فرعی بیانگر آن بود که اکوتیپ مشهد (۴۷/۵ سانتی‌متر) در تیمار عدم نیتروکسین تحت ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه و اکوتیپ مشهد (۲۷ سانتی‌متر) در تیمار نیتروکسین تحت تیمار ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه به‌ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین ارتفاع شاخه فرعی بود (جدول ۵).

تعداد شاخه فرعی در واحد سطح

نتایج نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف تنش خشکی،

نیتروکسین، اکوتیپ‌های سیاه‌دانه و اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه بر صفت تعداد شاخه فرعی در مترمربع دارای اختلاف معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود (جدول ۳). نتایج مقایسه‌های میانگین اثرات متقابل برای صفت تعداد شاخه فرعی در مترمربع بیانگر آن بود که اکوتیپ نیشابور (۱۹۳۷/۵ بوته در مترمربع) در تیمار عدم نیتروکسین تحت شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه دارای بیش‌ترین و اکوتیپ مشهد (۹۵۸/۳ بوته در مترمربع) در تیمار عدم نیتروکسین در شرایط ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه دارای کم‌ترین تعداد شاخه فرعی بود (جدول ۵).

وقوع تنش، سبب کاهش تولید مواد فتوسنتزی و توسعه رویشی در گیاه می‌شود، از علائم کاهش توسعه رویشی می‌توان به کاهش تعداد شاخه فرعی در گیاه اشاره کرد. شعبان‌زاده و گلوی (Shabanzadeh & Golavi, 2011) بیان کردند، بیش‌ترین تعداد شاخه در بوته سیاه‌دانه از دور آبیاری هفت‌روزه و کم‌ترین آن از دور آبیاری ۲۱ روزه به‌دست آمد. اکبری‌نیا و همکاران (Akbarinia et al., 2005) عنوان کردند، فاصله آبیاری یک هفته باعث رشد رویشی بهتر، توسعه کانوپی و در نتیجه استفاده بهتر از تشعشع خورشید و فتوسنتز بالاتر می‌شود و در نهایت، شاخه‌های فرعی بیش‌تری تولید می‌شود.

تعداد کپسول در واحد سطح

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و متقابل دوگانه و سه‌گانه تیمارهای مختلف تنش خشکی، نیتروکسین و اکوتیپ-های سیاه‌دانه بر صفت تعداد کپسول در مترمربع دارای اختلاف معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود (جدول ۳). اثرات متقابل سه‌گانه برای صفت تعداد کپسول در بوته بیانگر آن بود که اکوتیپ مشهد (۱۶۳۱۳ کپسول در مترمربع) در تیمار عدم نیتروکسین تحت شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بیش‌ترین و اکوتیپ نیشابور (۴۰۲۱ کپسول در مترمربع) در تیمار عدم نیتروکسین تحت ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه کم‌ترین تعداد کپسول در بوته را به خود اختصاص دادند (جدول ۵).

افزایش فواصل آبیاری سبب کاهش تعداد کپسول در بوته گردید که می‌تواند به‌دلیل اثرات سوء تنش ناشی از افزایش فواصل آبیاری بر سیاه‌دانه باشد. به نظر می‌رسد که هم‌زیستی سیاه‌دانه با این ریزجانداران به‌دلیل تولید هورمون‌های محرک رشد و مواد بیولوژیکی فعال باعث افزایش رشد رویشی و به‌تبع آن تعداد شاخه جانبی و کپسول در بوته شده است (Shaalan, 2005). تعداد کپسول در گیاه یکی از اجزای مهم عملکرد می‌باشد، زیرا کپسول از یک طرف، دربرگیرنده تعداد دانه بوده و از طرف دیگر، تأمین‌کننده مواد فتوسنتزی مورد نیاز برای دانه‌ها می‌باشد. نتایج این پژوهش با نتایج برخی تحقیقات تطابق دارد. اکبری‌نیا و همکاران (Akbarinia et al., 2005) در تحقیق خود عنوان داشتند با افزایش فواصل آبیاری تعداد کپسول در بوته سیاه‌دانه کاهش یافت. همچنین شعبان‌زاده و گلوی (Shabanzadeh & Golavi, 2011) بیان کردند، دور آبیاری هفت‌روزه نسبت به ۲۱ روزه بیش‌ترین تعداد کپسول در بوته را داشت. قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2018) بین رژیم‌های مختلف آبیاری بیش‌ترین تعداد غلاف در بوته سویا (*Glycine max* L.) در شاهد مشاهده گردید و کم‌ترین تعداد غلاف در بوته در تنش شدید دیده شد و با تنش‌های ملایم تفاوت معنی‌داری نداشت.

تعداد دانه در کپسول اصلی در واحد سطح

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف تنش خشکی، نیتروکسین، اکوتیپ‌های سیاه‌دانه و اثرات متقابل دو و سه‌گانه بین آن‌ها بر صفت تعداد دانه در کپسول اصلی دارای اختلاف معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود، ولی اثر متقابل دوگانه تنش با نیتروکسین فاقد اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه‌های میانگین اثرات متقابل سه‌گانه برای صفت تعداد دانه در کپسول اصلی نیز حاکی از آن بود که اکوتیپ نیشابور (۳۰۶۴۴ دانه در کپسول اصلی در مترمربع) در تیمار نیتروکسین تحت شرایط ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه بیش‌ترین و اکوتیپ-های مشهد (۱۶۸۷۳ دانه در کپسول اصلی در مترمربع) در تیمار عدم نیتروکسین تحت شرایط ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه دارای کم‌ترین تعداد دانه در کپسول اصلی در مترمربع بود (جدول ۵).

به نظر می‌رسد، تنش خشکی ناشی از افزایش فواصل آبیاری قبل و هنگام گل‌دهی به‌دلیل اختلال در عمل گرده‌افشانی، سبب کاهش تعداد دانه گردیده است. کودهای آلی به‌دلیل اینکه مواد غذایی موجود در خاک را به آهستگی آزاد کرده و در اختیار گیاه قرار می‌دهند، دسترسی بهتر به عناصر غذائی و وجود مواد آلی باعث فراهمی شرایط بهتری برای انجام فتوسنتز و در نتیجه، رشد گیاه می‌شود. کاربرد کود زیستی نیتروکسین می‌تواند مقابله با تنش رطوبتی را افزایش دهد و موجب افزایش نیتروژن در دسترس گیاه گردد. افزایش نیتروژن در شرایط مطلوب تا حد مشخصی، موجب افزایش میزان پروتئین می‌گردد. با افزایش پروتئین‌ها، گیاه به توسعه رویشی مانند سطح برگ، تعداد شاخه فرعی، ارتفاع و قطر ساقه می‌پردازد و در نهایت، می‌تواند تأثیر

مثبتی بر تعداد دانه به‌عنوان محصول نهایی رشد گیاه داشته باشد. شعبان‌زاده و گلوی (Shabanzadeh & Golavi, 2011) بیان کردند، افزایش فواصل آبیاری از هفت روز به ۲۱ روز سبب کاهش ۴۶ درصدی تعداد دانه در کپسول گردید. قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2018) در تحقیق خود بیان کردند، بین رژیم‌های مختلف آبیاری بیش‌ترین تعداد دانه در غلاف سویا (*Glycine max* L.) در شاهد مشاهده گردید که با تنش ملایم تفاوت معنی‌داری نداشت و کم‌ترین تعداد دانه در غلاف در تنش شدید بود.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف تنش خشکی، نیتروکسین، اکوتیپ‌های سیاه‌دانه و اثرات متقابل دو و سه‌گانه بین آن‌ها بر صفت عملکرد دانه دارای اختلاف معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود (جدول ۳). نتایج مقایسه‌های میانگین اثرات متقابل برای صفت عملکرد دانه بیانگر آن بود که اکوتیپ سمیرم (۲۲۳۶/۶ کیلوگرم در هکتار) در تیمار نیتروکسین تحت شرایط ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه بیش‌ترین و اکوتیپ مشهد (۱۴۱/۶ کیلوگرم در هکتار) در تیمار عدم نیتروکسین تحت ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه دارای کم‌ترین عملکرد دانه بود (جدول ۵).

تأثیر خشکی بر هر یک از اجزای عملکرد می‌تواند در نهایت، منجر به تغییر در عملکرد دانه تولیدی در گیاهان و از جمله سیاه‌دانه شود. کاهش میزان عملکرد تولیدی طی افزایش خشکی مربوط به کاهش ارتفاع گیاه، کاهش سطح برگ و افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت به بخش هوایی گیاه است (Sreevalli et al., 2001). این نتایج نشان‌دهنده این است که افزایش در مقدار نیتروژن در دسترس گیاه می‌تواند در افزایش تعداد دانه در سنبله مؤثر باشد و تعداد آن را نسبت به شاهد افزایش دهد و متعاقباً باعث افزایش عملکرد دانه شود (Maliki & Sinki, 2005). نتایج تحقیق شعبان‌زاده و گلوی (Shabanzadeh & Golavi, 2011) بر روی گیاه سیاه‌دانه حاکی از آن بود که تیمار دور آبیاری هفت‌روزه بیش‌ترین و تیمار دور آبیاری ۲۱ روزه کم‌ترین عملکرد دانه را داشتند. در تیمارهای کم آبیاری عملکرد دانه سیاه‌دانه دچار کاهش گردید (Banayan et al., 2009). خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2010) نیز در تحقیق خود گزارش دادند که کودهای زیستی *Azospirillum brasilense*، *Azotobacter paspali* و قارچ مایکوریزا *Glomus Intraradices* و ترکیب آن‌ها منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گیاه دارویی سیاه‌دانه گردید. نتایج مطالعه فرهودی و مدحج (Farhoudi & Modhej, 2018) بر روی گیاه دارویی سیاه¬دانه نشان داد که تنش خشکی ملایم، متوسط و شدید به‌ترتیب عملکرد دانه سیاه¬دانه توده کاشمر را ۲/۴، ۲۰/۲ و ۴۰/۱ درصد و عملکرد دانه توده شهرضا را ۶/۲، ۳۸/۱ و ۶۳ درصد در مقایسه با شرایط نرمال کاهش داد. توده کاشمر دارای میزان کربوهیدرات و پرولین بیشتری در شرایط تنش نسبت به توده شهرضا بود. این ویژگی باعث شد که توده کاشمر از محتوی نسبی آب بیشتر و شیب تغییرات عملکرد دانه کمتری نسبت به توده شهرضا برخوردار باشد. رضایی چیانه و پیرزاد (Rezaei Chianeh & Pirzad, 2014) در بررسی واکنش سیاه¬دانه به تنش خشکی نشان دادند که تنش خشکی با اثر منفی بر تعداد کپسول در بوته و دانه در کپسول سبب کاهش معنی¬دار عملکرد دانه این گیاه دارویی شد. نتایج بش و همکاران (Besh et al., 2018) حاکی از کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه سیاه¬دانه در اثر افزایش تنش کمبود آب بود، به‌طوری‌که افزایش تنش کمبود آب (تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) سبب کاهش ۲۸ درصدی عملکرد دانه شد. تنش خشکی باعث کاهش ۷/۳۰ درصد عملکرد دانه هیبریدهای مورد مطالعه ذرت نسبت به شرایط بدون تنش خشکی گردید (Yousefi et al., 2016). شریفی و محمدخانی (Sharifi & Mohammadkhani, 2017) در تحقیق خود عنوان کردند، تأثیر تنش خشکی بر عملکرد دانه گندم (*Triticum aestivum* L.) معنی‌دار ($p\leq 0.05$) بود و بیش‌ترین عملکرد دانه در شرایط عدم تنش حاصل گردید.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک اکوتیپ‌های سیاه‌دانه تحت تأثیر تیمارهای تنش خشکی و کود زیستی نیتروکسین

Table 3- Analysis of variance (mean of squares)of morphological pigments of black cumin ecotypes under drought stress and nitroxin biological fertilizer

	میانگین مربعات Mean of squares								
منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	ارتفاع اولین شاخه فرعی Height of the first branch	تعداد شاخه فرعی No. of branch perplant	تعداد کپسول در بوته No. of follicle per plant	تعداد دانه در کپسول اصلی No. of seed per follicle	عملکرد دانه Garin yield	عملکرد زیستی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
بلوک Block	2	1.01	7.21	84038.6	1111979.2	518042.7	1469.097	671.1	148.01350
تنش Stress	2	294.38**	249.39**	1841030.8**	74942057.3**	158909976.4**	4039042.014**	13412859.7**	6723.8**
تنش × بلوک Stress ×block	4	2.97	5.26	2534.7	322835.3	385872.3	1054.514	6365.9	78.24
نیتروکسین Nitroxin	1	513.33**	159.01**	255314.6 ns	52745008.7**	121993134.9**	4797253.125**	86220334.7**	15157.4**
تنش × نیتروکسین Stress× nitroxin	2	48.17**	16.61**	192202.6**	18329644.1**	20284653.6**	1189951.042**	11995822.2**	4106.01*
نیتروکسین × بلوک (تنش) Nitroxin× block (Stress)	6	1.98	2.41	38656.6	263834.6	346364.7	947.569	5019.1	101.7
اکوتیپ Ecotype	3	145.16**	121.03**	29348.2 ns	26792317.7**	8620743.2**	1317820.718**	15764798.6**	2590.9**
تنش × اکوتیپ Ecotype×stress	6	48.03**	20.74**	29717.1 ns	12594401**	5625820.5**	532034.606**	2516141.6**	603.9**
اکوتیپ × نیتروکسین Ecotype×nitroxin	3	188.62**	104.64**	16691.9 ns	64490234.4**	1783023.3**	420314.236**	6315830**	1635.04**
تنش × نیتروکسین × اکوتیپ Ecotype×stress×nitroxin	6	50.81**	71.79**	54187.6**	16191189.2**	7419858.5**	279839.931**	1215841.2**	760.92**
خطا Error	36	2	2.54	16251.4	332338.7	158947.6	887.27	5305	96.65
ضریب تغییرات CV (%)	-	3.52	4.41	8.58	6.57	1.75	4.3 7	3.8	4.67

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

*, ** and ns: are significant at the 0.05 and 0.01 levels of probability and no significant, respectively.

عملکرد زیستی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و متقابل دوگانه و سه‌گانه تیمارهای مختلف تنش خشکی، نیتروکسین و اکوتیپ-های سیاه‌دانه بر صفت عملکرد زیستی دارای اختلاف معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود (جدول ۳). نتایج مقایسه‌های میانگین اثرات متقابل برای صفت عملکرد زیستی بیانگر آن بود که اکوتیپ اصفهان (۶۵۵۱/۶ کیلوگرم در هکتار) در تیمار نیتروکسین تحت شرایط ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه بیش‌ترین و اکوتیپ نیشابور (۲۰۵ کیلوگرم در هکتار) در تیمار عدم نیتروکسین تحت شرایط ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه دارای کم‌ترین عملکرد زیستی بود (جدول ۵).

افزایش عملکرد زیستی در دور آبیاری کم‌تر (عدم تنش) به‌دلیل بهبود وضعیت رطوبتی خاک و عدم ایجاد خشکی فیزیولوژیکی می‌باشد. افزایش عملکرد بیولوژیک را می‌توان به رشد بهتر، گسترش سایه‌انداز و در نتیجه، استفاده بهتر از تابش خورشیدی و فتوسنتز بالاتر در شرایط مطلوب آبیاری نسبت داد (Norouzpour & Rezvani Moghaddam, 2006). *آزوسپیریلوم* و *ازتوباکتر* با توان تثبیت زیستی نیتروژن، گسترش سطح ریشه، کمک به جذب بهینه آب و عناصر غذایی و تولید هورمون‌های رشد و برخی ویتامین‌ها، رشد کیفی و کمّی گیاهان را تقویت می‌کنند، که نتیجه آن به‌صورت افزایش عملکرد نمایان می‌گردد (Kapulnik et al.,1985). در تحقیق شعبان‌زاده و گلوی (Shabanzadeh & Golavi, 2011) تیمارهای دور آبیاری ۷ و ۲۱ روزه به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد زیستی سیاه‌دانه را داشتند. کودهای زیستی *Azospirillum brasilense*، *Azotobacter paspali* و قارچ *مایکوریزا* *Glomus intraradices* و ترکیب آن‌ها منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد زیستی گیاه دارویی سیاه‌دانه گردید (Khorram Del et al., 2010). بش و همکاران (Besh et al., 2018) در تحقیق خود کاهش ۱۸ درصدی عملکرد زیستی سیاه‌دانه در اثر تنش کمبود آب را اعلام کردند.

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف تنش خشکی، نیتروکسین و اکوتیپ‌های سیاه‌دانه و اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه بین آن‌ها بر صفت شاخص برداشت دارای اختلاف معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود، در این بین اثر متقابل دوگانه بین تنش و نیتروکسین دارای اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد بود (جدول ۳). نتایج مقایسه‌های میانگین اثرات متقابل برای صفت شاخص برداشت بیانگر آن بود که اکوتیپ نیشابور (۱۴۶/۹۲ درصد) در تیمار عدم نیتروکسین تحت شرایط ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه بیش‌ترین و اکوتیپ مشهد (۱۱/۷ درصد) در تیمار نیتروکسین تحت ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه دارای کم‌ترین شاخص برداشت بود (جدول ۵).

افزایش در وزن کل گیاه به‌وسیله ریزوباکترها به‌واسطه افزایش در جذب عناصر غذایی و در نتیجه، رشد بهتر گیاه می‌باشد که می‌تواند موجب شاخص برداشت بالاتری گردد (Döbereiner, 1997). شعبان‌زاده و گلوی (Shabanzadeh & Golavi, 2011) بیان کردند تیمار دور آبیاری هفت روزه بالاترین مقدار شاخص برداشت را دارا بود. کاهش شاخص برداشت در شرایط تنش شدید خشکی در گیاهان دارویی خار مریم (*Silybum marianum* L.)، همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) و سیاه‌دانه توسط احیایی و همکاران (Ehyaii et al., 2010) گزارش‌شده است، که علت آن می-تواند حساسیت بیش‌تر رشد زایشی به شرایط نامطلوب در مقایسه با رشد رویشی و کاهش تخصیص مواد پرورده به دانه بوده باشد (Pandey et al., 2000).

نشت الکترولیت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن بود که اثرات ساده، دوگانه و سه‌گانه تیمارهای مختلف بر صفت نشت الکترولیت‌ها دارای تفاوت معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین سه‌گانه تیمارهای مختلف برای صفت هدایت الکتریکی نشان داد که بیش‌ترین میزان نشت یونی در بین سطوح مختلف تنش خشکی مربوط به تیمار ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه و کم‌ترین مقادیر آن مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بود و در این بین بوته‌هایی که تیمار کود زیستی نیتروکسین روی آن‌ها اعمال گردیده بود، میزان نشت یونی کمتری در مقایسه با بوته‌هایی که تیمار عدم نیتروکسین داشتند، از خود نشان دادند. در کل، طی شرایط اعمالی اکوتیپ سمیرم در تیمار عدم اعمال نیتروکسین در ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه با EC= ۶۴/۵۴۶ بیش‌ترین و اکوتیپ سمیرم با اعمال کود زیستی نیتروکسین تحت شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه با EC=۱۷/۴۹۲ کم‌ترین میزان EC را به خود اختصاص دادند. هرچند این میزان با تیمارهای اکوتیپ‌های اصفهان در عدم اعمال کود زیستی

نیتروکسین (۱۷/۹۱۲درصد) و اکوتیپ نیشابور (۱۸/۰۷۳ درصد) با اعمال کود زیستی نیتروکسین تحت شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه خشکی فاقد تفاوت معنی‌دار بود (جدول ۶).

در شرایط طبیعی بین میزان تولید ROS و فعالیت مکانیسم‌های از بین برنده ROS تعادل وجود دارد، امّا در تنش‌های زیستی و غیرزیستی این تعادل به هم می‌خورد و موجب تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌گردد (Sharma & Dubey, 2005). گیاهان برای مقاومت در برابر تنش اکسیداتیو ایجاد شده توسط تنش‌های محیطی مانند تنش خشکی باید از سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی یا غیرآنزیمی استفاده کنند. اصلی‌ترین علت اثرات تخریبی و مضر ROS، توانایی آن‌ها برای شروع واکنش‌های زنجیره‌ای اتواکسیداتیو اسیدهای چرب غیراشباع است که منجر به پراکسیداسیون لیپید و تخریب غشا می‌شود (Sharma & Dubey, 2005). غشای سلولی یکی از هدف‌های اولیه بسیاری از تنش‌های محیطی از جمله خشکی به‌حساب می‌آید و حفظ این غشا تحت شرایط تنش خشکی یکی از نشانه‌های تحمل به خشکی می‌باشد. در اثر آسیب‌پذیری غشای سیتوپلاسمی محتویات سلول به بیرون تراوش کرده که مقدار این خسارت را می‌توان با اندازه‌گیری مقدار نشت یونی تعیین نمود (Hamed et al., 2007). به نظر می‌رسد افزایش نشت یونی در اکوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه با افزایش میزان تنش خشکی ناشی از افزایش تولید ROS در شرایط تنش اکسیداتیو باشد که از بین بردن آن‌ها خارج از توان دفاعی گیاه بوده که حاکی از آن است که مکانیسم‌های دفاعی گیاه در برابر تنش اکسیداتیو کافی نبوده است، البته لازم به ذکر است که در این شرایط در بین اکوتیپ‌های مختلف، اکوتیپ‌هایی که تحت تیمار با کود زیستی نیتروکسین قرارگرفته‌اند در مقایسه با اکوتیپ‌هایی که با عدم تیمار کود زیستی نیتروکسین مواجه بوده‌اند، واکنش نسبتاً بهتری در شرایط تنش خشکی از خود نشان داده‌اند که آن می‌تواند ناشی از اثرات مثبت این کود باشد. *آزوسپیریلوم* نیز که همانند *ازتوباکتر* به‌عنوان یک دی‌ازوتروف فیزیولوژیکی و هوازی شناخته می‌شود، علاوه‌بر تثبیت نیتروژن، می‌تواند در تولید هورمون‌های تحریک‌کننده رشد مانند جیبرلین و اکسین و نیز افزایش حلالیت و فراهمی عناصری مانند پتاسیم، فسفر و آهن مؤثر باشد (Dordipour et al., 2010). در این ارتباط دست‌برهان و همکاران (Dastborhan et al., 2010) گزارش کردند که تلقیح با باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* به‌طور معنی‌داری سبب بهبود ارتفاع بوته، قطر ساقه اصلی، تعداد گل در بوته، وزن خشک گل، برگ، ساقه و وزن خشک بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) گردید.

محتوای رطوبت نسبی برگ

در رابطه باصفت میزان رطوبت نسبی برگ نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف تنش خشکی، نیتروکسین و اکوتیپ‌های سیاه‌دانه و اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه بین آن‌ها دارای اختلاف معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین سه‌گانه تیمارهای مختلف حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای مختلف بود، به‌گونه‌ای که تیمارهای ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان RWC را نشان دادند، همچنین تیمارهای اعمال و عدم اعمال کود زیستی نیتروکسین نیز در اکثر موارد دارای تفاوت بودند و از بین اکوتیپ‌های مختلف اکوتیپ‌های سمیرم در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه با کاربرد کود زیستی نیتروکسین و اصفهان در شرایط ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه با کاربرد کود زیستی نیتروکسین به‌ترتیب بیش‌ترین (۷۳/۲۸۷ درصد) و کم‌ترین (۳۰/۶۵۷ درصد) میزان RWC را به خود اختصاص دادند، هرچند این میزان با اکوتیپ نیشابور در شرایط تنش خشکی شدید با عدم کاربرد کود زیستی نیتروکسین (۳۰/۹۱۹ درصد) تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶).

در طول زمان تنش خشکی میزان تعرق گیاه بیش‌تر از جذب آب توسط گیاه می‌باشد که منجر به بر هم خوردن تعادل آبی گیاه شده و در نهایت، موجب کاهش محتوی نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی می‌گردد. در این شرایط، گیاه به‌عنوان یک مکانیسم دفاعی روزنه‌ها را بسته که موجب کاهش هدایت روزنه‌ای و ورود دی‌اکسید کربن به گیاه شده که در نهایت، کاهش راندمان فتوسنتزی گیاه را در پی دارد (Lawlor & Cornic, 2002). برای تداوم ورود آب به سلول، سلول‌ها می‌بایست پتانسیل آبی خود را نسبت به محیط اطراف منفی‌تر کنند که می‌توانند جهت ایجاد این حالت از اسمولیت‌ها استفاده کنند، امّا بر طبق نتایج حاصله در شرایط تنش شدید سلول‌ها نتوانسته‌اند به کمک اسمولیت‌ها به‌طور کامل بر اثرات تنش خشکی فائق آیند.

نتایج تحقیق شانفیلد (Schonfeld et al., 1988) بر روی گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) حاکی از این بود که محتوای نسبی آب برگ با افزایش میزان تنش خشکی کاهش یافت. الله‌مرادی و همکاران (Allahmoradi et al., 2013) در بررسی اثر تنش خشکی بر روی ارقام عدس (*Lens esculinaris* L.) به این نتیجه رسیدند که

در بین ارقام ازنظر محتوای آب نسبی اختلاف وجود دارد.

محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تمام اثرات ساده، متقابل دوگانه و متقابل سه‌گانه تیمارهای مختلف به‌جز اثر متقابل دوگانه اکوتیپ با نیتروکسین برای تیمار کلروفیل a دارای تفاوت معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود (جدول ۴). تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تمام اثرات ساده، متقابل دوگانه و متقابل سه‌گانه تیمارهای مختلف برای صفت کلروفیل b و کلروفیل کل دارای تفاوت معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود (جدول ۴).

جدول ٤- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک اکوتیپ‌های سیاه‌دانه تحت تأثیر تیمارهای تنش خشکی و کود زیستی نیتروکسین

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of physiological pigments of Black seed ecotypes affected by drought stress and nitroxin biological fertilizer

		میانگین مربعات Mean of squares				
منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	نشت الکترولیت Electrolyte leakage	محتوای نسبی آب برگ Relative water content	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیلb Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyl
بلوک Block	2	3.9	2.28^{ns}	0.00037^{ns}	0.00018^{ns}	0.00005^{ns}
تنش Stress	2	3417.24**	2813.8**	1.53016**	0.73988**	4.29733**
تنش × بلوک Stress ×block	4	0.34^{ns}	1.42	0.00017^{ns}	0.00016^{ns}	0.00052^{ns}
نیتروکسین Nitroxin	1	21.77**	251.37**	0.73812**	0.14134**	1.52543**
تنش × نیتروکسین Stress× nitroxin	2	26.59**	134.92**	0.00343**	0.01133**	0.02282**
نیتروکسین × بلوک (تنش) Nitroxin× block (Stress)	6	0.51*	0.58	0.00074^{ns}	0.00014^{ns}	0.00063^{ns}
اکوتیپ Ecotype	3	464.94**	196.41**	0.141256**	0.17283**	0.61625**
تنش × اکوتیپ Ecotype×stress	6	64.15**	83.77**	0.02539**	0.02235**	0.07239**
اکوتیپ × نیتروکسین Ecotype×nitroxin	3	280.9**	121.09**	0.0009^{ns}	0.00541**	0.00347**
تنش × نیتروکسین × اکوتیپ Ecotype×stress×nitroxin	6	134.04**	82.07**	0.0141**	0.00136**	0.01445**
خطا Error	36	0.53	1.21	0.00041	0.00018	0.00057
ضریب تغییرات CV	-	2.39	2.41	4.62	3.13	2.92

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

***, ** and ns: are significant at the 0.05 and 0.01 levels of probability and no significant, respectively.**

جدول ۵- مقایسه میانگین تنش خشکی و کود زیستی نیتروکسین بر صفات مورفولوژیک اکوتیپ‌های سیاه‌دانه

Table 5- Mean comparison drought stress and nitroxin biological fertilizeron on morphological characteristics of Black cumin ecotypes

تیمار Treatment			ارتفاع بوته Plant height (cm)	ارتفاع اولین شاخه فرعی Height of the first branch (cm)	تعداد شاخه فرعی در مترمربع Number of branch perplant	تعداد کپسول در بوته در مترمربع Number of follicle perplant	تعداد دانه در کپسول اصلی در مترمربع Number of seed perfollicle	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد زیستی Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت Harvest index (%)
عدم تنش آبی No stress	نیتروکسین Nitroxin	نیشابور Neyshabour	42.7^{ef*}	39.17^{cde}	1412.50^{ij}	12375^{b}	23697^{ef}	475^{i}	1045^{ij}	45.47^{d}
		مشهد Mashhad	34.8^{hij}	31.67^{ij}	1416.67^{ij}	7000^{ghi}	22159^{hi}	818.3^{f}	2595^{d}	31.53^{defgh}
		سمیرم Semirom	36.7^{gh}	32.25^{hij}	1604.17^{ghi}	10479^{de}	25446^{c}	783.3^{f}	2205^{f}	$35.53d^{efg}$
		اصفهان Esfahan	42.8^{ef}	39.33^{cd}	1570.83^{def}	12542^{b}	24558^{d}	1860^{b}	5178.3^{b}	35.93^{defg}
	عدم نیتروکسین Non-nitroxin	نیشابور Neyshabour	30.4^{kl}	27.5^{kl}	1937.50^{a}	7146^{ghi}	22950^{g}	416.6^{j}	1066.6^{ij}	39.05^{def}
		مشهد Mashhad	46.3^{b}	41.67^{bc}	1812.50^{abc}	16313^{a}	22247^{hi}	228.3^{on}	533.3n	42.89^{de}
		سمیرم Semirom	43^{def}	39.67^{cd}	1637.50^{cde}	9854^{e}	22820^{gh}	366.6^{k}	948.3^{jk}	38.66^{defg}
		اصفهان Esfahan	35.8^{bc}	40.75^{c}	1691.67^{bcd}	11000^{cd}	21733^{ij}	1145^{e}	2591.6^{d}	44.18^{d}
تنش متوسط آبی Moderate stress	نیتروکسین Nitroxin	نیشابور Neyshabour	45.3^{ij}	31.58^{j}	1562.50^{hi}	6458^{ijk}	30644^{a}	528.3^{h}	1325^{g}	39.82^{def}
		مشهد Mashhad	44.5^{hi}	35.42^{fg}	1458.33^{efg}	4375^{mn}	27123^{b}	1591.6^{d}	5155^{b}	30.88^{defgh}
		سمیرم Semirom	41.7^{bcd}	41.25^{c}	1625^{cdef}	7667^{fg}	26566b	2236.6^{a}	5026.6^{c}	44.49^{d}
		اصفهان Esfahan	44.5^{bcde}	43.92^{b}	1637.50^{cde}	11646^{bc}	25367^{c}	1810^{c}	6551.6^{a}	27.63^{efghi}
	عدم نیتروکسین Non-nitroxin	نیشابور Neyshabour	41.7^{f}	37.25^{def}	1570.83^{def}	7458^{fgh}	23054^{fg}	425^{j}	298.3^{op}	146.92^{a}
		مشهد Mashhad	52.5^{a}	47.5^{a}	1791.6^{abc}	10313^{de}	23969^{de}	690^{g}	735^{m}	93.91^{b}

	سمیرم Semirom	52.1^{a}	36.67^{efg}	1862.50^{ab}	11708^{bc}	21496^{jk}	306.6^{l}	550^{n}	62.76^{c}
	اصفهان Esfahan	42.7^{cf}	39.75^{cd}	1729.17^{abcd}	12000^{b}	22225^{hi}	773.3^{f}	1205^{gh}	64.24^{c}
نیتروکسین Nitroxin	نیشابور Neyshabour	32.8^{ij}	30.25^{ij}	1250^{ghi}	5854^{jkl}	21433^{jk}	246.6^{mn}	1095^{hi}	22.52^{ghi}
	مشهد Mashhad	29.4^{l}	27^{l}	1145.83^{ijl}	5333^{lm}	21332^{jk}	286.6^{ml}	2453.3^{e}	11.7^{i}
	سمیرم Semirom	32.6^{ijk}	29.75^{ijk}	1116.67^{fgh}	5750^{jkl}	20929^{k}	210^{nop}	895^{lk}	23.58^{fghi}
	اصفهان Esfahan	38.5^{gf}	34.25^{ghi}	1308.33^{cdef}	5563^{kl}	18933^{m}	425^{j}	2598.3^{d}	16.68^{hi}
تنش شدید آبی Severe stress	نیشابور Neyshabour	35.8^{hi}	34.58^{gh}	1166.67^{ijl}	4021^{n}	19807^{l}	168.3^{pq}	205^{p}	82.9^{b}
	مشهد Mashhad	44.1^{bcde}	35.17^{fg}	958.33^{j}	10958^{cd}	16873^{n}	141.6^{q}	398.3^{o}	35.4^{defg}
عدم نیتروکسین Non-nitroxin	سمیرم Semirom	35.9^{hi}	31.67^{ij}	1162.50^{fgh}	6521^{hij}	20005^{l}	230^{no}	780^{lm}	29.5^{defgh}
	اصفهان Esfahan	43.6^{cdef}	39.33^{cd}	1216.67^{def}	8292^{f}	19971^{l}	185^{opq}	548.3^{n}	33.24^{defg}

جدول ٦- مقایسه میانگین تنش خشکی و کود زیستی نیتروکسین بر صفات فیزیولوژیکی اکوتیپ‌های سیاه‌دانه

Table 6- Mean comparisons of drought stress and nitroxin biological fertilizer on physiological characteristics of Black seed ecotypes

تیمار Treatment			کلروفیل a Chlorophyll a ($mg.g^{-1}$)	کلروفیل b Chlorophyll b ($mg.g^{-1}$)	کلروفیل کل Total chlorophyll ($mg.g^{-1}$)	نشت الکترولیت Electrolyte Leakage (٪)	محتوای نسبی آب برگ Relative water content (٪)
عدم تنش آبی No stress	نیتروکسین Nitroxin	نیشابور Neyshabour	0.768^{c*}	0.563^{c}	1.331^{c}	18.073^{l}	55.489^{c}
		مشهد Mashhad	0.673^{d}	0.455^{d}	1.127^{e}	19.961^{k}	52.156^{de}
		سمیرم Semirom	0.953^{a}	0.717^{a}	1.67^{a}	17.492^{l}	73.287^{a}
		اصفهان Esfahan	0.864^{b}	0.677^{b}	1.541^{b}	23.13^{ij}	64.113^{b}
	عدم نیتروکسین Non-nitroxin	نیشابور Neyshabour	0.541^{e}	0.453^{d}	0.994^{f}	19.549^{k}	50.373^{e}
		مشهد Mashhad	0.459^{f}	0.351^{e}	0.809^{h}	20.588^{k}	47.844^{f}
		سمیرم Semirom	0.864^{b}	0.667^{b}	1.53^{b}	28.002^{h}	46.321^{fg}
		اصفهان Esfahan	0.655^{d}	0.554^{c}	1.209^{d}	17.912^{l}	64.68^{b}
تنش متوسط آبی Moderate stress	نیتروکسین Nitroxin	نیشابور Neyshabour	0.531^{e}	0.445^{d}	0.976^{f}	22.762^{j}	45.778^{gh}
		مشهد Mashhad	0.343^{g}	0.34^{e}	0.683^{i}	32.116^{f}	41.623^{ij}
		سمیرم Semirom	0.549^{e}	0.552^{c}	1.101^{e}	33.828^{e}	45.995^{gh}
		اصفهان Esfahan	0.449^{f}	0.449^{d}	0.897^{g}	22.491^{j}	52.341^{d}
	عدم نیتروکسین Non-nitroxin	نیشابور Neyshabour	0.251^{h}	0.34^{e}	0.59^{j}	27.622^{h}	44.365^{h}
		مشهد Mashhad	0.131^{i}	0.145^{h}	0.276^{n}	23.421^{ij}	42.445^{i}
		سمیرم Semirom	0.335^{g}	0.45^{d}	0.785^{h}	30.757^{g}	41.796^{i}
		اصفهان Esfahan	0.236^{h}	0.343^{e}	0.579^{j}	24.288^{i}	46.892^{fg}
تنش شدید آبی Severe stress	نیتروکسین Nitroxin	نیشابور Neyshabour	0.31^{g}	0.17^{g}	0.479^{kl}	34.643^{e}	37.936^{lm}
		مشهد Mashhad	0.256^{h}	0.241^{f}	0.497^{k}	48.329^{c}	31.577^{o}
		سمیرم Semirom	0.45^{f}	0.346^{e}	0.796^{h}	47.475^{c}	39.809^{jk}
		اصفهان Esfahan	0.326^{g}	0.14^{hi}	0.465^{kl}	39.07^{d}	30.657^{o}
	عدم نیتروکسین Non-nitroxin	نیشابور Neyshabour	0.254^{h}	0.125^{i}	0.379^{m}	50.867^{b}	30.939^{o}
		مشهد Mashhad	0.101^{i}	0.133^{hi}	0.234^{o}	27.028^{h}	35.503^{n}
		سمیرم Semirom	0.112^{i}	0.339^{e}	0.45^{l}	64.546^{a}	38.636^{kl}
		اصفهان Esfahan	0.102^{i}	0.134^{hi}	0.235^{o}	37.987^{d}	36.122^{mn}

نتایج مقایسه‌های میانگین سه‌گانه تیمارهای مختلف برای کلروفیل a نشان داد که بیش‌ترین (۰/۹۹۵۳ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر برگ) و کم‌ترین(۰/۱۰۱ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر برگ) میزان کلروفیل a به‌ترتیب مربوط به اکوتیپ‌های سمیرم در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی

گیاه و اعمال کود زیستی نیتروکسین و اکوتیپ مشهد در شرایط ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه و عدم اعمال کود زیستی نیتروکسین بود (جدول ۶). همین‌طور نتایج مقایسه‌های میانگین سه‌گانه تیمارهای مختلف برای کلروفیل b نشان داد که اکوتیپ سمیرم در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و اعمال کود زیستی نیتروکسین بیش‌ترین (۰/۷۱۷ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر برگ) و اکوتیپ نیشابور در شرایط عدم نیتروکسین و ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه کم‌ترین (۰/۱۲۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) را دارا بودند (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین سه‌گانه تیمارها نشان داد، اکوتیپ سمیرم در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و اعمال کود زیستی نیتروکسین بیش‌ترین (۱/۶۷ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر برگ) و اکوتیپ مشهد در شرایط عدم اعمال کود نیتروکسین و ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه دارای کم‌ترین (۰/۲۳۴ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر برگ) میزان کلروفیل کل بود (جدول ۶).

کلروفیل‌ها مولکول‌های ضروری هستند که مسئول دریافت انرژی خورشیدی در سیستم‌های فتوسنتزی می‌باشند و غلظت آن به‌عنوان یک شاخص برای ارزیابی قدرت منبع شناخته شده است، لذا کاهش در آن در شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌عنوان یک عامل محدودکننده غیر روزنه‌ای به‌حساب آید (Tanaka & Tanaka, 2006). کاهش مقدار این رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی می‌تواند عمدتاً به‌دلیل تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها، واکنش آن‌ها با ROS، تخریب پیش-ماده‌های سنتز کلروفیل و ممانعت از بیوسنتز کلروفیل‌های جدید و فعال شدن آنزیم‌های تجزیه‌کننده کلروفیل و اختلالات هورمونی باشد (Sultana et al., 1999).

نتایج کریم‌زاده اصل و باغبانی آرانی (Karim Zadeh Asl & Baghbani Arani, 2019) بر زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) نشان دادند که با افزایش شدت تنش خشکی کلروفیل کل، کلروفیل a و b کاهش یافت از طرفی، کودهای زیستی موجب افزایش کلروفیل کل، کلروفیل a و b گردیدند. همچنین اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری و کود زیستی بر میزان کلروفیل کل، کلروفیل a و b معنی‌دار گردید، به‌گونه‌ای که بیش¬ترین میزان کلروفیل کل، کلروفیل a و b در تیمار آبیاری در ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر با کاربرد کود زیستی نیتروکسین و بیوفسفر به‌دست آمد. نتایج تحقیق کبیری و همکاران (Kabiri et al., 2014) نیز نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار کلروفیل a، b و کل گیاه سیاه¬دانه گردید شفتاوی و تاوسفکی (Sheteawi & Tawfik, 2007) در گزارش خود کاهش کلروفیل a در گیاه ماش (*Vigna radiata* L.) بر اثر تنش خشکی را مربوط به افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول عنوان کردند. این رادیکال سبب پر اکسیداسیون و در نتیجه، تجزیه این رنگیزه می‌شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش، می‌توان نتیجه گرفت که بخشی از کاهش عملکرد دانه در سیاه‌دانه می‌تواند به‌دلیل کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه در شرایط تنش خشکی باشد که منجر به کاهش فتوسنتز در گیاه می‌گردد. مطابق با نتایج این آزمایش، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد دانه سیاه‌دانه تحت اعمال تنش خشکی تحت کاربرد کود زیستی نیتروکسین در مقایسه با عدم اعمال آن افزایش یافتاثرات مثبت این کود زیستی بر عملکرد نهایی را می‌توان به‌دلیل بهبود صفات فیزیولوژیک (میزان کلروفیل برگ، نشت یونی و محتوای نسبی آب برگ) ارتباط داد. همچنین کاربرد کود زیستی نیتروکسین میزان نیاز آبی سالانه گیاه را به نحو مطلوبی کاهش داد و این در حالی بود که این کاهش در میزان آب آبیاری مصرفی موجب کاهش فراوان ای در عملکرد اقتصادی حاصل از گیاه نگردید. به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد کودهای زیستی می‌تواند موجب بهبود عملکرد و خصوصیات کمی گیاه دارویی سیاه‌دانه تحت محدودیت آبی گردد، با این‌وجود، این موضوع نیاز به بررسی‌های بیش‌تر خواهد داشت.

References

Ahmad, S., and Beg, Z.H., 2013. Hypolipidemic and antioxidant activities of thymoquinone and limonene in atherogenic suspension fed rats. Food Chemistry 138(2): 1116-1124. 10.1016/j.foodchem.2012.11.109.

Akbarinia, A., Khosravifard, M., Sharifi Ashoorabadi, E., and Babakhanlou, P., 2005. Effect of irrigation intervals on yield and agronomic characteristics of black cumin (*Nigella sativa*). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 2(1): 65-73. (In Persian with English Summary). 10.22092/IJMAPR.2005.115208.

Allahmoradi, P., Mansourifar, C., Saidi, M., and Jalali Honarmand, S., 2013. Water deficiency and its effects on grain

yield and some physiological traits during different growth stages in lentil (*Lens culinaris* L.) cultivars. Annals of Biological Research 4(5): 139-145.

Anjum, S.A., Wang, L.C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L.L., and Zou, C.M., 2011. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. Journal of Agronomy and Crop Science 197: 177–185. 10.1111/j.1439-037X.2010.00459.x

Arnon, D.I., 1975. Physiological principles of dryland crop production. Gupta, U. S. (Eds.). Physiological aspects of dryland farming. Oxford Press. p. 3-14.

Bannayan, M., Najafi, N., Azizi, M., Tabrizi, L., and Rastgoo, M., 2009. Yield and seed quality of *Plantago ovata* and *Nigella sativa* under different irrigation treatments. Industrial Crops and Products 27: 11-16. 10.1016/j.indcrop.2007.05.002.

Besh, Z., Danesh shahraki, A., Qobadynya, M., and Saeedi, K., 2018. Effect of plant growth-promoting bacteria on agromorphological traits of black seed under water deficit stress. Journal of Environmental Stresses in Crop Science. 2: 525-537. (In Persian with English Summary). 10.22077/ESCS.2018.1347.1282.

Blum, A., 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential-are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? Australian Journal of Agricultural Research 56: 1159-1168. 10.1071/AR05069.

Caob, Z.H., Lib, Z.G., Cheunga, K.C., and Wong, M.H., 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. Geoderma 125: 155-166. 10.1016/j.geoderma.2004.07.003.

Dastborhan, S., Zehtab-Salmasi, S., Nasrollahzadeh, S., and Tavassoli, A.R., 2010. Effect of some plant growth promoting rhizobacteria and nitrogen fertilizer on morphological characteristics of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Journal of Agroecology 2: 565-573. (In Persian with English Summary). 10.22067/JAG.V2I4.8785.

Dehghani Meshkani, M.R., Naghdi Badi, H.A., Darzi, M.T., Mehr Afarin, A., Rezazadeh, S., and Kadkhoda, Z., 2011. The effect of biological and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of chamomile (*Matricaria recutita* L.). Journal of Medicinal Plants 2(38): 35-48. (In Persian with English Summary). 20.1001.1.2717204.2011.10.38.4.7.

Demirevska, K., Zasheva, D., Dimitrov, R., Simova-Stoilova, L., Stamenova, M., and Feller, U., 2009. Drought stress effects on rubisco in wheat: Changes in the rubisco large subunit. Acta Physiologiae Plantarum 31: 1129-1138. 10.1080/07352680590910410.

Döbereiner, J., 1997. A importância da fixação biológica de nitrogênio para a agricultura sustentável. BiotecnologiaCiência and Desenvolvimento. Encarte Especial 1: 2-3

Dordipour, E., Farshadirad, A., and Arzanesh, M.H., 2010. Effect of *Azotobacter chrococoum* and *Azospirillum lipoferum* on the release of soil potassium in pot culture of soybean (*Glycine max* var. Williams). Journal of Agroecology 2: 593–599. (In Persian with English Summary). 10.22067/jag.v2i4.8797.

Earl, H., and Davis, R.F., 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. Agronomy Journal 95: 688-696. 10.2134/agronj2003.6880.

Ehyaii , H.R., Rezvani Moghadam, P., and Amiri Deh Ahmadi, S.R., 2010. Investigation of the effect of drought stress on some morphological indices of three medicinal plants of thistle, evergreen and blackberry in greenhouse conditions. First National Conference on Environmental Stress in Agricultural Sciences. 137. (In Persian with English Summary)

Ekrena, S., Sonmez, C., Ozcakal, E., Kurttas, Y.S.K., Bayram, E., and Gurgulu. H., 2012. The effect of different irrigation water levels on yield and quality characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum* L.). Agricultural Water Management 109: 155-161. 10.1016/j.agwat.2012.03.004.

Entok, E., Ustuner, M.C., Ozbayer, C., Tekin, N., Akyuz, F., Yangi, B., and Gunes, H.V., 2014. Anti-inflammatuar and antioxidative effects of *Nigella sativa* L. 18FDG-PET imaging of inflammation. Molecular Biology Report 41(5): 2827- 2834. 10.1155/2012/429320.

Farhoudi, R., and Modhej, A., 2018. Effect of drought stress on seed yield, essential oil yield and ability of reactive oxygen species scavenging in *Nigella sativa* L. ecotypes. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 34(3): 511-525. (In Persian with English Summary). 10.22092/IJMAPR.2018.116805.2224.

Fu, J., and Huang, B., 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool season grasses to localized drought stress. Environmental and Experimental Botany 45: 105-114. 10.1016/S0098-8472(00)00084-8.

Ghanbari, M., Khoshti Bidgoli, A., and Talebii seah saran, P., 2018. Effect of biofertilizers on yield components, yield, protein and soybean oil (*Glycine max* Merrill.) under different irrigation regimes. Journal of Plant Environmental

Physiology 13(52): 1-15. (In Persian with English Summary). 20.1001.1.76712423.1397.13.52.1.0.

Goreja, W.G., 2003. Black Seed: Nature's Miracle Remedy. New York, NY7 Amazing Herbs Press. pp. 46.

Gorgini Shabankare, H., Fakheri, B.A., and Mohammadpour Vashvaei, R., 2017. The effect of bio-fertilizers on growth, grain and essential oil yield of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress. Journal of Agroecology 9(1): 50-62. (In Persian with English Summary). 10.22067/JAG.V9I1.35321.

Güllü, E.B., and Gülcan, A., 2013. Timokinon: *Nigella sativa*' lınn biyoaktif komponenti. Kocatepe Veterinary Journal 6(1): 51-61. http://hdl.handle.net/11630/2330.

Hamed, K.B., Castagna, A., Salem, E., Ranieri, A., and Abdelly, C., 2007. Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions: A comparison of leaf and root antioxidant responses. Plant Growth Regulation 53(3): 185-194. 10.1007/s10725-007-9217-8.

Irigoyen, J.J., Einerich, D.W., and Sánchez-Díaz, M., 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiologia Plantarum 84: 55-60. 10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x.

Jaberi, M., Baradaran, S.G., and Aghhavani Shajari, M., 2015. Effect of biofertilizers and irrigation intervals on yield component and yield of fenugreek (*Trigonella foenum- graecum* L.). Iranian Journal of Horticultural Science 29(3): 426-437. (In Persian with English Summary). 10.22067/jhorts4.v0i0.32414.

Jafarzadeh, L., Omidi, H., and Bostani, A.A., 2013. Effect of drought stress and bio-fertilizer on flower yield, photosynthesis pigments and proline content of Marigold (*Calendula officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 29(3): 666-680. (In Persian with English Summary). 10.22092/IJMAPR.2013.4049.

Kabiri, R., Farahbakhsh, H., and Nasibi, F., 2014. Effect of drought stress on physiological and biochemical characteristics of *Nigella sativa* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 30(4): 600-610. (In Persian with English Summary). 10.22092/IJMAPR.2014.9841.

Kapulnik, Y., Gafny, R., and Okon, Y., 1985. Effect of *Azospirillum* spp. inoculation on root development and NO_3^- uptake in wheat in hydroponic system. Canadian Journal of Botany 63: 627-631. 10.1139/b85-078.

Karim Zadeh Asl, K.H., and Baghbani Arani, A., 2019. The effect of different irrigation regimes and biofertilizers on grain yield, essential oil content, some physiological traits and uptake of minerals in cumin. Journal of Environmental Stresses in Crop Science 12: 817-830. (In Persian with English Summary). 10.22077/escs.2019.1565.1352.

Khorram Del, S., Koocheki, A.R., Nasiri Mahalati, M., and Ghorbani, R., 2010. Effect of biological fertilizers on yield and yield components of *Nigella sativa* L. Iranian Journal of Field Crops Research 8(5): 768-776. (In Persian with English Summary). 10.22067/GSC.V8I5.8017.

Laribi, B., Bettaieb, I., Kouki, K., Sahli, A., Mougou, A., and Brahim, M., 2009. Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oils and fatty acids composition. Industrial Crops and Products 30: 372-379. 10.1016/j.indcrop.2009.07.005.

Lawlor, D.W., and Cornic, G., 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant, Cell and Environment 25: 275-294. 10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x.

Liu, C., Liu, Y., Guo, K., Fan, D., Li, G., Zheng, Y., Yu, L., and Yang, R., 2011. Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China. Environmental and Experimental Botany 71: 174–183. 10.1016/j.envexpbot.2010.11.012.

Lobell, D.B., Schlenker, W., and Costa-Roberts, J., 2011. Climate trends and global crop production since 1980. Science 333: 616-620.

Maafi Pashaklaei, R., 2010. Evaluation of drought tolerance in germination stage of safflower cultivars. National Conference on New Achievements in Oilseed Crop Production, p. 1-4. Bojnurd. (In Persian)

Maliki, A., and Sinki, G.M., 2005. Effect of irrigation intervals and nitrogen splitting on yield and yield components of spring canola. Ecology of Crop Plants 1(1): 35-43.

Moradi Marjana, E., and Goldani, M., 2011. Evaluation of different levels of salicylic acid on some growth indices of *calendula officinalis* L. under irrigated conditions. Environmental Stresses in Agricultural Sciences 4(1): 33-45. (In Persian with English Summary). 10.22077/ESCS.2011.97.

Mousavi Nick, M., 2012. Effect of different levels of sulfur fertilizer on the quantitative and qualitative yield of medicinal plant (*Plantago ovata* L.) under drought stress in Baluchistan. Journal of Agroecology 4(20): 170-182. (In Persian with English Summary)

Nayyar, H., and Walia, D.P., 2003. Water stress induced proline accumulation in contrasting wheat genotypes as affected

by calcium and abscisic acid. Biologia Plantarum 46: 275–279.

Negat Zadeh, F., 2015. Effect of nitrogen biological and chemical fertilizers on growth, yield and composition of plant essential oil (*Anethum graveolens* L.).New Molecular Cell Biotechnology 5(19): 77-84. (In Persian with English Summary). 20.1001.1.22285458.1394.5.19.7.9.

Norouzpour, G., and Rezvani Moghaddam. P., 2006. Effect of different irrigation intervals and plant density on oil yield and essential oil of *Nigella sativa*. Research and Construction 19(4): 133-138. (In Persian with English Summary). 10.22067/GSC.V3I2.1313.

Pandey, R.K., Marienville, J.W., and Adum, A., 2000. Deficit irrigation and nitrogen effect on maize in an aphelia environmental grain yield components. Agricultural Water Management 46: 1-13. 10.1016/S0378-3774(00)00073-1.

Por Akbar, L., Khayami, M., and Jalil, J., 2008. The interaction of Cu and EDTA on K+ Leakage and some metals content in root and shoot of corn rootstocks. Journal of Science (Kharazmi University) 8(2): 121-123. (In Persian with English Summary)

Praba, M.L., Cairns, J.E., Babu, R.C., and Lafitte, H.R., 2009. Identification of physiological traits underlying cultivar differences in drought tolerance in rice and wheat. Journal of Agronomy and Crop Science 195: 30-46. 10.1111/j.1439-037X.2008.00341.x.

Rajendran, K., and Devaraj, P., 2004. Biomass and nutrient distribution and their return of *Casuarina equisetifolia* inoculated with biofertilizers in farm land. Biomass and Bioenergy 26: 235-249. 10.1016/j.biombioe.2003.07.001.

Razavi, B., and Hosseinzadeh, H., 2014. A review of the effects of *Nigella sativa* L. and its constituent, thymoquinone, in metabolic syndrome. Journal of Endocrinological Investigation 37(11): 1031-1040. 10.1007/s40618-014-0150-1.

Rezaei Chianeh, A., and Pirzad, A.R., 2014. The effect of salicylic acid on yield, yield components and black seed essential oil under dehydration stress. Iranian Journal of Field Crops Research 12(3): 427-437. (In Persian with English Summary)

Rezaie Chianeh, I., Zahhtab Salmasi, S., Ghasemi Golzani, K., and Del Azar, A., 2012. Effects of different irrigation treatments on essential oil accumulation, its components and some ecophysiological traits in fennel. Government - Ministry of Science, Research, and Technology - Tabriz University- Faculty of Agricultural Science (In Persian with English Summary)

Rezapor, A.R., Heidari, M., Galavi, M., and Ramrodi. M., 2011. Effect of water stress and different amounts of sulfur fertilizer on grain yield, grain yield components and osmotic adjustment in *Nigella sativa* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27(3): 384-396. (In Persian with English Summary). 10.22092/IJMAPR.2011.6380,

Sardari, H., Asghari Zakaria, R., Zare, N., Ghafarzadeh Namazi, L., and Moghaddaszadeh, M., 2020. Evaluation of black cumin (*Nigella sativa* L.) ecotypes under drought stress conditions at flowering stage. Journal of Crop Breeding 12(34): 138-150. (In Persian with English Summary). 10.29252/jcb.12.34.138.

Schonfeld, M.A., Johnson, R.C., Carver, B.F., and Mornhinweg, D.W., 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. Crop Science 28: 526-531. 10.2135/cropsci1988.0011183X002800030021x.

Shaalan, M.N., 2005. Influence of biofertilizers and chicken manure on growth, yield and seeds quality of (*Nigella sativa* L.) plants. Egyptian Journal of Agricultural Research 83: 811-828. 10.21608/EJAR.2005.245568.

Shabanzadeh, S.H., and Golavi, M., 2011. Effect of foliar application and irrigation period on agronomic characteristics and yield of black seed. Environmental Stresses in Agricultural Sciences 4(1): 1-9. (In Persian with English Summary). 10.22077/ESCS.2011.94.

Sharifi, P., and Mohammadkhani, N., 2017. Physiological responses and antioxidant activities in flag leaf and spike of wheat genotypes under drought stress. Journal of Plant Environmental Physiology 12(46): 15-30.

Sharma, P., and Dubey, R.S., 2005. Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. Plant Growth Regulation 46(3): 209-221. 10.1007/s10725-005-0002-2

Sheteawi, S.A., and Tawfik. K.M., 2007. Interaction effect of some biofertilizers and irrigation water regime on mungbean (*Vigna radiate*) growth and yield. Journal of Applied Sciences Research 3(3): 251-262.

Shiferaw, B., and Baker, D.A., 1996. An evaluation of drought screening techniques for Eragrostis tef. Tropical Science 36: 74-85.

Singh, S., Das, S., Singh, G., Schuff, C., de Lampasona, M.P., and Catalán, C.A., 2014. Composition, in vitro antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and oleoresins obtained from black cumin seeds (*Nigella sativa* L.). BioMed Research International.1-10. 10.1155/2014/918209.

Sreevalli, Y., Baskaran, K., Chandrashekara, R.,kuikkarni, R., Sushil Hasan, A., Samresh, D., Kukre,J., Ashok, A.,

Sharma Singh, K., Srikant, S., and Rakesh, T., 2001. Preliminary observations on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in Periwinkle. Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences 22: 356-358.

Sultana, N., Ikeda, T., and Itoh, R., 1999. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. Environmental and Experimental Botany 42(3): 211-220. 10.1016/S0098-8472(99)00035-0.

Tanaka, A., and Tanaka, R., 2006. Chlorophyll metabolism. Plant Biology 9: 248-255.

Tas, S., and Tas, B., 2007. Some physiological responses of drought stress in wheat genotypes with different ploidity in Turkiye. World Journal of Agriculture and Science 3: 178-183.

Vessey, J.K., 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil 255: 571-586.

Wang, Z., and Huang, B., 2004. Physiological recovery of Kentucky bluegrass from simultaneous drought and heat stress. Journal of Crops Science 44: 1729-1736. 10.2135/cropsci2004.1729.

Wheutherley, P.E., 1950. Studies in water relations of cotton plants. The field measurement of water deficit in leaves. New Phytologist 49: 81-87. 10.1111/j.1469-8137.1950.tb05146.x.

Yousefi, M., Nasrollahzadeh, A.V., and Moharramnejad, S., 2016. Evaluation of grain yield, chlorophyll content, osmolality, total polyphenol content, and catalase activity of maize (*Zea mays* L.) in response to drought stress. Journal of Plant Environmental Physiology 12(46): 1-14. (In Persian with English Summary)

Youssef, A.A., Edris, A.E., and Gomaa, A.M., 2004. A comparative study between some plant growth regulators and certain growth hormones producing microorganisms on growth and essential oil composition of *Salvia officinalis* L. Plant Annals of Agricultural Sciences 49: 299-311.

Zavareh, M., and Imam, Y., 2005. Drought Tolerance in Excellent Plants. University Publication Center. pp. 194.

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

CC BY

Research Article
Vol. 14, No. 3, Fall 2022, p. 509-529

Application of Multivariate Statistical Techniques for Determining Affecting Factors in Water Use Efficiency of Maize (*Zea mays* L.) under Conditions of Simultaneous Application of Nitrogen and Eco-friendly Inputs

M. Jahan[1], M.B. Amiri[2*], M. Salehabadi[3], N. Naseri[3] and S. Abbasi[4]

Received: 05-08-2020
Revised: 07-06-2021
Accepted: 07-06-2021
Available Online: 13-12-2022

How to cite this article:
Jahan, M., Amiri, M.B., Salehabadi, M., Naseri, N., and Abbasi, S., 2022. Application of multivariate statistical techniques for determining affecting factors in water use efficiency of maize (*Zea mays* L.) under conditions of simultaneous application of nitrogen and eco-friendly inputs. Journal of Agroecology 14(3): 509-529.
DOI: 10.22067/agry.2021.67224.0

Introduction

Water stress is one of the most important factors in reducing the yield of agricultural products worldwide. If the stress is intensive and continuous, plant growth and productivity are severely diminished.

Water superabsorbent polymer can absorb and retain extremely large amounts of a liquid relative to its own mass. They have a wide range of applications because of their high water-absorbing capacity, biodegradability, and low cost. Humic acid is an organic compound that is derived from the decomposition of organic matter and contains carbon, hydrogen, oxygen, and nitrogen. This acid plays a key role in increasing the fertility of the soil and feeding the plant when added to the plant, it helps to increase its growth through its effect on photosynthesis, and respiration increases the plant's resistance to harsh environmental conditions and stimulates many of the vital interactions within the plant. Salicylic acid, a naturally occurring plant hormone, acts as an important signaling molecule and enhances the tolerance of treated plants against biotic stresses. Salicylic acid also has a vital role in plant growth, ion uptake, and nutrient transport within the plant. Factor analysis is a technique that is used to reduce a large number of variables into fewer numbers of factors. This technique extracts the maximum common variance from all variables and puts them into a common score.

Materials and Methods

In order to evaluate the effects of different irrigation levels and nutritional treatments and determine factors affecting the water use efficiency of maize (*Zea mays* L.), a split plots experiment based on RCBD design with three replications was conducted during the 2015-16 growing season, at Research Field of Ferdowsi University of Mashhad, Iran. Irrigation levels in two levels (50 and 100% of water requirement) and nutritional treatments in five levels (1- Nitrogen+Superabsorbent, 2- Superabsorbent+Humic acid+Salicylic acid, 3- Humic acid+Salicylic acid+Nitrogen, 4- Humic acid+ Salicylic acid+Nitrogen+Superabsorbent and 5- Control) assigned to main and subplots, respectively.

Results and Discussion

1- Proffessor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2 and 3- Assistant Professor and B. Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Gonabad, Gonabad, Iran.
4-M.Sc. Student, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

The results showed that all of the nutritional treatments affected water use efficiency, but in both conditions of 50 and 100% of water requirement, the highest water use efficiency was obtained in the treatment of Humic acid+Salicylic acid+Nitrogen+Superabsorbent. The highest seed yield (17542 $kg.ha^{-1}$) was observed in the treatment of nitrogen+superabsorbent+humic acid+Salicylic acid and supplied 100% of the water requirement and the lowest seed yield (12515 $kg.ha^{-1}$) was obtained in the treatment of control and supply 50% of water requirement. Factor analysis results showed that variables were analyzed to two factors. The first factor included 51% of variables variance, respectively. The first factor included variables of seed yield, biological yield, plant height, leaf area index, crop growth rate, soil nitrogen, phosphorous, and pH, and variables of seed weight per plant, soil EC and water use efficiency were in the second factor. In the first factor, important variables such as soil nitrogen, and phosphorous were included, so this factor describe soil conditions and second factor which had the highest impact on water use efficiency was called as water use efficiency factor. It has been reported that application of water superabsorbent increased seed yield of maize compared to control. In another research, the highest seed yield of maize obtained in treatment of simultaneous application of 120 $kg.ha^{-1}$ water superabsorbent and 8 $kg.ha^{-1}$ humic acid. Application of salicylic acid and humic acid enhanced seed yield of maize 24.5 and 24.2% compared to control, respectively.

Conclusion

In general, based on the results of this research, it seems the simultaneous application of nitrogen and ecological inputs can improve yield, growth characteristics, and water use efficiency. Factor analysis and high correlation among variables in the same group showed that the change of variables that are in the same group of water use efficiency, can increase water use efficiency and decrease damages of drought stress.

Acknowledgments

This study was financially supported by the Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

Keywords: Drought Stress, Factor Analysis, Humic Acid, Salicylic Acid, Superabsorbent

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

مقاله پژوهشی

استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره در تعیین عوامل مؤثر بر کارآیی مصرف آب ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) در شرایط کاربرد هم‌زمان نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار

محسن جهان[1]، محمد بهزاد امیری[2*]، میلاد صالح‌آبادی[3]، نگار ناصری[3] و صدیقه عباسی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۳/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۷

جهان، م.، بهزاد امیری، م.، صالح‌آبادی، م.، ناصری، ن.، و عباسی، ص.، ۱۴۰۱. استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره در تعیین عوامل مؤثر بر کارآیی مصرف آب ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) در شرایط کاربرد هم‌زمان نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۳): ۵۲۹-۵۰۹.

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کاربرد هم‌زمان نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار در سطوح مختلف آبیاری و تعیین عامل‌های مؤثر بر کارآیی مصرف آب ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.)، آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۵- ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. سطوح آبیاری در دو سطح (۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) در کرت‌های اصلی و تیمارهای تغذیه‌ای در پنج سطح (۱- نیتروژن خالص + سوپرجاذب رطوبت، ۲- سوپرجاذب رطوبت + هیومیک اسید + سالیسیلیک اسید، ۳- هیومیک اسید + سالیسیلیک اسید + نیتروژن خالص، ۴- هیومیک اسید + سالیسیلیک اسید + نیتروژن خالص + سوپرجاذب رطوبت و ۵- شاهد) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج آزمایش نشان داد که اگر چه کاربرد کلیه تیمارهای تغذیه‌ای در بهبود کارآیی مصرف آب مؤثر بود، ولی در هر دو شرایط ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی بیشترین کارآیی مصرف آب در تیمار کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید به‌دست آمد. بیشترین عملکرد دانه (۱۷۵۴۲ کیلوگرم در هکتار) در تیمار کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید و تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی و کمترین عملکرد دانه (۱۲۵۱۵ کیلوگرم در هکتار) در شاهد و تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد. با توجه به نتایج تجزیه عاملی، متغیرها به دو عامل تجزیه شدند. عامل اول ۵۹ درصد از واریانس متغیرها را تبیین کرد. متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده‌ی خشک، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و نیتروژن، فسفر و پی‌اچ خاک روی عامل اول و متغیرهای وزن دانه در بوته، شوری خاک و کارآیی مصرف آب روی عامل دوم بیشترین بار را داشتند. در عامل اول، متغیرهای مهمی نظیر عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک و خصوصیات رشدی قرار گرفتند، بنابراین می‌توان این عامل را توصیف‌کننده عملکرد و عامل دوم که دارای بیشترین بار روی کارآیی مصرف آب بود، عامل کارآیی مصرف آب نامید. به‌طور کلی، با توجه به یافته‌های این پژوهش، به‌نظر می‌رسد که کاربرد هم‌زمان نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار ضمن بهبود عملکرد و خصوصیات رشدی گیاه، می‌تواند کارآیی مصرف آب را بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل عاملی، تنش خشکی، سالیسیلیک اسید، سوپرجاذب، هیومیک اسید

۱- دانشیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۲- استادیار مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران.
۳- دانش‌آموخته کارشناسی مهندسی تولیدات گیاهی مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران.
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: (Email: amiri@gonabad.ac.ir

DOI: 10.22067/agry.2021.67224.0

مقدمه

دسترسی ناکافی به آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، افزایش کارایی مصرف آب را به‌عنوان یکی از محورهای اصلی کشاورزی پایدار در این مناطق مطرح کرده است. تنش آب از یک‌سو، خصوصیات کمّی و کیفی گیاه را کاهش می‌دهد و از سوی دیگر، به‌دلیل بالا بودن قیمت آب، خرید آب برای کشاورزان را به یک معضل بزرگ تبدیل کرده است. از این رو، در سال‌های اخیر تلاش-های فراوانی به‌منظور افزایش کارایی مصرف آب صورت گرفته است، که در این مسیر، بهره‌گیری از سوپرجاذب‌ها و محلول‌پاشی نهاده‌های بوم‌سازگاری نظیر هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید به‌عنوان راهکارهای اساسی جهت صرفه‌جویی و استفاده‌ی بهینه‌ی آب مدنظر قرار گرفته‌اند (Islam et al., 2011).

سوپرجاذب‌ها از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی و ساختمان خاک (Chu et al., 2006)، افزایش جوانه‌زنی و سبز شدن بذر (EneJi et al., 2013)، کاهش نیاز آبی گیاه (Xie et al., 2011) و کاهش میزان تبخیر از سطح خاک (Nykanen et al., 2011)، منجر به بهبود خصوصیات کمّی و کیفی محصولات مختلف می‌شوند. با بررسی اثر سطوح مختلف سوپرجاذب بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) گزارش شد (Karimi & Naderi, 2007) که با افزایش مقادیر مصرفی سوپرجاذب، عملکرد دانه و علوفه ذرت به‌میزان قابل‌توجهی در مقایسه با شاهد افزایش یافت. در پژوهشی دیگر گزارش شد که کاربرد سوپرجاذب ضمن کاهش تنش خشکی در ذرت، منجر به افزایش ۱۶ درصدی عملکرد این گیاه شد (Khadem et al., 2011). اثر پلیمر سوپرجاذب در ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۳ نشان داد که مصرف این نهاده باعث صرفه‌جویی در آب آبیاری به‌میزان ۱۳/۴ درصد در طول دوره رشد گردید (Aghayari et al., 2016). کاربرد سوپرجاذب رطوبت عملکرد دانه ذرت را در سطح آبیاری ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر ۳۸ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (Hassanzadeh & Farajzadeh Memari Tabrizi, 2016).

ماده آلی خاک شامل دو گروه بزرگ از ترکیبات هیومیکی و غیرهیومیکی است. به‌نظر می‌رسد، مواد هیومیکی بیشتر شامل مواد آلی کربنی در سطح زمین باشد و در آب، خاک، دریاچه‌ها و اقیانوس‌ها وجود دارند. این مواد، محدود به اکوسیستم خاک و شرایط آب و هوایی نمی‌شوند و شامل یک بنیان هتروژنی تیره‌رنگ، غیرمتبلور (بی‌شکل) همراه با موادی با وزن مولکولی بالا می‌باشند (Rentato et al., 2003). مواد هیومیکی، به‌وسیله نیروهای ضعیف به هم باند شده‌اند تا ثبات شیمیایی بیشتری از خود نشان دهند. این مواد نسبت به مواد غیرهیومیکی، کمتر در دسترس موجودات زنده هستند. مواد هیومیکی بین ۶۵ تا ۸۰ درصد کل مواد آلی خاک را تشکیل می‌دهند (Piccolo et al., 1992). کودهای هیومیکی با اکثر کودهای شیمیایی سازگار بوده و قابل اختلاط می‌باشند، در آب به‌خوبی حل شده و می‌توان آن‌ها را از طریق محلول‌پاشی، مصرف خاکی و سیستم‌های آبیاری تحت فشار مورد استفاده قرار داد. شریف و همکاران (Sharif et al., 2002) گزارش کردند که کاربرد ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم هیومیک اسید بر کیلوگرم خاک در ذرت، افزایش وزن خشک ریشه و ساقه و افزایش معنی‌دار غلظت نیتروژن خاک و نیتروژن ذخیره شده گیاه را نسبت به شاهد به همراه داشت. بررسی اثر مقادیر مختلف سوپرجاذب رطوبت و هیومیک اسید در شرایط کم‌آبیاری در ذرت نشان داد که بیشترین عملکرد دانه زمانی حاصل شد که به‌ترتیب از ۱۲۰ و ۸ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب رطوبت و هیومیک اسید استفاده شد و در هر نوبت آبیاری ۳۰۰ مترمکعب در هکتار آب در اختیار گیاه قرار گرفت و بیشترین تأثیرگذاری هیومیک اسید در بهبود عملکرد ماده خشک در تیمار ۶ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (Jahan et al., 2017). در پژوهشی دیگر، اثر محلول‌پاشی هیومیک اسید در جذب عناصر غذایی گندم (*Triticum aestivum* L.) بررسی و گزارش شد که هیومیک اسید به‌طور معنی‌داری جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم را افزایش داد (Shaban, 2009).

سالیسیلیک اسید یا اورتوهیدروکسی بنزوئیک اسید متعلق به گروهی از ترکیبات فنلی است که به‌طور وسیعی در گیاهان وجود دارد و امروزه به‌عنوان ماده‌ی شبه‌هورمونی به‌شمار می‌رود (Kang & Wang, 2003). این اسید در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه نظیر افزایش میزان فتوسنتز و محتوای کلروفیل، بسته شدن روزنه‌ها، جذب یون‌ها، جلوگیری از بیوسنتز اتیلن، کاهش تنفس و افزایش مقاومت به تنش، نقش ایفا می‌کند (El-Tayeb, 2005). در پژوهشی، تأثیر تنش کم‌آبی و کاربرد هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید بر صفات فیزیولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد ذرت نشان داد که

کاربرد هیومیک اسید، سالیسیلیک اسید و مصرف توأم هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید به‌ترتیب افزایش معنی‌دار ۷/۵، ۷/۷ و ۸/۹ درصدی شاخص کلروفیل، ۲۲/۵، ۲۲/۶ و ۲۰/۷ درصدی وزن هزار دانه و ۲۶/۵، ۱۸/۵ و ۲۱/۷ درصدی عملکرد دانه را نسبت به شاهد سبب شد (Ragh Ara & Moosavi, 2018). در پژوهشی دیگر، اثر سالیسیلیک اسید بر رشد و عملکرد دانه ذرت در شرایط تنش خشکی بررسی و گزارش شد که سالیسیلیک اسید در هر دو شرایط تنش و غیرتنش منجر به افزایش عملکرد دانه شد (Mehrabian Moghaddam et al., 2011). کاربرد سالیسیلیک اسید و هیومیک اسید در ذرت به‌ترتیب افزایش ۶۱/۲ و ۳۹/۳ درصدی محتوای نسبی آب برگ، ۱۳/۱ و ۲۳/۷ درصدی وزن بلال و ۲۴/۵ و ۲۴/۲ درصدی عملکرد را در پی داشت (Dehghanzadeh Jazi & Adavi, 2019).

تحلیل عاملی یکی از روش‌های پیشرفته آماری است که بر مبنای آن متغیرها به‌گونه‌ای دسته‌بندی می‌شوند که در نهایت، به دو یا چند عامل که همان مجموعه متغیرها هستند، محدود می‌گردند، بنابراین هر عامل را می‌توان متغیری ساختگی یا فرضی در نظر گرفت که از ترکیب چند متغیر که از وجوهی به هم شباهت دارند، ساخته شده است. عامل متغیر جدیدی است که از طریق ترکیب خطی مقادیر اصلی متغیرهای مشاهده شده برآورد می‌شود. داده‌های اولیه برای تحلیل عاملی، ماتریس همبستگی بین متغیرها است و متغیرهای وابسته از پیش تعیین شده‌ای ندارد. یکی از بیشترین کاربردهای تحلیل عاملی، کاهش داده‌ها در انجام پژوهش است، چرا که در برخی از پژوهش‌ها وجود متغیر زیاد انجام تحلیل نهایی را دچار مشکل می‌کند (Mansourfar, 2012).

با توجه به کمبود فعلی فزاینده آب و نظر به اهمیت استفاده از نهاده‌های بوم‌سازگار در افزایش بهره‌وری آب و انجام مطالعات اندک در زمینه استفاده از تکنیک‌های آماری در شناسایی عوامل مؤثر در کارآیی مصرف آب، این پژوهش با هدف استفاده از تجزیه و تحلیل عاملی در تعیین عوامل مؤثر بر کارآیی مصرف آب ذرت در شرایط کاربرد هم‌زمان نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار انجام شد. لازم به ذکر است، اثرات مثبت و منفی کودهای شیمیایی و به‌ویژه کود نیتروژن در ذرت در پژوهش‌های دیگری مطالعه شده است (Ahmadi et al., Heidaripour et al., 20172018;)، ولی در این پژوهش، هدف بررسی کاربرد هم‌زمان کود شیمیایی نیتروژن و نهاده‌هایی همچون سوپرجاذب رطوبت، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد (طول جغرافیایی ˚۵۹ ˊ۲۸ شرقی و عرض جغرافیایی ˚۳۶ ˊ۱۵ شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) در زمینی به مساحت حدود ۱۰۰۰ مترمربع به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. سطوح آبیاری (۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاهان مورد آزمایش) در کرت‌های اصلی و تیمارهای تغذیه‌ای (۱- کاربرد ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به‌علاوه ۸۰ کیلوگرم سوپرجاذب رطوبت، ۲- کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب رطوبت به‌علاوه کاربرد توأم شش کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید و یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید، ۳- کاربرد توأم شش کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید و یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به‌علاوه کاربرد ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، ۴- کاربرد توأم شش کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید و یک میلی‌مولار سالیسیلیک اسید به‌علاوه ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به‌علاوه ۸۰ کیلوگرم سوپرجاذب رطوبت و ۵- شاهد (عدم مصرف کود)) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

مقادیر هر یک از نهاده‌های مورد استفاده بر اساس نتایج برخی پژوهش‌های قبلی نگارندگان (Jahan et al., 2013; Jahan et al., 2015; Jahan et al., 2017) و بررسی منابع انجام شده (Bagheri et al., 2011; Mohammadzadeh et al., 2012; Bahrani & Babaei, 2007; Farahani et al., 2012) انتخاب شد.

ابعاد کرت‌های اصلی ۳×۶ متر و ابعاد کرت‌های فرعی ۳×۳ متر در نظر گرفته شد. قبل از انجام آزمایش، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌گیری انجام و به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد (جدول ۱)، ضمن اینکه با توجه به ماهیت کودی بودن تیمارهای آزمایش، برای اطمینان از اثرات خالص نهاده‌ها بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد محصول و خصوصیات مربوط به خاک، از کودهای پایه ماکرو استفاده نشد.

به‌منظور محاسبه نیاز آبی ذرت در شرایط مشهد، از نرم‌افزار OPTIWAT استفاده شد (Alizadeh & Kamali, 2008). با اطلاع از طول فصل رشد ذرت، داده‌های مربوط به تبخیر و تعرق روزانه و فاصله آبیاری هفت روز، حجم آب مورد نیاز در هر بار آبیاری در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی مقدار ۴۰۰ متر مکعب در هکتار و برای ۵۰ درصد نیاز آبی مقدار ۲۰۰ متر مکعب در هکتار محاسبه شد.

جدول ۱- خصوصیات خاک، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید مورد استفاده

Table 1- Characteristics of used soil, superabsorbent, humic acid and salicylic acid

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک Physicochemical characteristics of soil		خصوصیات سوپرجاذب مورد استفاده Characteristics of used polymer super absorbent		خصوصیات هیومیک اسید مورد استفاده Characteristics of used humic acid		خصوصیات سالیسیلیک اسید مورد استفاده Characteristics of used salicylic acid	
بافت خاک Soil texture	لوم سیلتی Silty loam	ظاهر Appearance	پودر سفید رنگ White powder	نام تجاری Trade name	پوهوموس ۸۵ درصد WGS 85%	فرمول شیمیایی Chemical formula	$C_7H_6O_3$
نیتروژن کل Total N (%)	0.076	مقدار رطوبت Moisture content	کمتر از ۵ Less than 5	هیومیک اسید Humic acid (%)	85	جرم مولی Molar mass	138
فسفر قابل‌دسترس Available P (ppm)	11.9	بو و سمیت Odor and toxicity	0	اکسید پتاسیم Potassium oxid (%)	12	چگالی Density	1.4
پتاسیم قابل‌دسترس Available K (ppm)	472	چگالی توده‌ای Mass density ($g.cm^{-1}$)	0.8	آهن Fe (%)	1	دمای ذوب Melting teperature	158
هدایت الکتریکی Electrical conductivity ($dS.m^{-1}$)	2.3	اسیدیته pH	9.81	نیتروژن آلی Organic N (%)	0.8	دمای جوش Boiling temperature	200
کربن آلی خاک Soil organic C (%)	0.58			اسیدیته pH	9-10	انحلال‌پذیری در آب Solubility in water	2.4
اسیدیته pH	7.26					اسیدیته pH	2.1

آماده‌سازی زمین با تأکید بر خاک‌ورزی حداقل، انجام شد به این صورت که زمین فقط دیسک زده شد و پس از آن کلیه عملیات آماده‌سازی زمین توسط کارگر و با بیل دستی انجام گرفت. پس از آماده‌سازی زمین، مقدار سوپرجاذب برای هر یک از کرت‌های مربوطه محاسبه و به‌طور یکنواخت در سطح کرت‌های مورد نظر پخش و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری کاملاً با خاک مخلوط شدند. خصوصیات نهاده‌های مورد استفاده در آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

نیاز کودی ذرت برای نیتروژن از منبع شیمیایی (کود اوره)، با توجه به استفاده ترکیبی از این کود با سایر نهاده‌ها کمتر از میزان معمول و به‌طور متوسط ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره تعیین شد، ضمن اینکه گزارش شده است با افزایش مصرف نیتروژن، بهره‌وری آب در ذرت کاهش می‌یابد و مصرف نیتروژن بالا نمی‌تواند در کاهش اثرات سوء تنش خشکی مؤثر باشد (Heydaripour et al., 2014).

بذور ذرت (سینگل کراس ۷۰۴) در تاریخ ۲۰ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۵ روی ردیف‌هایی به‌فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر و با فاصله روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر و تراکم هفت بوته در مترمربع به‌صورت کپه‌ای کشت و در هر کپه چهار عدد بذر قرار داده شد. بلافاصله پس از کشت آبیاری زمین به‌روش نشتی انجام شد. در هر کرت آزمایشی، شش ردیف و طول ردیف‌ها سه متر در نظر گرفته شد. جهت اجتناب از مخلوط شدن آب کرت‌ها با یکدیگر، برای هر تکرار و هر کرت لوله آبیاری جداگانه در نظر گرفته شد و سطوح آبیاری بسته به تیمار آزمایشی، هر هفت روز یک‌بار توسط کنتور اعمال شد و به‌منظور اعمال دقیق حجم‌های آبیاری برای کرت‌ها خروجی فاضلاب لحاظ نشد. برای رسیدن به تراکم مناسب، پس از رسیدن گیاه به مرحله چهار برگی، عملیات تنک کردن انجام گرفت. اعمال سطوح مختلف هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید در دو نوبت به‌صورت محلول‌پاشی روی برگ‌ها در مراحل شش تا هفت برگی و قبل از گل‌دهی در کرت‌های مربوطه انجام گرفت.

به‌منظور کنترل علف‌های هرز، سه نوبت وجین دستی (دو، چهار و شش هفته پس از کاشت) انجام شد. در زمان آماده‌سازی زمین و در طول دوره رشد، هیچ‌گونه علف‌کش، آفت‌کش و قارچ‌کش شیمیایی استفاده نشد. به‌منظور محاسبه آنالیزهای رشد و خصوصیات رشدی، نمونه‌برداری‌های تخریبی از ۳۰ روز پس از سبز شدن، هر ۱۵ روز یک‌بار، با حذف اثرات حاشیه‌ای و به‌طور تصادفی از مساحت نیم مترمربع (سه بوته) در هر کرت آزمایشی انجام و صفاتی چون سطح‌برگ، ارتفاع بوته و وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شد. برای تعیین شاخص سطح برگ از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ[1] استفاده شد. به‌منظور محاسبه سرعت رشد محصول (CGR)[2] در طول فصل رشد از معادله‌ی ۱ استفاده شد (Koocheki & Sarmadnia, 2006):

$$CGR = \frac{1}{GA} \times \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن، GA: سطح زمین (مترمربع)، W_1: وزن خشک اولیه گیاه (گرم در مترمربع)، t_1: زمان نمونه‌گیری اول (روز پس از سبز شدن)، W_2: وزن خشک گیاه در نوبت دوم نمونه‌گیری (گرم در مترمربع) و t_2: زمان نمونه‌گیری دوم (روز پس از سبز شدن) است. در اواخر فصل رشد، با آغاز مرحله‌ی رسیدگی و زرد شدن بوته‌ها، پس از حذف اثر حاشیه‌ای، به‌طور تصادفی بوته‌های موجود در سطح یک مترمربع از هر کرت برداشت و عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک گیاهان مورد بررسی تعیین شد و رطوبت دانه در زمان اندازه‌گیری حدود ۱۴ درصد بود. در پایان عملیات برداشت، میزان نیتروژن، فسفر، EC و pH خاک کرت‌های آزمایشی اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین مقدار کل نیتروژن موجود در نمونهٔ خاک (منهای نیتروژن نیتراتی)، ابتدا با استفاده از اسید سولفوریک و کاتالیزور، عمل هضم نمونه انجام و سپس مقدار نیتروژن در عصاره حاصل توسط روش کجلدال (Bremner & Mulvaney, 1965) و با استفاده از دستگاه Semi-Automated Distillation Unit انجام شد. به‌منظور تعیین مقدار فسفر قابل جذب در خاک، ابتدا از نمونه خاک مطابق روش اولسن و سامرز (Olsen & Sommers, 1982) عصاره تهیه شد و سپس مقدار فسفر در عصاره حاصل به‌روش مورفی و رایلی (Morphy & Riley, 1962) اندازه‌گیری شد.

کارآیی مصرف آب آبیاری (WUE)[3] ($kg\ Seed.m^3\ Water^{-1}$) در تیمارهای مختلف توسط معادله ۲ محاسبه شد (Payeroa et al., 2009):

1- Leaf Area Meter, Delta T, Co. Ltd, Uk
2- Crop growth rate
3- Water use efficiency

$$WUE = \frac{Y_s}{W_I + W_P}$$ معادله (۲)

که در آن، Y_s: عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)، W_I: مقدار آب آبیاری ($m^3.ha^{-1}$) و W_P: میزان بارندگی (mm) است.

در تجزیه عاملی، پس از استخراج عامل‌های اولیه، برای این‌که عامل‌ها بیشترین میزان از واریانس متغیرها را تبیین کنند، لازم است چرخش داده شوند. چرخش متغیرها به روش‌های مختلفی انجام می‌گیرد که در این پژوهش یکی از متداول‌ترین روش‌های چرخش به‌نام وریماکس[1] مورد استفاده قرار گرفت. در این روش سعی بر آن است، تا ستون‌های ماتریس عاملی تا حد امکان ساده شوند. به‌عبارت‌دیگر، این روش درصدد حداکثر کردن مجموع واریانس بارهای ماتریس عاملی است، به‌طوری‌که بر تبیین‌پذیری عامل‌ها افزوده گردد (Mansourfar, 2012). در رهیافت چرخش واریماکس، سعی می‌شود برخی از متغیرها بار عاملی بسیار بالا (یعنی نزدیک به ۱+ یا ۱−) و برخی متغیرها بار عاملی بسیار پایین (یعنی نزدیک به صفر) در هر ستون از ماتریس داشته باشند. منطق حاکم این است که زمانی‌که همبستگی بین متغیر و عامل، نزدیک به ۱+ یا ۱− باشد، تفسیر به ساده‌ترین شکل انجام می‌گیرد و می‌توان قضاوت کرد که ارتباط روشن و قابل قبولی بین متغیر و عامل وجود دارد و اگر این همبستگی به صفر نزدیک باشد، به‌راحتی می‌توان در خصوص عدم وجود رابطه قضاوت نمود (Kalantari, 2012).

تجزیه واریانس (ANOVA) و تحلیل داده‌ها، تجزیه عاملی و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS Ver. 9.4، SPSS Ver. 23 و Minitab Ver. 17 انجام شد. میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس خصوصیات خاک و برخی خصوصیات رشدی و عملکرد ذرت تحت تأثیر سطوح آبیاری و تیمارهای تغذیه‌ای در جدول ۲ آورده شده است. عملکرد دانه تحت تأثیر کاربرد همزمان نیتروژن و سوپرجاذب، کاربرد همزمان سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید، کاربرد همزمان نیتروژن، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید و کاربرد همزمان نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید (جدول ۲) به‌ترتیب ۱، ۸، ۱۴ و ۱۵ درصد در شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی و به‌ترتیب ۵، ۱۹، ۱۵ و ۲۱ درصد در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۳). اگر چه کاربرد همزمان نیتروژن و سوپرجاذب در هر دو شرایط تأمین ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی منجر به افزایش عملکرد دانه شد، ولی به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید منجر به بروز هم‌افزایی اثرات مثبت این نهاده‌ها شد (جدول ۳). احتمالاً سوپرجاذب رطوبت از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی و ساختمان خاک (Abedi-Koupai et al., 2012) و افزایش کارآیی مصرف عناصر غذایی (Eneji et al., 2013) و کاهش نیاز آبی گیاه (Xie et al., 2011) افزایش عملکرد دانه را سبب شده است. به نظر می‌رسد هیومیک اسید احتمالاً با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و ظرفیت نگهداری آب در خاک (Sidari et al., 2006) و همچنین افزایش جریان شیره گیاهی در آوندها (Shahryari et al., 2008) منجر به بهبود عملکرد دانه شد. سالیسیلیک اسید نیز احتمالاً از طریق تأثیر بر آنزیم‌های کاتالاز و پروکسیداز و سایر تنظیم‌کننده‌های اسمزی نظیر پرولین، گلیسین و بتائین توانسته آثار ناشی از تنش خشکی را کاهش داده و در نهایت، منجر به افزایش عملکرد دانه شود (El-Tayeb, 2005; Horvath et al., 2002).

در یک پژوهش، پس از بررسی اثر مقادیر مختلف سوپرجاذب رطوبت و هیومیک اسید در شرایط کم‌آبیاری در ذرت گزارش شد که بیشترین میزان عملکرد دانه متعلق به تیمار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب رطوبت، هشت کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید و ۳۰۰ مترمکعب در هکتار آب در هر نوبت آبیاری بود (Jahan et al., 2017). کاربرد هیومیک اسید، سالیسیلیک اسید و مصرف توأم هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید به‌ترتیب افزایش معنی‌دار ۲۶/۵، ۱۸/۵ و ۲۱/۷ درصدی عملکرد دانه را نسبت به شاهد سبب شد (Ragh Ara & Moosavi, 2018). اثر سالیسیلیک اسید بر رشد و عملکرد دانه ذرت در شرایط تنش خشکی را بررسی و گزارش شد که سالیسیلیک اسید در هر دو شرایط تنش و غیرتنش منجر به افزایش عملکرد دانه شد (Mehrabian Moghaddam et al., 2011). همچنین پرایمینگ بذر ذرت دانه‌ای با غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ پی‌پی‌ام سالیسیلیک اسید عملکرد دانه را به‌طور متوسط ۱۳/۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (Siami et al., 2017).

1- Varimax

جدول ۲- تجزیه واریانس(میانگین مربعات) خصوصیات خاک و برخی خصوصیات رشدی و عملکرد ذرت تحت تأثیر سطوح آبیاری و تیمارهای تغذیه‌ای

Table 2- Analysis of variance (mean comparisons) for soil characteristics and growth criteria and yield of maize affected by interaction effects of irrigation levels and nutritional treatments

	عملکرد دانه SY	عملکرد ماده خشک BY	وزن دانه در بوته SW	ارتفاع بوته H	شاخص سطح برگ LAI	سرعت رشد محصول CGR	نیتروژن خاک Soil N	فسفر خاک Soil P	شوری خاک EC	اسیدیته خاک pH	کارآیی مصرف آب WUE
بلوک Block	26801**	70277*	1467**	207**	0.19*	0.18**	0.0002**	0.000002**	0.02**	0.20*	0.0001**
سطوح آبیاری Irrigation levels	8550408**	4945080**	165020**	2508**	9.22**	12.32**	0.004**	0.00005**	0.37**	4.13**	0.61**
خطای اصلی Main error	6740	6030	106	18.80	0.02	0.03	0.00001	0.00000002	0.003	0.03	0.000006
تیمارهای تغذیه‌ای Nutritional treatments	2519570**	6000003**	10600**	3338**	5.14**	12.97**	0.02**	0.00009**	0.05**	8.84**	0.01**
سطوح آبیاری × تیمارهای تغذیه‌ای Irrigation levels×nutritional treatments	229176**	1200373**	7078**	110*	0.85**	0.74**	0.0004**	0.00001**	0.04**	0.09ns	0.0006**
خطای فرعی Sub error	1236	10458	162	5.48	0.01	0.01	0.000008	0.00000003	0.002	0.01	0.000004
خطای کل Total error	718	15836	64	16.31	0.04	0.01	0.00001	0.00000002	0.002	0.04	0.000001
ضریب تغییرات CV (%)	0.36	1.00	3.70	4.67	4.04	2.21	3.01	1.30	11.73	2.44	0.24

SY: عملکرد دانه، BY: عملکرد ماده خشک، SW: وزن دانه در بوته،H : ارتفاع، LAI: شاخص سطح برگ، CGR: سرعت رشد محصول، Soil N: نیتروژن خاک، Soil p: فسفر خاک، EC: شوری خاک، pH: اسیدیته خاک و WUE: کارآیی مصرف آب

SY: Seed Yeild, BY: Biological Yield, SW: Seed Weight per Plant, H: Plant Height, LAI: Leaf Area Index, CGR: Crop Growth Rate, Soil N: Soil Nitrogen, Soil P: Soil Phosphorous, EC: Electrical Conductivity, pH: Acidity, WUE: Water Use Efficiency.

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

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

جدول ۳- مقایسه میانگین برخی خصوصیات مرتبط با خاک و برخی خصوصیات رشدی و عملکرد ذرت تحت تأثیر اثرات متقابل مقادیر مختلف آبیاری و تیمار تغذیه‌ای

Table 3- Mean comparisons of some characteristics related to soil and some growth characteristics and yield of maize affected by interaction effects of different irrigation levels and nutritional treatments

	تیمارهای تغذیه‌ای Nutritional treatments	عملکرد دانه SY (kg.ha^{-1})	عملکرد ماده خشک BY (kg.ha^{-1})	وزن دانه در بوته SW (g)	ارتفاع بوته H (cm)	شاخص سطح برگ LAI	سرعت رشد محصول CGR (g.m^{-2}.day^{-1})	نیتروژن خاک Soil N (%)	فسفر خاک Soil P (%)	شوری خاک Soil EC (dS.m^{-1})	پی‌اچ خاک Soil pH	کارآیی مصرف آب WUE (kg seed.m^{3} water)
۵۰ درصد نیاز آبی 50% Water requirement	کاربرد همزمان نیتروژن و سوپرجاذب Simultaneous application of N and S	12654^{h}	23358^{e}	143.33^{f}	63^{f}	3.86^{f}	3.10^{i}	0.13^{e}	0.0039^{h}	0.47^{b}	7.75^{e}	0.63^{d}
	کاربرد همزمان سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید Simultaneous application of S, HA and SA	13622^{g}	22734^{f}	94.00^{g}	79^{e}	4.36^{e}	5.19^{d}	0.04^{h}	0.0097^{e}	0.38^{bc}	9.17^{c}	0.68^{c}
	کاربرد همزمان نیتروژن ، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید Simultaneous application of N, HA and SA	14524^{d}	26346^{c}	178.00^{e}	88d^{e}	5.45^{c}	3.75^{gh}	0.11^{f}	0.0110^{d}	0.75^{a}	8.57^{d}	0.72^{b}
	کاربرد همزمان نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید Simultaneous application of N, S, HA and SA	14740^{d}	26540^{c}	182.67^{e}	110^{b}	5.66^{c}	6.05^{c}	0.16^{c}	0.0126^{c}	0.47^{b}	9.59^{b}	0.73^{a}
	شاهد Control	12515^{h}	22424^{f}	111.67^{g}	45^{g}	3.32^{g}	3.54^{h}	0.02^{i}	0.0028^{i}	0.67^{a}	6.82^{g}	0.62^{e}
۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% Water requirement	کاربرد همزمان نیتروژن و سوپرجاذب Simultaneous application of N and S	14236^{e}	24510^{d}	249.00^{c}	96^{cd}	4.90^{d}	4.71^{e}	0.18^{b}	0.0093^{e}	0.35^{bc}	8.33^{d}	0.35^{i}
	کاربرد همزمان سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید Simultaneous application of S, HA and SA	16744^{b}	27314^{b}	341.67^{b}	97^{cd}	6.37^{b}	7.22^{b}	0.05^{g}	0.0145^{b}	0.37^{bc}	10.14^{a}	0.41^{g}
	کاربرد همزمان نیتروژن ، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید Simultaneous application of N, HA and SA	16353^{c}	26754^{c}	268.00^{c}	102^{bc}	5.37^{c}	4.36^{f}	0.14^{d}	0.0079^{f}	0.27^{cd}	9.56^{b}	0.40^{h}
	کاربرد همزمان نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید Simultaneous application of N, S, HA and SA	17542^{a}	28415^{a}	375.33^{a}	122^{a}	6.96^{a}	7.75^{a}	0.19^{a}	0.0159^{a}	0.19^{d}	10.36^{a}	0.43^{f}
	شاهد Control	13858^{f}	22530^{f}	217.33^{d}	58^{f}	4.60^{de}	4.00^{g}	0.02^{i}	0.0060^{g}	0.46^{b}	7.23^{f}	0.34^{j}

SY: عملکرد دانه، BY: عملکرد ماده خشک، SW: وزن دانه در بوته،H : ارتفاع، LAI: شاخص سطح برگ، CGR: سرعت رشد محصول، Soil N: نیتروژن خاک، Soil p: فسفر خاک، EC: شوری خاک، pH: اسیدیته خاک و WUE: کارآیی مصرف آب

SY: Seed Yeild, BY: Biological Yield, SW: Seed Weight per Plant, H: Plant Height, LAI: Leaf Area Index, CGR: Crop Growth Rate, Soil N: Soil Nitrogen, Soil P: Soil Phosphorous, EC: Electrical Conductivity, pH: Acidity, WUE: Water Use Efficiency.

* در هر ستون، برای هر عامل، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند.

N، S، HA و SA به‌ترتیب نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید می‌باشند.

* In each column, for each factor, means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.05$), at 5% probability level.

N, S, HA and SA are Nitrogen, Superabsorbent, Humic acid and Salicylic acid, respectively.

در شرایط تنش خشکی (تأمین تنها نیمی از نیاز آبی)، کلیه تیمارهای تغذیه‌ای مورد مطالعه در بهبود خصوصیات رشدی و ویژگی‌های مرتبط با خاک مؤثر بودند (جدول ۲)، ولی بیشترین مقدار عملکرد ماده خشک (۲۶۵۴۰ کیلوگرم در هکتار)، وزن دانه در بوته (۱۸۲/۶۷ گرم)، ارتفاع بوته (۱۱۰ سانتی‌متر)، شاخص سطح برگ (۵/۶۶)، سرعت رشد محصول (۶/۰۵ گرم در مترمربع در روز)، نیتروژن (۰/۱۶ درصد)، فسفر (۰/۰۱۲۶ درصد) و پی‌اچ خاک (۹/۵۹) در تیمار کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید مشاهده شد (جدول ۳). اثر متقابل سطوح آبیاری و تیمارهای تغذیه‌ای بر کارآیی مصرف آب معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین کارآیی مصرف آب با تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی و در تیمار کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید به‌دست آمد (جدول ۳). با توجه به نتایج جدول ۳، به‌نظر می‌رسد که از نظر کارآیی مصرف آب، کاربرد سوپرجاذب توأم با هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید بهتر از ترکیب این کود با نیتروژن بود، به‌طوری‌که کارآیی مصرف آب در تیمار کاربرد هم‌زمان سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید در شرایط تأمین ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب ۷ و ۱۵ درصد بیشتر از تیمار کاربرد هم‌زمان نیتروژن و سوپرجاذب بود. نتایج برش‌دهی اثرات متقابل نشان داد که در کلیه صفات مورد بررسی بین سطوح آبیاری تأمین ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۴). عملکرد ماده خشک تحت تأثیر تیمارهای کاربرد هم‌زمان نیتروژن، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید و شاهد قرار نگرفت (جدول ۴). به‌جز تیمار کاربرد هم‌زمان نیتروژن، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید سایر تیمارهای تغذیه‌ای در بهبود شاخص سطح برگ مؤثر بودند (جدول ۴). میزان نیتروژن خاک در شرایط استفاده از کلیه تیمارهای تغذیه‌ای افزایش یافت، ولی شاهد از این نظر اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۴). علی‌رغم تأثیرگذاری کلیه تیمارهای تغذیه‌ای بر میزان شوری خاک، اثر تیمار کاربرد هم‌زمان سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). با توجه به اینکه سوپرجاذب رطوبت می‌تواند ۴۰۰ الی ۱۵۰۰ گرم آب را در هر گرم هیدروژل ذخیره کند (Nazarli et al., 2010)، به نظر می‌رسد این نهاده احتمالاً از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب در عمق توسعه ریشه و کاهش اثرات تنش خشکی (Xie et al., 2011) منجر به بهبود ویژگی‌های رشدی و کارآیی مصرف آب گیاه شد. هیومیک اسید احتمالاً از طریق فعال کردن چرخه تنفس، فتوسنتز و تولید آمینواسید و آدنوزین تری فسفات (Sidari et al., 2006) و همچنین انتقال عناصر غذایی و مواد تنظیم‌کننده رشد (Shahryari et al., 2008) باعث بهبود صفات مورد مطالعه شد. با توجه به اینکه ثابت شده است سالیسیلیک اسید در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه نظیر افزایش میزان فتوسنتز و محتوای کلروفیل، بسته شدن روزنه‌ها، جلوگیری از بیوسنتز اتیلن، کاهش تنفس و افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی مؤثر است (El-Tayeb, 2005)، این نهاده احتمالاً از این طریق اثرات مثبت خود بر ویژگی‌های رشدی، عملکرد و کارآیی مصرف آب گیاه را ایفا کرده است. در یک پژوهش، پس از امکان‌سنجی استفاده از سوپرجاذب رطوبت به‌منظور کاهش تنش خشکی در ذرت گزارش شد که بیشترین ارتفاع بوته (۱۴۰/۵ سانتی‌متر) و ماده خشک (۱۴۴/۵ گرم در مترمربع) در تیمار ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب رطوبت حاصل شد (Jahan et al., 2013). استفاده از ترکیب کودهای هیومیک اسید و کود شیمیایی اوره، ارتفاع گیاه و وزن تر و خشک اندام هوایی ذرت را افزایش داد (Amini et al., 2017). در پژوهشی، بیشترین عملکرد دانه، تعداد دانه در ردیف و طول بلال در ذرت در تیمار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر هیومیک اسید به‌دست آمد (Ghorbani et al., 2014). کاربرد سالیسیلیک اسید و هیومیک اسید در ذرت به‌ترتیب افزایش ۶۱/۲ و ۳۹/۳ درصدی محتوای نسبی آب برگ، ۱۳/۱ و ۲۳/۷ درصدی وزن بلال و ۲۴/۵ و ۲۴/۲ درصدی عملکرد را در پی داشت (Dehghanzadeh Jazi & Adavi, 2019).

ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه

بین عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک با ارتفاع بوته (به‌ترتیب $r= ۰/۸۳^{**}$ و $r= ۰/۸۸^{**}$)، شاخص سطح برگ ($r= ۰/۹۳^{**}$ و $r= ۰/۹۱^{**}$)، سرعت رشد محصول ($r= ۰/۸۰^{**}$ و $r= ۰/۷۰^{**}$) و میزان نیتروژن خاک ($r= ۰/۴۴^{*}$ و $r= ۰/۶۳^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌دار مشاهده شد، در نتیجه به‌نظر می‌رسد با برنامه‌ریزی تغذیه‌ای مناسب در شرایط کم‌آبی و بهبود صفات ذکر شده، می‌توان تولید عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک را به حداکثر رساند (جدول ۵). با توجه به همبستگی مثبت عملکرد دانه و خصوصیات رشدی ذرت با میزان نیتروژن و فسفر خاک به‌نظر می‌رسد که کاربرد نهاده‌های مؤثر در بهبود وضعیت عناصر غذایی خاک، نقش به‌سزایی در دستیابی به تولید حداکثر گیاه داشته باشد (جدول ۵).

جدول ٤- برش‌دهی اثرات متقابل مقادیر مختلف آبیاری و تیمار تغذیه‌ای برخی خصوصیات مرتبط با خاک و برخی خصوصیات رشدی و عملکرد ذرت

Table 4- Slicing the interaction effects of different irrigation levels and nutritional treatments on some characteristics related to soil and some growth characteristics and yield of maize

سطوح آبیاری Irrigation levels	عملکرد دانه Seed Yield	عملکرد ماده خشک Biological Yield	وزن دانه در بوته Seed Weight per plant	ارتفاع بوته Plant Height	شاخص سطح برگ Leaf Area Index	سرعت رشد محصول Crop Growth Rate	نیتروژن خاک Soil Nitrogen	فسفر خاک Soil Phosphorous	شوری خاک Electrical Conductivity	اسیدیته خاک pH	کارآیی مصرف آب Water Use Efficiency
۵۰ درصد نیاز آبی 50% Water requirement	792635**	3011131**	4631**	1839**	3.03**	4.61**	0.01**	0.00005**	0.07**	3.72**	0.007**
۱۰۰ درصد نیاز آبی 100% Water requirement	1956112**	4189246**	13047**	1609**	2.97**	9.09**	0.01**	0.00005**	0.03*	5.20**	0.004**
تیمارهای تغذیه‌ای Nutritional treatments											
کاربرد همزمان نیتروژن و سوپرجاذب Simultaneous application of N and S	938522**	498240**	16748**	1650**	1.64**	3.90**	0.0037**	0.00004**	0.0210*	0.510417*	0.11**
کاربرد همزمان سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید Simultaneous application of S, HA and SA	3655082**	7863860**	92008**	493**	6.02**	6.16**	0.0002**	0.00003**	0.0003^{ns}	1.40**	0.10**
کاربرد همزمان نیتروژن ، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید Simultaneous application of N, HA and SA	1254008**	62424^{ns}	12150**	294**	0.009^{ns}	0.56**	0.0009**	0.00001**	0.3504**	1.45**	0.15**
کاربرد همزمان نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید Simultaneous application of N, S, HA and SA	2942801**	1317891**	55681**	234**	2.53**	4.35**	0.0016**	0.00001**	0.1218**	0.88**	0.13**
شاهد Control	676704**	4160^{ns}	16748**	279**	2.44**	0.30**	0.00002^{ns}	0.00001**	0.0672**	0.25*	0.11**

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

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

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه در ذرت تحت‌تأثیر مقادیر مختلف آبیاری و تیمارهای تغذیه‌ای

Table 5- Correlation coefficients between studied traits in maize affected by different irrigation levels and Nutritional treatments

	عملکرد دانه Seed Yield	عملکرد ماده خشک Biological Yield	وزن دانه در بوته Seed Weight	ارتفاع بوته Plant Height	شاخص سطح برگ Leaf Area Index	سرعت رشد محصول Crop Growth Rate	نیتروژن خاک Soil Nitrogen	فسفر خاک Soil Phosphorous	شوری خاک Electrical Conductivity (EC)	پی‌اچ خاک pH
عملکرد ماده خشک BY	0.89**									
وزن دانه در بوته SW	0.89**	0.77**								
ارتفاع بوته H	0.83**	0.88**	0.68**							
شاخص سطح برگ LAI	0.93**	0.91**	0.84**	0.88**						
سرعت رشد محصول CGR	0.80**	0.70**	0.71**	0.75**	0.83**					
نیتروژن خاک Soil N	0.44*	0.63**	0.44*	0.74**	0.51**	0.30				
فسفر خاک Soil P	0.82**	0.82**	0.67**	0.87**	0.92**	0.89**	0.44*			
شوری خاک EC	-0.59**	-0.34	-0.59**	-0.50**	-0.44*	-0.56**	-0.37*	-0.38*		
اسیدیته خاک pH	0.85**	0.84**	0.63**	0.90**	0.85**	0.83**	0.48**	0.88**	-0.55**	
کارآیی مصرف آب WUE	-0.43*	-0.13	-0.67**	-0.14	-0.27	-0.23	-0.06	-0.07	0.58**	-0.07

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

* and ** are significant at 5 and 1% probability level, repectively.

جدول ٦- مقادیر ویژه و واریانس متناظر عامل‌ها در تعیین عامل‌های مؤثر در کارآیی مصرف آب ذرت در پاسخ به تیمارهای تغذیه‌ای (نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید)

Table 6- Eigenvalues and corresponding variance of factors in determing of effecting factors in water use efficiency of maize in response to nutritional treatments (Nitrogen, Superabsorbent, Humic acid and Salicylic acid)

مؤلفه Component	مقادیر ویژه اولیه Initial eigenvalues			مجموع مربعات بارهای اولیه Extraction sums of squared loading			مجموع مربعات بارهای چرخش‌یافته Rotaition sums of squared loadings		
	کل Total	درصد واریانس % of Variance	درصد تجمعی Cumulative %	کل Total	درصد واریانس % of Variance	درصد تجمعی Cumulative %	کل Total	درصد واریانس % of Variance	درصد تجمعی Cumulative %
1	7.56	68.78	68.78	7.56	68.78	68.78	6.50	59.10	59.10
2	1.53	13.91	82.69	1.53	13.91	82.69	2.59	23.59	82.69

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، ترکیب‌های مختلف کاربرد هم‌زمان نهاده‌هایی نظیر نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید منجر به افزایش صفاتی همچون وزن دانه در بوته شده و با توجه به همبستگی مثبت عملکرد دانه با وزن دانه در بوته، بهبود عملکرد دانه در شرایط استفاده از این نهاده‌ها منطقی به نظر می‌رسد. با افزایش ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ، احتمالاً نور بیشتری در اختیار برگ‌ها قرار گرفته و به تبع آن مواد فتوسنتزی بیشتری در برگ‌ها ساخته و به اندام‌های زایشی انتقال یافته است، در نتیجه با افزایش ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ، عملکرد دانه بهبود پیدا کرده است. نقش عناصر غذایی مهمی نظیر نیتروژن و فسفر در بهبود ویژگی‌های رشدی و عملکرد محصولات مختلف امری اثبات شده است و کاربرد هم‌زمان نهاده‌هایی همچون نیتروژن، سوپرجاذب رطوبت، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید که بتواند ضمن کاهش اثرات تنش خشکی، میزان عناصر غذایی در دسترس گیاه را افزایش دهد، ضروری به نظر می‌رسد.

تجزیه عاملی عوامل مؤثر بر کارآیی مصرف آب

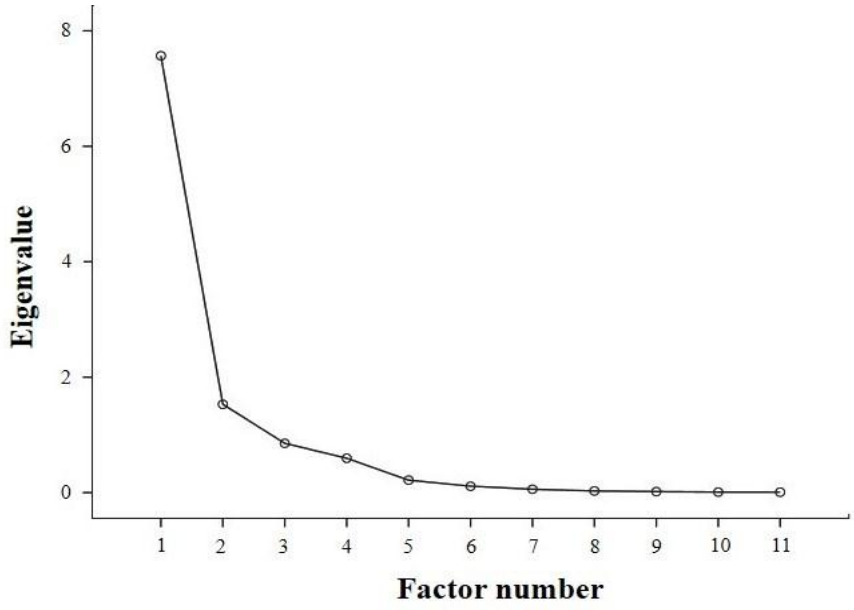
مقادیر ویژه[1] و واریانس متناظر[2] عامل‌ها در تعیین عوامل مؤثر در کارآیی مصرف آب در پاسخ به کاربرد نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار در جدول ۶ نشان داده شده است. بر این اساس و با توجه به درصد واریانس تجمعی (۸۳ درصد)، متغیرها به دو عامل تجزیه شد. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار واریانس متغیرها مربوط به عامل‌های اول و دوم بود، به‌طوری‌که عامل اول و دوم به‌ترتیب ۵۹ و ۲۴ درصد از واریانس متغیرها را تبیین کردند. سهم واریانس عامل سوم، هشت درصد بود.

خلاصه‌سازی اطلاعات و کاهش داده‌ها منجر به این شد که متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و نیتروژن، فسفر و پی‌اچ خاک در عامل اول و متغیرهای وزن دانه در بوته، شوری خاک و کارآیی مصرف آب در عامل دوم قرار گرفتند (شکل ۲).

جدول ۷، بارهای عاملی و میزان اشتراک مؤلفه‌های اصلی مؤثر در کارآیی مصرف آب در پاسخ به مقادیر مختلف آبیاری و کاربرد تیمارهای تغذیه‌ای بعد از چرخش عامل‌ها را نشان می‌دهد. هر یک از صفات مورد بررسی، بسته به اینکه در کدام فاکتور دارای بار عاملی بیشتری باشند (بدون در نظر گرفتن علامت مثبت و منفی)، در عامل اول یا دوم قرار گرفتند (Mansourfar, 2012). متغیرهای عملکرد دانه، نیتروژن، فسفر و پی‌اچ خاک بیشترین وزن‌ها را روی عامل اول داشتند (جدول ۷). همان‌طور که قبلاً بیان شد، متغیرهای درون هر عامل از همبستگی بالایی نسبت به یکدیگر برخوردار هستند، بنابراین به‌نظر می‌رسد که هر گونه تغییر در متغیرهای عامل اول، سبب تغییر در عملکرد دانه خواهد شد. به نظر می‌رسد، همبستگی منفی شوری خاک و کارآیی مصرف آب با سایر متغیرها نشان‌دهنده اهمیت و نقش مؤثر این دو متغیر باشد و پیشنهاد می‌شود، تأثیر برهم‌کنش کودهای مصرفی در میزان شوری خاک در مطالعات آتی بررسی شود. در عامل اول، متغیرهای مهمی نظیر عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک و خصوصیات رشدی قرار گرفتند، بنابراین می‌توان این عامل را توصیف‌کننده عملکرد و عامل دوم که شامل متغیرهای وزن دانه در بوته (۰/۷۱-)، شوری خاک (۰/۷۳) و کارآیی مصرف آب بود (جدول ۶)، به این دلیل که دارای بیشترین بار (۰/۹۶) روی کارآیی مصرف آب بود، عامل کارآیی مصرف آب نامید.

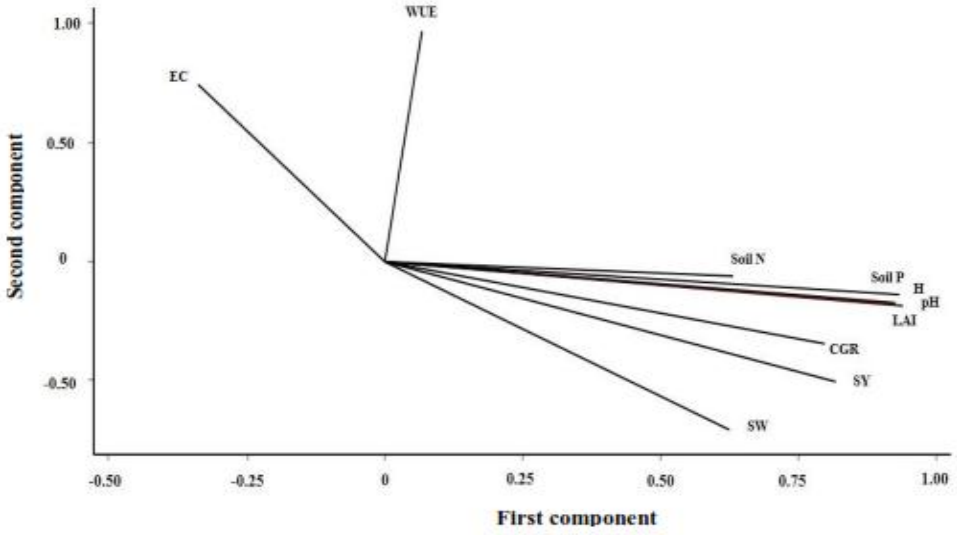
با توجه به نقش نهاده‌هایی همچون نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید در کاهش اثرات تنش خشکی و افزایش کارآیی مصرف آب (جدول ۳)، به نظر می‌رسد گیاه با در اختیار داشتن آب کافی، توانسته مواد فتوسنتزی بیشتری تولید و آن را به اندام‌های رویشی و زایشی مختلف ارسال کند و در نتیجه، عملکرد ماده خشک و وزن دانه در بوته در این شرایط افزایش یافته است. کاربرد نهاده‌های مؤثر در افزایش سرعت رشد محصول، احتمالاً سبب شده گیاه در مدت زمان کوتاه‌تری سطح برگ خود را گسترش دهد و با افزایش سطح برگ، مواد فتوسنتزی بیشتری تولید و به سایر اندام‌ها و در شرایط تنش خشکی به ریشه ارسال شود، با دریافت مواد فتوسنتزی بیشتر توسط ریشه، احتمالاً عمق توسعه ریشه بیشتر شده و در نتیجه، توانایی گیاه در جذب آب و مواد غذایی افزایش یافته و به تبع آن، بهبود ویژگی‌های رشدی و عملکرد دانه حاصل شده است.

1- Eigenvalue
2- Corresponding variance



شکل ۱- مقادیر ویژه و تجزیه عاملی عوامل مؤثر در کارآیی مصرف آب ذرت در پاسخ به تیمارهای تغذیه‌ای (نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید)

Fig. 1- Eigenvalues and factor analysis of effecting factors in water use efficiency of maize in response to nutritional treatments (Nitrogen, Superabsorbent, Humic acid, and Salicylic acid)



شکل ۲- بار متغیرهای اندازه‌گیری شده روی دو عامل استخراج شده در ذرت تحت‌تأثیر سطوح آبیاری و تیمارهای تغذیه‌ای (نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید)

Fig. 2- Loading plot of measured variables on two extracted factors in maize affected by different irrigation levels and nutritional treatments (Nitrogen, Superabsorbent, Humic acid, and Salicylic acid)

SY: عملکرد دانه، BY: عملکرد ماده خشک، SW: وزن دانه در بوته، H: ارتفاع بوته، LAI: شاخص سطح برگ، CGR: سرعت رشد محصول، Soil N: نیتروژن خاک، Soil P: فسفر خاک، EC: شوری خاک، pH: پی‌اچ خاک و WUE: کارآیی مصرف آب

SY: Seed Yield, BY: Biological Yield, SW: Seed Weight per Plant, LAI: Leaf Area Index, CGR: Crop Growth Rate, Soil N: Soil Nitrogen, Soil P: Soil Phosphorous, EC: Electrical Conductivity, pH: Acidity, WUE: Water Use Efficiency

جدول ۷- بارهای عاملی و میزان اشتراک عامل‌های مؤثر در کارآیی مصرف آب ذرت در پاسخ به تیمارهای تغذیه‌ای (نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید) بعد از چرخش وریماکس

Table 7- Factor loading and communalities of effecting factor in water use efficiency of maize in response to nutritional treatments (Nitrogen, Superabsorbent, Humic acid and Salicylic acid) after varimax rotation

	فاکتور اول First factor	فاکتور دوم Second factor	اشتراک Communality
عملکرد دانه Seed yield	0.81	-0.51	0.92
عملکرد ماده خشک Biological yield	0.92	-0.17	0.88
وزن دانه در بوته Seed weight per plant	0.62	-0.71	0.89
ارتفاع بوته Plant height	0.94	-0.18	0.91
شاخص سطح برگ LAI	0.90	-0.32	0.93
سرعت رشد محصول CGR	0.79	-0.34	0.75
نیتروژن خاک Soil nitrogen	0.63	-0.06	0.40
فسفر خاک Soil phosphorous	0.93	-0.14	0.89
شوری خاک EC	-0.34	0.73	0.66
پی‌اچ خاک pH	0.92	-0.18	0.88
کارآیی مصرف آب WUE	0.06	0.96	0.93

قرارگیری عملکرد دانه و خصوصیات مربوط به خاک (میزان نیتروژن، فسفر، شوری و اسیدیته خاک) در یک عامل مشترک، احتمالاً نشان‌دهنده اهمیت توجه به وضعیت و کیفیت خاک برای دستیابی به حداکثر عملکرد کمّی و کیفی محصول است و همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، همبستگی میزان نیتروژن، فسفر و اسیدیته خاک با عملکرد دانه مثبت (به‌ترتیب *۰/۴۴، **۰/۸۲ و **۰/۸۵ =r) و شوری خاک دارای اثر منفی بر عملکرد دانه (**۰/۵۹- =r) بود، لذا در بوم‌نظام‌های زراعی به‌ویژه در شرایط محدودیت‌های آبی، کاربرد نهاده‌هایی نظیر سوپرجاذب رطوبت، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید که به نظر می‌رسد، بتواند بهبود ساختمان فیزیکی و حاصلخیزی خاک را به همراه داشته (Chu et al., 2006) و ظرفیت نگهداری رطوبت را در عمق توسعه ریشه افزایش دهد (Nykanen et al., 2011) و تنش‌های محیطی را به حداقل برساند (El-Tayeb, 2005)، ضرورت بیشتری دارد.

در یک پژوهش، اثر مقادیر مختلف سوپرجاذب رطوبت و هیومیک اسید در شرایط کم‌آبیاری بر برخی ویژگی‌های اگرواکولوژیکی ذرت بررسی و گزارش شد که در سناریوی اقتصادی با مصرف به‌ترتیب ۱۲۶/۰۶ و ۷/۱۹ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب رطوبت و هیومیک اسید و ۳۴۷/۴۷ مترمکعب در هکتار آبیاری عملکرد دانه‌ای معادل ۲۶۷۰۸ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد و در سناریوی اقتصادی- زیست‌محیطی دست‌یابی به حداکثر عملکرد دانه و حداکثر کارآیی مصرف آب زمانی محقق شد که از ۱۲۳/۶۳ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب، ۷/۱۹ کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید و ۳۲۳/۲۳ مترمکعب در هکتار آبیاری استفاده شد (Jahan et al., 2017). تحلیل عاملی عوامل مؤثر بر کارآیی مصرف آب در ذرت در پاسخ به کاربرد سالیسیلیک اسید تحت شرایط کم‌آبیاری نشان داد که متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ و کارآیی مصرف آب روی عامل اول و متغیرهای نیتروژن خاک، هدایت الکتریکی، اسیدیته و فسفر خاک روی عامل دوم بیشترین بار را داشتند (Jahan &

Amiri., 2018 a). در پژوهشی دیگر، پس از بررسی عوامل مؤثر بر کارآیی مصرف آب ذرت در پاسخ به کاربرد هیومیک اسید و کم‌آبیاری با استفاده از روش تجزیه به عامل‌ها گزارش شد که متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، فسفر خاک، شوری خاک، اسیدیته خاک و کارآیی مصرف آب در عامل اول و متغیرهای وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته و میزان نیتروژن خاک در عامل دوم قرار گرفتند (Jahan & Amiri, 2018 b). تعیین عوامل اصلی در بهره‌وری مصرف آب ذرت در پاسخ به کاربرد هیدروژل سوپرجاذب رطوبت نشان داد که همبستگی عملکرد دانه با عامل اول ۰/۳۳ بود و متغیرهای عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک، وزن دانه در بوته، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، میزان نیتروژن و اسیدیته خاک روی عامل اول و متغیرهای فسفر خاک، شوری خاک و کارآیی مصرف آب روی مؤلفه دوم دارای بیشترین بار بودند (Jahan & Amiri, 2020). در پژوهشی، نتیجه تجزیه عاملی روی ارقام هیبرید ذرت دانه‌ای نشان داد که صفاتی نظیر برگ بلال، ضخامت ساقه، ارتفاع بوته و تعداد دانه در ردیف، شاخص‌هایی مهم برای گزینش هیبریدهای ذرت با عملکرد بالا بودند (Zeinali et al., 2005).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که اگر چه کلیه تیمارهای تغذیه‌ای در کاهش خسارات ناشی از تنش خشکی (تأمین تنها ۵۰ درصد نیاز آبی) مؤثر بودند، ولی بیشترین عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک، وزن دانه در بوته، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، نیتروژن خاک و کارآیی مصرف آب در تیمار کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید و در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد. در شرایط تنش خشکی (تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی)، تیمارهای کاربرد هم‌زمان نیتروژن و سوپرجاذب، کاربرد هم‌زمان سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید، کاربرد هم‌زمان نیتروژن، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید و کاربرد هم‌زمان نیتروژن، سوپرجاذب، هیومیک اسید و سالیسیلیک اسید کارآیی مصرف آب را به‌ترتیب ۲، ۹، ۱۴ و ۱۵ درصد نسبت به شاهد بهبود بخشید. نتایج تجزیه عاملی نشان داد که متغیرهایی نظیر نیتروژن، فسفر و پی‌اچ خاک روی عامل اول قرار گرفتند، لذا به نظر می‌رسد این عامل توصیف‌کننده شرایط خاک و عامل دوم نشان‌دهنده خصوصیات مربوط به کارآیی مصرف آب (بار زیاد متغیر کارآیی مصرف آب روی این عامل) بود. به‌طور کلی، با توجه به یافته‌های این پژوهش، به نظر می‌رسد که کاربرد هم‌زمان نیتروژن و نهاده‌های بوم‌سازگار ضمن بهبود عملکرد و خصوصیات رشدی گیاه، می‌تواند کارآیی مصرف آب را بهبود بخشد. همچنین انجام تجزیه عاملی و همبستگی بالای متغیرهای درون هر عامل با یکدیگر، حاکی از آن بود که با ایجاد هر گونه تغییر در متغیرهایی که با کارآیی مصرف آب روی یک عامل قرار گرفته‌اند، می‌توان کارآیی مصرف آب را افزایش داده و خسارات ناشی از تنش خشکی و کم‌آبی را به حداقل رساند.

References

Abedi-Koupai, J, Sohrab, J., and Swarbrick, G., 2008. Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics. Journal of Plant Nutrition 31: 317-331. https://doi.org/10.1080/01904160701853928

Ahmadi, M., Mondani, F., Khorramivafa, M., Mohammadi, G., and Shirkhani, A., 2018. Effect of different levels of nitrogen fertilizer on yield and yield components of some new maize cultivars (*Zea mays* L.) in Kermanshah. Plant Ecophysiology 10: 212-222. (In Persian with English Summary)

Aghayari, F, Khalili, F., and Ardakani, M.R., 2016. Effect of deficit irrigation, partial irrigation and superabsorbent polymer on yield and yield components of corn (cv. KSC703). Journal of Water and Soil Resources Conservation 6: 1-14. (In Persian with English Summary)

Alah Gholipour, M., and Mohammad Salehi, M.S., 2003. Factor and path analysis in different rice genotypes. Journal of Seed and Plant Production 19: 76-87. (In Persian) https://doi.org/10.29252/jcb.10.27.143

Alizadeh, A., and Kamali, G., 2008. Water Requirement of Plants in Iran. Emam Reza University Press Iran. pp: 228. (In Persian)

Amini, B., Farahbakhsh, M., and Kianirad, M., 2017. Study on the effects of humic acid-urea fertilizers application on some agronomic characteristics of maize (*Zea mays* L.). Applied Soil Research 5: 31-40. (In Persian with English Summary)

Bagheri, R., Akbari, G., Kianmehr, M.H., and Tahmasbi Sarvestani, Z., 2011. The effect of slow releasing nitrogen

from pellet fertilizer of nitrogen and manure on grain yield and some physiological characteristics of corn. Electronic Journal of Crop Production 4(1): 97-113. (In Persian with English Summary) http://doi.org/20.1001.1.24763594.1391.16.59.15.8

Bahrani, M.J., and Babaei, G.H., 2007. Effect of different levels of plant density and nitrogen fertilizer on grain yield and its components and some quality traits in two sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences 9(3): 237-245. (In Persian with English Summary)

Bayat, S., and Sepehri Zare, A., 2010. Effect of foliar application of salicylic acid and paclobutrazol on some grain yield and dry matter remobilization of maize under drought stress. Journal of Cereal Research 4(2): 127-139. (In Persian) http://doi.org/20.1001.1.22520163.1393.4.2.4.0

Bremner, J.M., and Mulvaney, C.S., 1965. Nitrogen-Total. In: Methods of Soil Analysis: Part II, Chemical and Microbiological Properties. Page, A.L. (Ed). 1982. Second Edition. American Society of Agronomy Inc. Madison, Wisconsin USA. Agronomy Series 9: 595-622. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c31

Chu, M., Zhu, S.Q., Li, H.M., Huang, Z.B., and S.Q., Li., 2006. Synthesis of poly (acrylic acid)/sodium humate superabsorbent composite for agricultural use. Journal of Applied Polymer Science 102: 5137-5143. https://doi.org/10.1002/app.24661

Dehghanzade Jazi, H., and Adavi, Z., 2019. Effect of salicylic acid and humic acid on some physiological characteristics and yield of forage maize (*Zea mays* L.) under drought tension conditions. Crop Physiology Journal 40: 35-54. (In Persian with English Summary) http://doi.org/20.1001.1.2008403.1397.10.40.4.0

El-Tayeb, M.A., 2005. Response of barley to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulation 45: 215-225. http://doi.org/10.1007/s10725-005-4928-1

Eneji, A.E., Islam, R., An, P., and Amalu, U.C., 2013. Nitrate retention and physiological adjustment of maize to soil amendment with superabsorbent polymers. Journal of Cleaner Production 52: 474-480. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.027

Fazeli Rostampour, M., and Mohebbian, S.M., 2012. Studying the effects of irrigation deficit and superabsorbent polymer on remobilization of assimilates in corn (*Zea mays* L.). Environmental Stresses in Crop Sciences 4: 127-138. (In Persian with English Summary) http://doi.org/10.22077/escs.2012.105

Ghorbani, S., Khazaei, H.R., Kafi, M., Banayan Aval, M., and Sadeghi Shoae, M., 2014. Effect of foliar application of humic acid on yield, yield components and growth indices of maize. Journal of Crop Production Research 5: 325-337. (In Persian with English Summary)

Hassanzadeh, A., and Farajzadeh Memari Tabrizi, E., 2016. Ecophysiological evaluation of three maize (*Zea mays* L.) cultivars under irrigation regimes and use of super absorbent. Journal of Crop Ecophysiology 10: 151-166. (In Persian with English Summary)

Heydaripour, R., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Zare Feizeabadi, A., 2014. The effects of different levels of irrigation and nitrogen fertilizer on productivity and efficiency in corn, sugar beet and sesame. Journal of Agroecology 6(2): 187-198. (In Persian with English Summary) http://doi.org/10.22067/jag.v6i2.39361

Heidaripour, R., Koocheki, A.R., and Nassiri Mahallati, M., 2017. The effect of nitrogen fertilizer and density unusual levels on plant growth characteristics, grain and forage yield of maize. Iranian Journal of Field Crop Science 48: 865-876. (In Persian with English Summary) http://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.217558.654194

Horvath, E., Janda, T., Szalai, G., and Paldi, E., 2002. *In vitro* salicylic acid inhibition of catalase activity in maize: differences between the isozymes and a possible role in the induction of chilling tolerance. Plant Sciecne 163: 1129-1135. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00324-2

Islam, M.R., Eneji, A.E., Ren, C., Li, J., and Hu, Y., 2011. Impact of water-saving superabsorbent polymer on oat (*Avena* spp.) yield and quality in an arid sandy soil. Scientific Research and Essays 6: 720-728. http://doi.org/10.5897/SRE10.476

Jahan, M., and Amiri, M.B., 2020. Principal components analysis for water use efficiency of common bean, sesame and maize in response of application of water super absorbent hydrogel. Journal of Water and Soil Resources Conservation, 9(3): 73-92.. (In Persian) http://doi.org/20.1001.1.22517480.1399.9.3.5.7

Jahan, M., and Amiri, M.B., 2018 a. Effective factors on water use efficiency in sesame, maize and common bean in response to salicylic acid under deficit irrigation condition. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 28(1): 249-266. (In Persian) http://doi.org/10.29252/jstnar.22.3.373

Jahan, M., and Amiri, M.B., 2018 b. Determining the effective factors in water use efficiency (WUE) of common bean

(*Phaseolus vulgaris* L.), sesame (*Sesamum indicum* L.) and maize (*Zea mays* L.) in response to humic acid application and deficit irrigation. Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources) 22(3): 373-394. (In Persian) http://doi.org/10.29252/jstnar.22.3.373

Jahan, M., Amiri, B., and Noorbakhsh, F., 2017. Evaluation of the increased rates of water super absorbent and humic acid application under deficit irrigation condition on some agroecological characteristics of *Zea mays* using response surface methodology. Iranian Journal of Field Crops Research 14(4): 766-784. (In Persian with English Summary) http://doi.org/10.22067/gsc.v14i4.48347

Jahan, M., Kamayestani, N., and Ranjbar, F., 2013. Assay for applying super absorbent polymer in a low input corn (*Zea mays* L.) production system aimed to reduce drought stress under Mashhad conditions. Journal of Agroecology 5(3): 272-281. (In Persian with English Summary) http://doi.org/10.22067/jag.v5i3.28999

Kalantari, K., 2012. Data Processing and Analysis in Socio-economic Research. Farhang Saba Pub., Tehran. ISBN: 978-964-2935-38-3. pp: 388. (In Persian)

Karimi, A., and Naderi, M., 2007. Yield and water use efficiency of forage corn as influenced superabsorbent polymer application in soils with different textures. Agricultural Research 3: 187-198. (In Persian with English Summary)

Khadem, S.A., Ghalavio, M., Ramroodi, S.R., Mousavi, M.J., and Rezvani-Moghadam, P., 2011. Effect of animal manure and superabsorbent polymer on yield and yield components on corn (*Zea mays* L.). Iranian Journal of Crop Science 42(1): 115-123. (In Persian with English Summary) http://doi.org/20.1001.1.20084811.1390.42.1.12.8

Kang, C., and Wang, C., 2003. Salicylic acid changes activities of H_2O_2 metabolizing enzymes and increase the chilling tolerance of banana seedlings. Environment and Experimental Botany 50(1): 9-15. http://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00109-0

Koocheki, A., and Sarmadnia, G., 2006. Crop Physiology. Mashhad Jahad University Press, Iran. pp. 254-255. (In Persian)

Mansourfar, K., 2012. Advanced Statistical Methods Using Applied Software. University of Tehran Press pp. 253-364. (In Persian)

Mehrabian Moghaddam, N., Arvin, M.J., Khajueenejad, G., and Maghsudi, K., 2011. Effect of salicylic acid on growth and seed and forage yield of maize in conditions of drought stress in farm. Journal of Seed and Plant Production 27: 41-55. (In Persian with English Summary) http://doi.org/10.22092/sppj.2017.110423

Moazzen Ghamsari, B., Akbari, G., Zohorian, M.J., and Nikniaee, A.B., 2010. An Evaluation of growth and yield of forage corn with application of different levels of superabsorbent polymer (Superab A_{200}) and under drought stress. Iranian Journal of Field Crop Science 40 (3): 1-8. (In Persian with English Summary) 20.1001.1.20084811.1388.40.3.1.7

Mohammadipour, E., Golchin, A., Mohammadi, J., Negahdar, N., and Zarchini, M., 2012. Effect of humic acid on yield and quality of marigold (*Calendula officinalis* L.). Annals of Biological Research 3: 5095-5098.

Mohammadzadeh, A., Majnoon Hosseini, N., Moghaddam, H., and Akbari, M., 2012. Effect of drought stress and nitrogen fertilizer levels on physiological characteristics of two red kidney bean genotypes. Iranian Journal of Crop Sciences 14(3): 294-308. (In Persian with English Summary) http://doi.org/20.1001.1.15625540.1391.14.3.7.2

Morphy, J., and Riley, J.P., 1962. Phosphorus analysis procedure. In: Methods of Soil Analysis: Part II, Chemical and Microbiological Properties. Page, A. L. (Ed). 1982. Second Edition. Madison, Wisconsin USA. pp. 413-427. http://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed

Nazarli, H., Zardashti, M.R., Darvishzadeh, R., and Najafi, S., 2010. The effect of water stress and polymer on water use efficiency, yield and several morphological traits on sunflower. Not Science Biology 2: 53-58. https://doi.org/10.15835/nsb244823

Nykanen, V.P.S., Nykanen, A., Puska, M.A., Goulart-Silva, G., and Ruokolainen, J., 2011. Dual-reponsive and super absorbing thermally cross-linked hydrogel based on methacrylate substituted polyphosphazene. Soft Matter 7: 4414-4424. https://doi.org/10.1039/C0SM01000F

Olsen, S.R., and Sommers, L.E., 1982. Phosphorus. In: Methods of Soil Analysis: Part 2, Chemical and Microbiological Properties. Page, A.L. (Ed). 1982. Second Edition. American Society of Agronomy Inc. Madison, Wisconsin USA. Agronomy Series 9: 403-411. http://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed

Payeroa, J.O., Tarkalson, D.D., Irmakc, S., Davisond, D., and Petersend, J.L., 2009. Effect of timing of a deficit-irrigation allocation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry mass. Agricultural Water Management 96(10): 1387–1397. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.022

Piccolo, A., Nardi, S., and Concheri, G., 1992. Structural characteristics of humic substances as related to nitrate uptake and growth regulation in plant systems. Soil Biology and Biochemistry 24: 373-380. https://doi.org/10.1016/0038-0717(92)90197-6

Raghara, H., and Moosavi, S., 2018. Effect of water deficit stress and application of humic and salicylic acid on physiological traits, yield and yield components of corn. Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research 13: 88-101. (In Persian with English Summary) http://doi.org/20.1001.1.76712423.1397.13.50.7.2

Rentato, Y., Ferreira, M.E., Cruz, M.C., and Barbosa, J.C., 2003. Organic matter fraction and soil fertility the influence of liming vermicompost and cattle manure. Bioresource Technology 60: 59-63. http://doi.org/10.1590/S0103-90162003000300021

Rezazadeh, H., Khrasani, S.K., and Haghighi, R.S.A., 2012. Effects of humic acid on decrease of phosphorus usage in forage maize var. KSC_{704} (*Zea mays* L.). Australian Journal of Agricultural Engineering 3: 34-38.

Shaaban, S.H.A., 2009. Humic acid foliar application to minimize soil applied fertilization of surface irrigationed wheat. Agricultural Sciences 5: 207-210.

Shahryari, R., Gurbanov, E., Gadimov, A., and Hassanpanah, D., 2008. Tolerance of 42 bread wheat genotypes to drought stress after anthesis. Pakistan Journal of Biological Sciences 11: 1330-1335. http://doi.org/10.3923/pjbs.2008.1330.1335

Sharif, M., Khattak, R.A., and Sarir, M.S., 2002. Effect of different levels of lignitic coal derived humic acid on growth of maize plants. Plant Analysis 33: 3567-3580. https://doi.org/10.1081/CSS-120015906

Siami, R., Mirshekari, B., Farahvash, F., Rashidi, V., and Tarinejad, A., 2017. The effect of seed priming with salicylic acid and water deficit tension on enzyme activity and yield of grain corn. Crop Physiology Journal 34: 23-35. (In Persian with English Summary) http://doi.org/10.22077/escs.2019.1497.1333

Sidari, M., Attina, E., Francioso, O., Tugnoli, V., and Nardi, S., 2006. Biological activity of humic substances is related to their chemical structure. Soil Science Society of America Journal 71: 75-85. https://doi.org/10.2136/sssaj2006.0055

Tousi Mojarrad, M., Ghannadha, M.R., Khodarahmi, M., and Shahabi, S., 2005. Factor analysis for seed yield and some wheat characteristics. Journal of Pajouhesh and Sazandegi 66: 9-16. (In Persian with English Summary)

Xie, L., Liu, M., Ni, B., Zhang, X., and Wang, Y., 2011. Slow-release nitrogen and boron fertilizer from a functional superabsorbent formulation based on wheat straw and attapulgite. Chemical Engineering Journal 167: 342-348. https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.12.082

Zeinali, H., Nasrabadi, A., Hoseinzadeh, H., Chougan, R., and Sabokdast, M., 2005. Factor analysis of hybrid varieties of maize. Iranian Journal of Agricultural Science 36: 895-902. (In Persian with English Summary)

Zhong, K., Zheng, X.L., Mao, X.Y., Lin, Z.T., and Jiang, G.B., 2012. Sugarcane bagasse derivative-based superabsorbent containing phosphate rock with water-fertilizer integration. Carbohydrate Polymers 90: 820-826. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.06.006

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

CC BY

Research Article
Vol. 14, No. 3, Fall 2022, p. 531-548

The Effect of Mycorrhizal Fungus, Humic Acid, and Vermicompost on Biochemical and Yield Properties of *Silybum marianum*

F. Nikkhah Naeeni[1], A. Ladan Moghadam[2*], P. Moradi[3], V. Abdoosi[4] and M. Rezaei[5]

Received: 10-03-2021
Revised: 11-06-2021
Accepted: 12-06-2021
Available Online: 13-12-2022

How to cite this article:
Nikkhah Naeeni, F., Ladan Moghadam, A., Moradi, P., Abdoosi, V., and Rezaei, M., 2022. The effect of mycorrhizal fungus, humic acid, and vermicompost on biochemical and yield properties of *Silybum marianum*. Journal of Agroecology 14(3): 531-548.
DOI: 10.22067/agry.2021.68348.1012

Introduction

Milk thistle (*Silybum marianum)* is one of the most popular medicinal plants in most developed countries. In the past, milk thistle leaves have been used to treat biliary and gastrointestinal diseases. It has valuable effects on the prevention and treatment of long-term complications of diabetes, renal failure, and nerve cell disorders. Silibinin is the most important flavonoid in the plant that plays an important role in prostate cancer treatment. Humic Materials are part of the organic matter of humus soils resulting from the physical, chemical, and microbiological deformation or homophication of biomolecules in the soil. This study aims at investigating the effect of organic and biological fertilizers including humic acid, vermicompost, and two species of mycorrhizal fungi on the physiological and morphological traits of *Silybum marianum*.

Materials and Methods

This study was conducted in the spring in Gorgan. This study was conducted as factorial experiments using a Completely Randomized Design (CRD). Treatments included four levels of vermicompost (0, 25, 50, and 75%), four levels of humic acid fertilizer (0, 25, 50, and 75 $mg.l^{-1}$), and two species of mycorrhizal fungi (*Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*). Yield, 1000 - grain weight, leaf area, capitule number, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoids, soluble sugars, and protein were measured in the plant. All measurements were carried out in three replications, and mean comparisons were made through the Duncan test ($P<0.05$) using an SPSS-22 software package.

Results and Discussion

The results of the data analysis of variance showed that all the studied properties are affected by the interaction of the applied treatments. The highest *Silybum marianum* yield was obtained in *Glomus mosseae* third level vermicompost and first humic acid level equal to 2296 $kg.ha^{-1}$. Also, the lowest grain yield was obtained in the control treatment (435 $kg.ha^{-1}$). The reason for the increase in yield can be attributed to the supply of nutrients, water supply, and improving the respiratory status of the plant due to the use of organic and biological fertilizers. Also, the

1- Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2- Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Garmsar Branch, Islamic Azad University, Garmsar, Iran
3-Associate Professor, Department of Horticultural Science, Saveh Branch, Islamic Azad University, Saveh, Iran
4-Associate Professor, Department of Horticultural Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
5-Associate Professor, Department of Horticultural Science, Agriculture Faculty, Shahrood University of technology, Iran
*Corresponding author: LMAR13201396@gmail.com

presence of mycorrhiza fungi and vermicompost has improved the physical condition of the soil and increased the ability of the plant to use soil water. The highest leaf area (3.96 cm^2) was observed in the fourth level of humic acid (75 mg / L) and vermicompost (75%) in both types of *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*. The highest amount of total chlorophyll in the plant (15.26 mg / g fresh weight) was related to humic acid 50 g / l + mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* at 25% vermicompost level. Mycorrhizal fungus improves nitrogen uptake, which plays a key role in plant chlorophyll structure. On the other hand, nitrogen is the most important element in protein synthesis, which is in favorable condition with the increase of mycorrhizal fungus and leads to an increase in the amount of protein and soluble sugar. The results have shown that the use of humic acid has positive effects on the studied plant characteristics. The highest protein (3.65 mg / wet weight) was obtained in the third level of humic acid and *Glomus intraradices* and the lowest protein (0.92 mg /wet weight) in the control treatment.

Conclusion

The use of organic compounds as fertilizer improves the physical, chemical, and biological properties of soil. Also increases plant growth by providing the plant with the necessary elements. In general, the results showed that the use of organic and bio-fertilizers can improve the status of *Silybum marianum* and these compounds can reduce the use of chemical fertilizers to prevent the adverse effects of these fertilizers on human health and the environment.

Keywords: Bio-fertilizers, Capitule, Carotenoids, Milk thistle, Mycorrhizal.

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

مقاله پژوهشی

بررسی اثر قارچ مایکوریزا، ورمی‌کمپوست و هیومیک اسید بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و عملکردی گیاه ماریتیغال (*Silybum marianum*)

فروزان نیک‌خواه نایینی[۱]، علیرضا لادن مقدم[۲]*، پژمان مرادی[۳]، وحید عبدوسی[۴] و مهدی رضایی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۳/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۲

نیک خواه نایینی، ف.، لادن مقدم، ع.، و مرادی، پ.، ۱۴۰۱. بررسی اثر قارچ مایکوریزا، ورمی‌کمپوست و هیومیک اسید بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و عملکردی گیاه ماریتیغال (*Silybum marianum*). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۳): ۵۴۸-۵۳۱.

چکیده

ماریتیغال (*Silybum marianum*) از گیاهان دارویی مطرح در زراعت اکثر کشورهای توسعه یافته است. این پژوهش به بررسی تأثیر کودهای آلی و زیستی که شامل هیومیک اسید، ورمی‌کمپوست و دو گونه قارچ مایکوریزا بر صفات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه ماریتیغال پرداخته است. این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ در شهر گرگان اجرا شد. تیمارهای این آزمایش شامل چهار سطح کود ورمی‌کمپوست (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد)، چهار سطح کود هیومیک اسید (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر) و دو گونه قارچ مایکوریزا (*Glomus mosseae* و *Glomus intraradices*) است. صفات عملکرد، وزن هزاردانه، سطح برگ، تعداد کاپیتول، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید، قند محلول و پروتئین در گیاه اندازه‌گیری شد. بیشترین عملکرد ماریتیغال با کاربرد قارچ *Glomus mosseae*، ۵۰ درصد ورمی‌کمپوست و بدون مصرف هیومیک اسید برابر با ۲۲۹۶ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. نتایج نشان داد که استفاده از هیومیک اسید دارای اثرات مثبت بر روی تمام ویژگی‌های گیاه مورد مطالعه است. بیشترین مقدار پروتئین (۳/۶۵ میلی‌گرم در وزن تر) در تیمار مربوط به سطح سوم هیومیک اسید و قارچ *Glomus intraradices* و کمترین پروتئین (۰/۹۲ میلی‌گرم در وزن تر) در شاهد به‌دست آمد. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که استفاده از کودهای آلی و زیستی می‌تواند سبب بهبود وضعیت گیاه ماریتیغال شود و با استفاده از این ترکیبات می‌توان مصرف کودهای شیمیایی را کاهش داد تا از اثرات نامطلوب این کودها بر سلامت انسان و محیط زیست جلوگیری شود.

واژه‌های کلیدی: خارمریم، کاپیتول، کاروتنوئید،کلروفیل a

مقدمه

گیاهان دارویی، گیاهانی هستند که بعضی از اندام‌های آن‌ها دارای خواص دارویی است. این گیاهان، از نظر پیشگیری بیماری و درمان و هم در تأمین بهداشت و سلامت جامعه اهمیت دارند.

۱- استادیار، گروه علوم باغبانی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲- استادیار، گروه علوم باغبانی، واحد گرمسار، دانشگاه آزاد اسلامی، گرمسار، ایران.
۳- دانشیار، گروه علوم باغبانی، واحد ساوه، دانشگاه آزاد اسلامی، ساوه، ایران.
۴- دانشیار، گروه علوم باغبانی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۵- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: LMAR13201396@gmail.com)
DOI: 10.22067/agry.2021.68348.1012

(Fayyaz et al., 2011; Valková et al., 2021) ماریتیغال یا خار مریم (نام علمی *Silybum marianum* از خانواده Asteraceae) (Ram, 2005; Qavami et al., 2013; Valková et al., 2021) از قرن یکم میلادی به بعد در اروپا به‌عنوان دارو مورد استفاده قرار می‌گرفته است. مهم‌ترین ویژگی این گیاه وجود نوارهای سفید رنگ در متن سبز برگ‌ها و حتی ساقه‌ها است که به این گیاه حالت نواری می‌بخشد، همچنین چند بخش شانه‌ای به‌صورت بخش‌های تخم-مرغی مثلثی دارد (Omid Beigi, 1997; Zargari, 1996). گل آن صورتی- ارغوانی رنگ، مژک‌دار و خاردار است که هر یک منتهی به یک زایده وسیع و سرنیزه‌ای می‌باشد و در بخش پایینی خاردار و شانه‌ای و گسترده برگشته است (Omid Beigi, 1998). منشأ این گیاه نواحی شرقی مدیترانه گزارش شده است و فراوان‌ترین منطقه رشد این گیاه، سواحل جنوب شرقی انگلیس (که فراوان‌ترین نقطه کره زمین، این منطقه است)، ایران، آمریکای شمالی و استرالیا و نیوزیلند می‌باشد. مزارع ساخته شده توسط انسان این گیاه، برای مصارف دارویی و برآورد مواد اولیه صنعتی از این گیاه در مناطق وسیعی در اتریش (منطقه والدویرتل)، آلمان، مجارستان، لهستان، چین و آرژانتین قرار داشته و در مناطق اروپایی کاشت این گیاه، هر ساله در بین ماه‌های مارس تا آوریل انجام و برداشت آن در ماه آگوست می-باشد (Greenlee et al., 2007).

برگ‌های ماریتیغال در گذشته برای مداوای بیماری‌های صفراوی و بیماری‌های مربوط به دستگاه گوارشی استفاده می‌شد (Benda et al., 1980). الدر، نویسنده رومی قرن اول بعد از میلاد می‌نویسد گیاه ماریتیغال برای ترشح و انتقال صفرا مفید است. تاریخ درمانی این گیاه به ۲۰۰۰ سال پیش بر می‌گردد و در منابع یونانی از آن به‌عنوان یک داروی محافظت‌کننده کبدی نام برده‌اند؛ کول پیر، اولین گیاه‌شناس دارویی در انگلستان، این گیاه را برای دفع انسداد کبد و طحال و درمان زردی مفید می‌داند (Lupers et al., 1998). از قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم از دانه این گیاه برای درمان وریدهای واریسی ناشی از احتقان کبد و طحال، التهاب لوزالمعده و سنگ کیسه صفرا استفاده می‌شود .(Fintelmannz, 1999; Li et al., 2018) هم اکنون اداره دارو و غذای آلمان این گیاه دارویی را جهت اختلالات گوارشی، مسمومیت و سیروز کبدی و به‌عنوان یک مکمل دارویی در درمان التهاب کبدی پیشنهاد نموده است (Blumenthal and Busse 1998). به نظر می‌رسد فعالیت مواد مؤثره این گیاه در درمان بیماری-های کبد و جلوگیری از هپاتیت به‌خاطر ویژگی‌های آنتی‌اکسیدان آن‌ها باشد، به‌طوری که از پراکسیداسیون چربی و تخریب غشای سلولی جلوگیری می‌نماید به‌علاوه بیوسنتز پروتئین را تحریک نموده و ترمیم سلول‌ها را در کبد صدمه دیده تسریع می‌نماید (Alikaridis et al., 2000). این گیاه اثرات با ارزشی در پیشگیری و درمان عوارض دراز مدت دیابت، نارسایی کلیوی و اختلالات سلول‌های عصبی دارد. وجود فلاونوئیدها در گیاه ماریتغال گزارش شده است (Divers & Barton, 2018) و سیلی‌بین مهم‌ترین فلاونوئید این گیاه است که در درمان سرطان پروستات نقش مؤثری را ایفا می‌نماید. این گیاه بیشتر به‌عنوان یک گیاه دارویی مطرح است، ولی استفاده-های دیگری برای آن مشخص شده است. از جمله آن که این گیاه قابلیت آن را دارد که به‌عنوان یک گیاه روغنی مطرح شود. همچنین از کنجاله آن در بعضی از کشورها در تغذیه دام‌ها استفاده می‌شود، استفاده از دانه این گیاه به‌میزان ۳۰۰ گرم در جیره روزانه گاوهای شیری در طی دو هفته باعث افزایش میزان شیر آن‌ها شده است (Wang & Kao, 1988). عصاره بذر این گیاه دارای ترکیبات بسیار زیادی از جمله سیلی‌بین A و B، سیلی‌دیانین، سیلی‌کریستین، آپی-ژنین، دی‌هیدروسیلیبین، دی‌اکسی‌سیلی‌کریستین، دی‌اکسی‌سیلی-دیانین و ... است. عصاره دانه خشک گیاه دارای یک الی چهار درصد، سیلی‌مارین است که شامل فلاونوئیدها از جمله سیلی‌بین A و B، سیلی دیانین، سیلی‌کریستین و دی هیدروسیلیبین است (Schandalik et al., 1992). دیگر فلاونولیگنان‌های موجود در عصاره این گیاه شامل سیلاندرین، سیلیبینوم، سیلی هرمین و اسیدهای میرستیک، پالمیتیک و استیریک می‌باشد که ممکن است خواص محافظت کبدی داشته باشند (Varma & Talwar, 1980). به‌علاوه ه خشک گیاه دارای ۱۵ الی ۲۰ درصد روغن می‌باشد که خواص دارویی ندارد (Schandalik et al., 1992). عصاره بذر این گیاه بعد از مصرف خوراکی حدود ۲۰ الی ۵۰ درصد جذب بدن می‌شود. اما کمپلکس فسفاتیدیل‌کولین (Phosphatidy choline) جذب بالاتری دارد (Salwa, 2011; Barzaghi et al., 1990).

مواد آلی عامل اصلی باروری خاک می‌باشند. مواد هیومیکی به‌عنوان بخشی از مواد آلی خاک‌های هوموسی می‌باشند که از تغییر شکل فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژیکی و یا هومیفیکاسیون بیومولکول‌های موجود در خاک به‌وجود آمده‌اند، به‌طوری‌که ۸۰ درصد از ماده آلی خاک را تشکیل می‌دهند. در تعریف کلی، هوموس به مواد

تغییر شکل یافته حاصل از ارگانیسم‌های گیاهی و حیوانی گفته می‌شود، به عبارت دیگر، مواد هیومیکی از تغییر شکل ضایعات گیاهی و حیوانی در خاک و یا هوموس به‌دست می‌آیند (Stevenson, 1994). این مواد هر چند عمدتاً از بازمانده‌های گیاهی منشا می‌گیرند، ولی نه تنها از نظر ویژگی‌های ساختمانی بلکه به لحاظ کارکرد و نقش‌های مفید که در خاک ایفا می‌کنند هیچ گونه شباهتی به اجزای گیاهی ندارند و حاوی ترکیبات فنولیک، کربوهیدرات‌ها، آمینواسیدهای تغییر شکل یافته در یک ترکیب تجزیه شده هستند (O'Donnell, 1973). همچنین هیومیک اسید یک ترکیب پلیمری آلی است که در نتیجه پوسیدگی مواد آلی خاک، پیت، لیگنین و غیره به‌وجود می‌آید که می‌تواند جهت افزایش محصول و کیفیت آن به‌کار گرفته شود (Aiken, 1985). مواد هیومیکی ترکیبات پیچیده‌ای از هوموسی می‌باشند که دارای وزن ملکولی بالا و قدرت کمپلکس کنندگی زیاد می‌باشد (Mikkelsen, 2005).

در پژوهشی که توسط آپاراجیتا و همکاران (Das et al., 2012) روی گیاه دارویی حسن یوسف (*Coleus Forskohli*) انجام شد، تعامل قارچ *Piriformospora indica* با ریشه گیاه منجر به افزایش ارتفاع، تعداد شاخه، طول شاخه (بعد از شش ماه) شد. طی آزمایشی مشخص شد که تلقیح گیاه شبدر با قارچ‌های مایکوریزا موجب افزایش سطح برگ‌ها و در نتیجه، افزایش میزان کلروفیل آن‌ها شده و سرعت فتوسنتز خالص را در کل دوره رشد گیاه افزایش می‌دهد. قارچ‌های مایکوریزا به روش‌های مستقیم مانند بهبود تغذیه گیاه ماریتیغال از طریق افزایش جذب عناصر غذایی و همچنین جذب آب توسط گیاه (Smith et al., 1997) و غیرمستقیم مانند تنش‌های زیستی (بیماری‌های گیاهی) (Calvet et al., 1997) و غیرزیستی (شوری، خشکی، فلزات سنگین و غیره) (Rabie et al., 2005) سبب افزایش رشد گیاه میزبان می‌شوند. در پژوهشی که به‌منظور ارزیابی کاربرد ورمی‌کمپوست (صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) و هیومیک اسید (صفر، ۰/۵ و ۱ درصد) بر گیاه دارویی زنیان صورت گرفت، نتایج نشان داد، کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و هیومیک اسید باعث افزایش تعداد چتر در بوته شد (Khalesro & Malekian, 2017). پژوهش‌های فراوانی در مورد کاربرد همزمان ورمی‌کمپوست و هیومیک اسید بر روی گیاهان دارویی صورت گرفته است (Hajghani et al., 2017; Saydi et al., 2017; Gholami et al., 2015).

با توجه به اهمیت گیاه ماریتیغال و نبود مطالعه کافی در مورد این گیاه، بررسی اثر نهاده‌های مغذی بر ویژگی‌های گیاه ماریتیغال بسیار ضروری است. همچنین استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی باعث آلودگی محیط زیست و به خطر افتادن سلامت انسان شده است. از این رو، هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر سه نوع ماده تأمین‌کننده عناصر غذایی آلی شامل هیومیک اسید، ورمی‌کمپوست و دو نوع قارچ مایکوریزا روی برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی (مانند پروتئین، قند، کلروفیل‌ها و کارتنوئید) و مورفولوژیکی (مانند عملکرد، سطح برگ، تعداد کاپیتول و غیره) گیاه ماریتیغال است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در شهرستان گرگان واقع در استان گلستان در سال ۱۳۹۸ انجام شده است. برای انجام این پژوهش بذر ماریتیغال از مرکز تحقیقات گیاهان دارویی اصفهان تهیه شدند. پس از آماده کردن بذرها، پتری دیش‌ها با الکل ۷۰ درصد ضدعفونی شدند. همچنین ابزار و ظروف مورد استفاده در این آزمایش، با الکل ۷۰ درصد ضدعفونی شدند. پس از اطمینان از پاکیزه بودن محیط و وسایل، کاغذ صافی را درون پتری دیش قرار داده و بذرها به‌ترتیب تیمارهای مورد نظر درون پتری دیش قرار گرفتند. بذرها پس از انتقال به گلدان و جوانه‌زنی، در مرحله دو تا چهار برگی تنک شدند. آبیاری با آب شهری هر سه روز یک‌بار انجام شد. سپس بذرها در فصل بهار به جعبه‌های کشت منتقل شدند. این پژوهش به‌صورت فاکتوریل با طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار به‌اجرا در آمد. تیمارهای مورد مطالعه در این پژوهش شامل چهار سطح ورمی‌کمپوست (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد (V0, V1, V2, V3))، هیومیک اسید (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر (H0, H1, H2, H3)) و دو گونه قارچ مایکوریزا *Glomus mosseae* و *Glomus intraradices* است. برای این تیمار بذرها را به‌صورت جداگانه به این دو گونه قارچ آغشته کرده، به‌صورت بذرمال مورد استفاده قرار گرفتند. برای تهیه ورمی‌کمپوست از پسماندهای آلی استفاده شد که بعد از خرد شدن در جعبه‌های مخصوص ریخته شده و رطوبت آن ها در حد ۶۰ درصد اشباع به‌مدت پنج هفته در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد. سپس به جعبه‌ها تعداد ۵۰ عدد کرم از گونه *Eisenia foetida* اضافه شد و هوادهی و رطوبت جعبه به‌صورت منظم در طول سه ماه بررسی شد. بعد از اعمال تیمارهای مورد نظر برداشت انجام شد و نمونه‌ها برای آنالیز شیمیایی به آزمایشگاه انتقال داده شدند.

علمکرد، وزن هزار دانه و تعداد کاپیتول نیز اندازه‌گیری شدند. به‌منظور اندازه‌گیری سطح برگ در پایان آزمایش ابتدا برگ‌های هر گیاه جدا شده و سپس با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ و نرم‌افزار Windias 3 سطوح برگ‌ها به‌دست آمد. برای اندازه‌گیری مقدار کلروفیل a، b و کل و همچنین کارتنوئید ابتدا از هر نمونه تر گیاهی ۰/۵ گرم اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در هاون ساییده تا خوب له شوند و بعد مجدداً ۱۰ میلی‌لیتر دیگر به آن استون ۸۰ درصد اضافه شدند تا در مجموع، هر نمونه به حجم ۲۰ میلی‌لیتر برسد. در مرحله بعد، لوله‌های آزمایش حاوی نمونه‌ها در سانتریفیوژ قرار گرفته و با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه و به‌مدت۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند و نمونه‌ها به دو فاز مایع و جامد تقسیم شدند. در مرحله آخر دستگاه رفراکترومتر با استون ۸۰ درصد کالیبره شده، بعد مقداری از فاز مایع نمونه‌ها برداشت و در کوت ریخته شد و با دستگاه میزان جذب نوری آن در دو طول موج ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (T90, Beijing Instruments, China Karaltay Scientific) قرائت شد. برای اندازه‌گیری هیدرات‌های کربن محلول از عصاره الکلی استفاده شد، برای این منظور ۰/۵ گرم ماده تر گیاهی را در پنج میلی‌لیتر الکل ۹۵ درصد خوب ساییده و محلول هموژن را جدا کرده، سپس پنج میلی-لیتر الکل ۷۰ درصد اضافه کرده و خوب ساییده و مجدد محلول هموژن را جدا کرده و برای بار دوم پنج میلی‌لیتر الکل ۷۰ درصد اضافه کرده و ساییده و بعد از جدا کردن محلول هموژن، این محلول را به‌مدت ۱۰ دقیقه در ۳۵۰۰ دور سانتریفوژ شد. به ۱۰۰ میکرولیتر عصاره الکلی سه میلی‌لیتر معرف آنترون (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون +۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲ درصد) اضافه شد و سپس به‌مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش گرما داده شد و جذب این ماده در طول موج ۶۲۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (T90, Beijing Instruments, China Karaltay Scientific) قرائت شد. منحنی استاندارد با استفاده از غلظت‌های مختلف گلوکز (۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ میکروگرم بر میلی لیتر) رسم شد (Yemm & Willis, 1954). برای اندازه‌گیری پروتئین‌های محلول از روش ترکیب کردن عصاره گیاه و معرف برادفورد استفاده شد. برای تهیه عصاره، ۰/۱ گرم از بافت منجمد گیاهی با دو میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی مولار با ۷ pH: خوب ساییده شد. همگنای حاصل در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۴۵ دقیقه و در دمای ۴°C سانتریفوژ شد. بخش رو شناور جدا و با ۲/۵ میلی‌لیتر معرف برادفورد مخلوط و جذب محلول‌ها در ۵۹۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (T90, Beijing Karaltay Scientific Instruments, China) در طول موج ۵۹۵ نانومتر میزان پروتئین محلول خوانده شد (Blumenthal and Busse 1998). در این پژوهش، تجزیه و تحلیل واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و آزمون دانکن در سطح پنج درصد انجام گرفت. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تیمارهای اعمال شده بر صفات مورفولوژیکی گیاه خارمریم

Table 1- Results of analysis of variance of treatments applied on morphological traits of *Silybum marianum*

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات M.S			
		تعداد کاپیتول No of Capitule	سطح برگ Leaf area index	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد Yield
تکرار Repetition	2	6.64^{ns}	5.45^{ns}	145.54^{*}	4532.34^{ns}
تیمار Treatment	32	0.159^{**}	3.73^{**}	321.31^{**}	4316.56^{**}
تکرار × تیمار Treatment× Repetition	98	0.006^{**}	0.12^{*}	429.46^{**}	8673.67^{**}
خطا Error	65	0.20	0.131	76.53	3457.52
ضریب تغییرات CV	-	3.10	12.15	17.56	14.32

**، * و ns: به‌ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

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

ادامه جدول ۱

Continue the table 1

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات M.S					
		پروتئین Protein	قند محلول Soluble sugars	کارتنوئید Carotenoids	کلروفیل کل Toal Chlorophyll	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a Chlorophyll a
تکرار Repetition	2	0.342 ns	12.01 ns	2.041 ns	0.007 ns	32.54 ns	82.32 ns
تیمار Treatment	32	0.452**	17.13**	2.346**	0.025**	25.43**	24.54**
تکرار × تیمار Treatment× Repetition	98	0.126*	14.23**	0.022**	0.019**	49.69*	45.72*
خطا Error	65	0.104	5.09	0.051	0.007	21.34	45.65
ضریب تغییرات CV	-	0.42	0.20	11.06	9.34	0.002	0.002

**، * و ns: به‌ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار.

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

نتایج و بحث

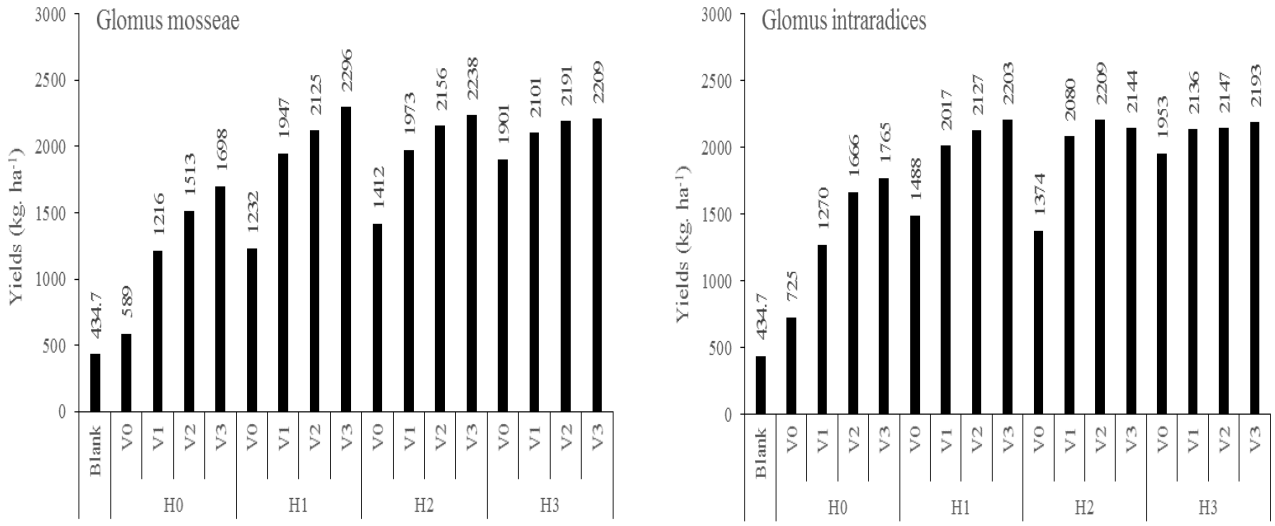
نتایج آنالیز واریانس اطلاعات نشان داده است که همه ویژگی‌های مورد بررسی تحت تأثیر اثر متقابل تیمارهای قارچ مایکوریزا، هیومیک اسید و ورمی‌کمپوست هستند.

عملکرد

در شکل ۱ نتایج تغییرات عملکرد دانه ناشی از اعمال تیمارها ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بیشترین عملکرد در قارچ *Glomus mosseae* سطح سوم ورمی‌کمپوست و سطح اول هیومیک اسید معادل ۲۲۹۶ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمده است. کمترین عملکرد نیز در شاهد (۴۳۵ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمده است. به‌طور کلی، نتایج نشان داده است که با افزایش هیومیک اسید و ورمی‌کمپوست، عملکرد گیاه افزایش چشمگیری داشته است. علت افزایش عملکرد را می‌توان به تأمین عناصر غذایی، تأمین آب و بهبود وضعیت تنفسی گیاه ناشی از مصرف کودهای آلی و زیستی نسبت داد. نتایج نشان داده است که استفاده از قارچ به دلایل مختلف سبب بهبود وضعیت گیاه شده است. یکی از این دلایل بهبود وضعیت جذب و قابلیت استفاده از آب توسط سیستم ریشه است. تأثیری که هم‌زیستی مایکوریزی در اصطلاح توازن آبی گیاه میزبان دارد، ممکن است از طریق تأثیر هیف این قارچها در بهبود ساختمان خاک و افزایش توانایی نگهداری آب در خاک باشد. هنگامی که خاک اطراف ریشه به‌دلیل مصرف آب خشک می‌شود، علایمی از سمت ریشه به اندام هوایی ارسال می‌شود که منجر به بسته شدن روزنه‌ها می‌شود. در گیاهان مایکوریزا مشاهده شده است که این علایم کندتر منتقل شده و حتی در مواردی که قسمتی از ریشه مواجه با خاک خشک می‌باشد، روزنه‌ها هنوز باز بوده و فتوسنتز انجام می‌شود (Auge & Duan, 1991). از دیگر دلایل بهبود شرایط گیاه را می‌توان به کاهش اثرات مخرب بیمارگرها نسبت داد. مایکوریزاها باعث افزایش مقاومت میزبان‌های خود به انواعی از آفات و بیمارگرهای خاکزا می‌گردند مشابه استنباط صورت گرفته از روابط آبی، بخشی از مقاومت ایجاد شده در برابر عوامل بیماری‌زا، به‌دلیل جذب بیشتر عناصر معدنی در گیاهان مایکوریزی می‌باشد. افزایش جذب مقاومت در برابر آفات و بیماری‌ها را در پی داشته باشد (Graham et al., 1998). سایر اثرات متقابل ریشه بیمارگر گیاهی که توسط مایکوریز تحت تأثیر قرار می‌گیرد، به‌دلیل پیش کلونیزاسیون ریشه‌ها توسط این قارچها قبل از فعالیت بیمارگر می‌باشد (Afek et al., 1990; Sherameti et al., 2008).

در آزمایشی که توسط عزیزی و همکاران (Azizi et al., 2004) بر روی گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum*) صورت گرفت، مشاهده شد که تیمارهای حاوی ورمی‌کمپوست، به‌طور چشمگیری عملکرد را در مقایسه با شاهد افزایش دادند که نتایج این پژوهشگران با نتایج حاصل از این پژوهش تطابق دارد. عبداله زارع و همکاران

(Abdollahzare et al., 2011) نیز با استفاده از مصرف کودهای شیمیایی و آلی مقدار عملکرد ۲۱۷۵ کیلوگرم در هکتار را برای گیاه ماریتیغال به‌دست آوردند. شهروزوند و همکاران (Shahrusvand et al., 2020) نشان دادند که با افزایش مقدار ورمی‌کمپوست عملکرد گیاه سویا (*Glycine max*) افزایش معنی‌داری یافته است.



شکل ۱- اثر تیمارهای اعمال شده بر عملکرد گیاه خارمریم

Fig. 1- Effect of treatments on yield of *Silybum marianum*

ورمی‌کمپوست (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد (V_0, V_1, V_2, V_3))،
هیومیک اسید (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر (H_0, H_1, H_2, H_3))
Vermicompost (0, 25, 50 and 75 % (V_0, V_1, V_2, V_3))
Humic acid (0, 25, 50 and 75 mg L^{-1} (H_0, H_1, H_2, H_3))

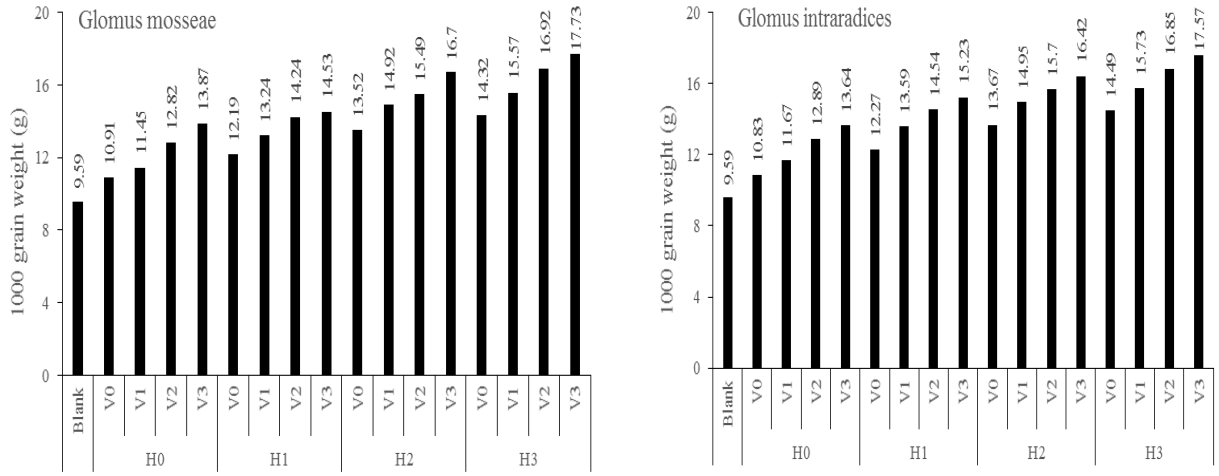
وزن هزار دانه

در شکل ۲ نتایج تغییرات وزن هزار دانه تحت تأثیر تیمارهای اعمال شده نمایش داده شده است. نتایج نشان داده است که با افزایش سطوح ترکیبات آلی وزن هزار دانه افزایش یافته است. بیشترین وزن هزار دانه در تیمار قارچ *Glomus mosseae* و سطح چهارم هیومیک اسید و ورمی‌کمپوست (۱۷/۷۳ گرم) به‌دست آمده است. اثرات مثبت ترکیبات هیومیکی در جذب مواد غذایی در توت فرنگی توسط پیلانلی و کاپلان (Pilanali & Kaplan, 2003)، اثر مثبت اسید هیومیک بر رشد و محصول نهایی گوجه‌فرنگی و خیار در کشت هیدروپونیک توسط آتیه و همکاران (Atiyeh et al., 2002) نشان داده شد. نتایج پژوهش اکبری‌نیا و همکاران (Akbarinia et al., 2003) بر روی گیاه زینان (*Trachyspermum copticum*) حاکی از این است که در سیستم زیستی، با افزایش کود دامی، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کود دامی افزایش یافت. قارچ‌های مایکوریزا به روش‌های مستقیم مانند بهبود تغذیه گیاه ماریتیغال از طریق افزایش جذب عناصر غذایی و همچنین جذب آب توسط گیاه (Smith et al., 1997) و غیرمستقیم مانند تنش‌های زیستی (بیماری‌های گیاهی) (Calvet et al., 1997) و غیرزیستی (شوری، خشکی، فلزات سنگین و غیره) (Rabie et al., 2005) سبب افزایش رشد گیاه میزبان می‌شوند.

سطح برگ

در شکل ۳، نتایج تغییرات سطح برگ در تیمارهای مختلف آمده است. مشاهده می‌شود که بالاترین مقدار سطح برگ در تیمار سطح چهارم هیومیک اسید و ورمی‌کمپوست در هر دو نوع قارچ به‌دست آمده است. در مورد سطح برگ نیز مشاهده می‌شود که همانند عملکرد و وزن هزار دانه یک روند افزایشی به‌دست آمده است. به این صورت که با افزایش سطح هیومیک اسید و ورمی‌کمپوست، مساحت سطح برگ افزایش یافته است. کمترین مساحت سطح برگ در شاهد برابر با ۱/۲۴ سانتی‌مترمربع به‌دست آمده است. اصلانی و همکاران (Aslani et al., 2011) گزارش کردند بیشترین سطح برگ بین دو رقم *Glomus mosseae* و *Glomus intraradices* در رقم

Glomus mosseae به‌دست آمد که علت این امر را درصد کلونیزاسیون بیشتر این رقم گزارش کرد. طبق گزارش هاریس و پاول (Harris & Paul., 1987) هم‌زیستی با قارچ مایکوریزا می‌توانند فتوسنتز را از طریق تغییرات مورفولوژیکی از قبیل افزایش سطح برگ، افزایش دهند. شاخص سطح برگ و محتوی کلروفیل در برگ‌های (*Pistacia vera* L.) و همچنین میزان فتوسنتز در تیمارهای ورمی-کمپوست نسبت به تیمارهای بدون ورمی‌کمپوست بالاتر بود



شکل ۲- اثر تیمارهای اعمال شده بر وزن هزار دانه گیاه خارمریم

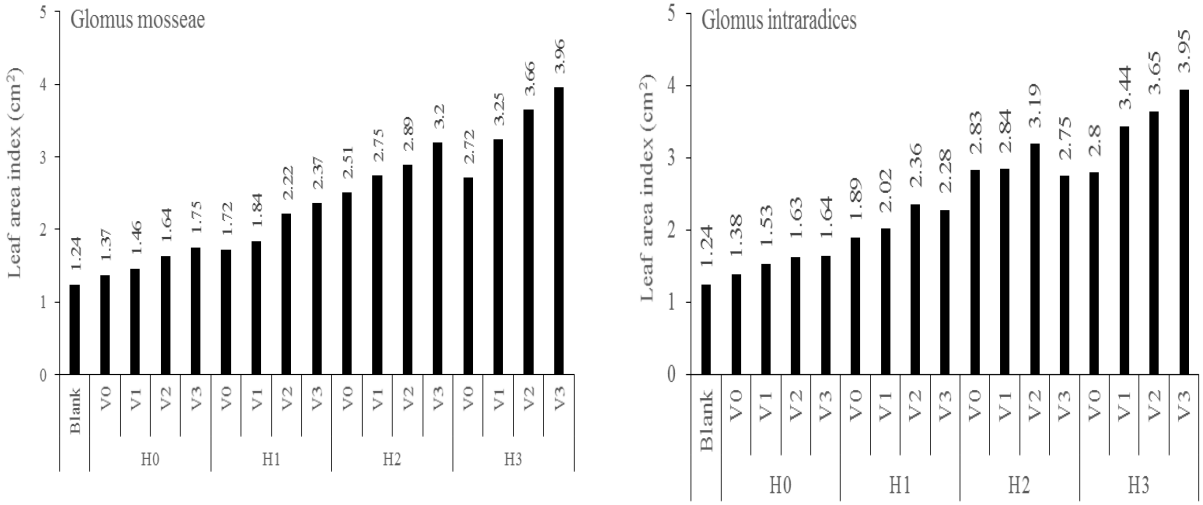
Fig. 2- Effect of treatments on 1000-grain weight of *Silybum marianum*

ورمی‌کمپوست (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد (V_0, V_1, V_2, V_3))،

هیومیک اسید (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر (H_0, H_1, H_2, H_3))

Vermicompost (0, 25, 50 and 75 % (V_0, V_1, V_2, V_3))

Humic acid (0, 25, 50 and 75 mg L^{-1}(H_0, H_1, H_2, H_3))



شکل ۳- اثر تیمارهای اعمال شده بر سطح برگ گیاه خار مریم

Fig. 3- Effect of treatments on Leaf area index of *Silybum marianum*

ورمی‌کمپوست (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد (V_0, V_1, V_2, V_3))،

هیومیک اسید (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر (H_0, H_1, H_2, H_3))

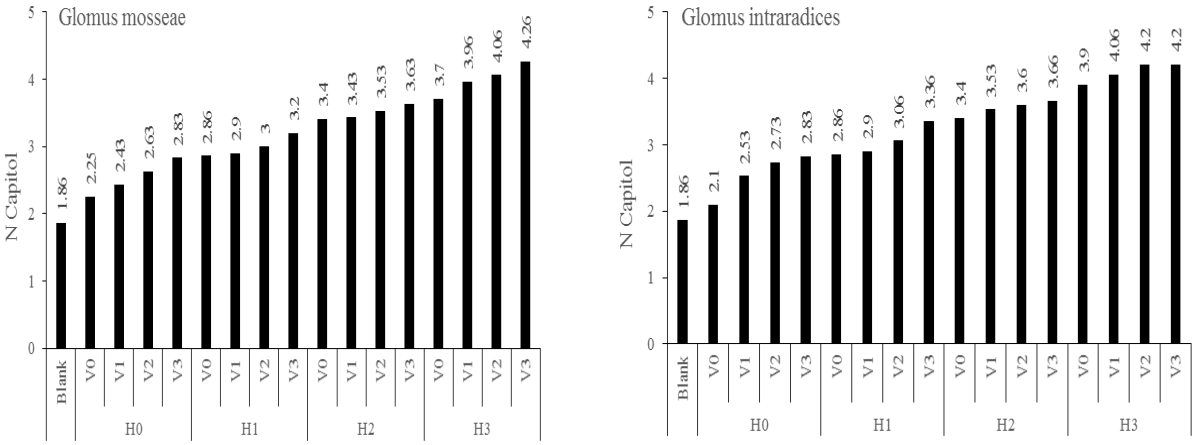
Vermicompost (0, 25, 50 and 75 % (V_0, V_1, V_2, V_3))

Humic acid (0, 25, 50 and 75 mg L^{-1}(H_0, H_1, H_2, H_3))

. در پژوهش آتیه و همکاران (Atiyeh et al., 2002) بیشترین سطح برگ و محتوی کلروفیل در ۱۰ و ۲۰ درصد ورمی‌کمپوست به‌دست آمد که با نتایج این پژوهش همسو می‌باشد. همچنین الکوبایسی و همکاران (Alkobaisy et al., 2020) نشان دادند که استفاده از مایکوریزا و ورمی‌کمپوست سبب بهبود سطح برگ در گیاه سویا شده است.

تعداد کاپیتول

در شکل ۴ نتایج تغییرات تعداد کاپیتول در بوته تحت تأثیر تیمارهای اعمال شده آمده است. در این صفت نیز همانند دیگر صفات یک روند افزایشی منظم در تعداد کاپیتول با افزایش مصرف ترکیبات آلی به‌دست آمده است، به نحوی که بیشترین تعداد در تیمار سطح چهارم هیومیک اسید و ورمی‌کمپوست در قارچ *Glomus mosseae* (۴/۳) و *Glomus intraradices* (۴/۲) به‌دست آمده است. افزایش رشد گیاهان با کاربرد مواد هیومیکی گاهی اوقات با افزایش در دسترس بودن عناصر میکرو خصوصاً آهن و روی ارتباط دارد. در بعضی موارد افزایش جذب عناصری مانند آهن و فسفر در حضور مواد هیومیک به کاهش سرعت رسوب آن‌ها در محیط خاک یا محلول غذایی توسط این مواد نسبت داده می‌شود (Mackowiak et al., 2001). تحقیقات نشان داده است که کاربرد اسید هیومیک بر روی محصولات مختلف سبب افزایش میزان محصول و بهبود کیفیت آن می‌گردد. در پژوهشی که در کشور مصر بر روی گیاه انگور (*Vitis vinifera*) صورت گرفت، نشان داده شده است که استفاده از هیومیک اسید سبب افزایش اندازه حبه‌های انگور و افزایش میزان مواد جامد محلول و کیفیت آن شده است (Eman et al., 2008). همچنین در پژوهشی دیگر که بر روی سیب زمینی (*Solanum tuberosum*) صورت گرفت، نشان داده شد که استفاده از هیومیک اسید و کودهای آلی از طریق محلول‌پاشی و کاربرد آن از طریق آبیاری قطره‌ای موجب افزایش کیفیت و کمیت غده‌های آن شده است (Selim et al., 2009). به‌علاوه هیومیک اسید دارای خواص ضدقارچی بوده و از این طریق نیز می‌تواند با کاهش آلودگی‌های قارچی و کنترل آن سبب افزایش کمّی و کیفی محصول در گیاهان گردد. در همین زمینه پژوهشی بر روی درخت نارنگی (*Citrus tangerina*) صورت گرفت که نشان داد استفاده از هیومیک اسید سبب کاهش بیماری پوسیدگی ریشه در اثر قارچ فایتوفترا (Phytophthora) شده و نیز سبب افزایش کیفیت و کمیت محصول در آن شده است (Mohamedy & Ahmed, 2009). هیومیک اسید، متابولیسم گیاهی را به‌طور فعالی تغییر می‌دهد و با فعال‌سازی مواد شبه هورمونی موجب تحریک رشد و نمو گیاه می‌گردد (Mikkelson, 2005).



شکل ٤- اثر تیمارهای اعمال شده بر تعداد کاپیتول گیاه خارمریم

Fig. 4- Effect of treatments on capitule of *Silybum marianum*

ورمی‌کمپوست (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد (V_0, V_1, V_2, V_3))،

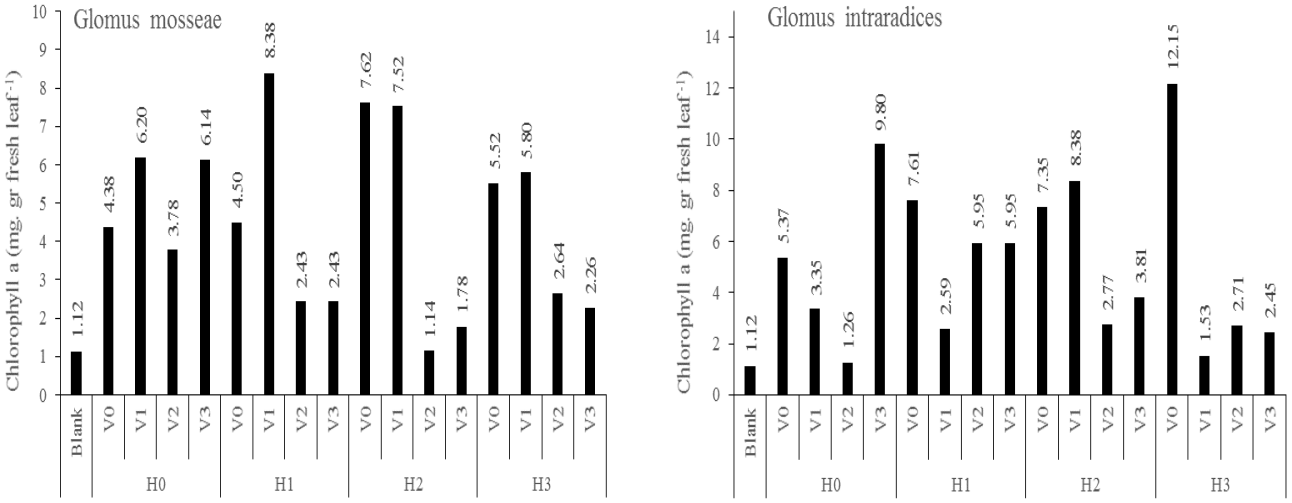
هیومیک اسید (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر (H_0, H_1, H_2, H_3))

Vermicompost (0, 25, 50 and 75 % (V_0, V_1, V_2, V_3))

Humic acid (0, 25, 50 and 75 mg L^{-1}(H_0, H_1, H_2, H_3))

کلروفیل a

تغییرات اثر تیمارهای اعمال شده در بستر کشت گیاه دارویی ماریتیغال بر کلروفیل a در گیاه (شکل ۵) نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل a در گیاه (۱۲/۱۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به هیومیک اسید $g.l^{-1}$ ۷۵ + قارچ مایکوریزا *Glomus intraradices* و کمترین کلروفیل a در گیاه (۱/۱۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به شاهد بود. نتایج نشان داده است که در قارچ *Glomus mosseae* استفاده از سطح دوم ورمی‌کمپوست (۲۵ درصد) نسبت به سطوح بالاتر آن اثرات بهتری داشته است. همچنین مشاهده شده است که با افزایش هیومیک اسید به‌صورت کلی روند کلروفیل a افزایش نسبی یافته است. هیومیک اسید با افزایش جذب مواد غذایی و کاهش تبخیر و تعرق باعث افزایش فتوسنتز و در نهایت، سبب افزایش تولید رنگدانه‌های گیاهی می‌شود که از جمله کلروفیل‌های a، b، کل و کارتنوئید می‌گردد. در همین راستا، باسیونی و همکاران (Bassiouny et al., 2014) بیان داشت که تأثیر مثبت هیومیک اسید بر روی سوخت و ساز سلول‌های گیاهی سبب افزایش رنگدانه‌ها می‌شود و طبق گزارشات با مصرف هیومیک اسید در خاک سبب افزایش جذب منیزیم و آهن در گیاه می‌گردد. شهروزوند و همکاران (Shahrusvand et al., 2020) در مطالعه‌ای بر روی گیاه سویا نشان دادند که افزایش مقدار ورمی‌کمپوست سبب افزایش معنی‌دار میزان کلروفیل a شده است که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد.



شکل ۵- اثر تیمارهای اعمال شده بر مقدار کلروفیل a گیاه خارمریم

Fig. 5- Effect of treatments on chlorophyll a of *Silybum marianum*

ورمی‌کمپوست (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد (V_0, V_1, V_2, V_3))،

هیومیک اسید (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر (H_0, H_1, H_2, H_3))

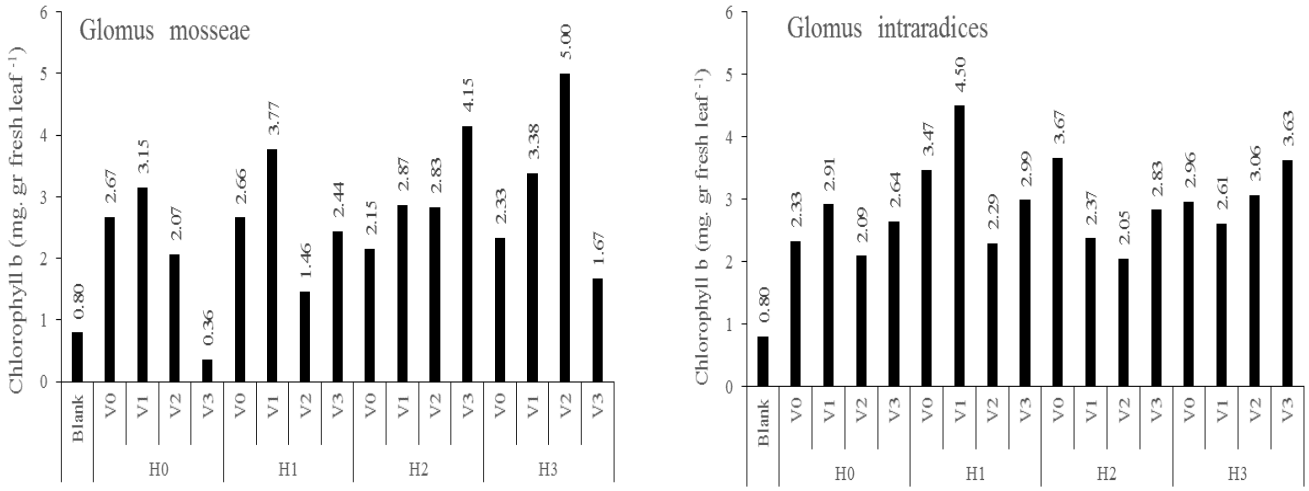
Vermicompost (0, 25, 50 and 75 % (V_0, V_1, V_2, V_3))

Humic acid (0, 25, 50 and 75 mg L^{-1}(H_0, H_1, H_2, H_3))

کلروفیل b

نتایج تغییرات تغییرات کلروفیل b در شکل ۶ نمایش داده شده است. تغییرات اثر تیمارهای اعمال شده در بستر کشت گیاه دارویی ماریتیغال بر کلروفیل b در گیاه (شکل ۲) نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل b در گیاه (۵/۰۰ میلی گرم بر گرم وزن تر) مربوط به هیومیک اسید $g.l^{-1}$ ۷۵ + قارچ مایکوریزا *Glomus mosseae* و کمترین کلروفیل b در گیاه (۰/۳۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به سطح اول هیومیک اسید و قارچ مایکوریزا *Glomus mosseae* است. نتایج نشان داده است که استفاده از قارچ‌های مختلف تأثیرات متفاوتی بر روی مقدار کلروفیل گیاه دارد. چرا که هر قارچ با عملکرد ویژه خود تأثیرات متفاوتی بر تغذیه گیاه و دیگر شرایط رشد گیاه دارد. با توجه به نتایج، یک روند کلی در افزایش کلروفیل b با افزایش هیومیک اسید نشان داده شده است. مواد هیومیک توانایی ایجاد کمپلکس با انواع کاتیون‌ها را دارند و می‌توانند به‌عنوان منبع

ذخیره‌کننده برای کاتیون‌های چند ظرفیتی به‌کار روند (Mikkelsen, 2005). در مورد کلروفیل b نیز همانند کلروفیل a روند مشخصی در افزایش ورمی‌کمپوست مشاهده نشده است و در مقادیر کم ورمی-کمپوست مقدار کلروفیل b بالاتری به‌دست آمده است. در تیمارهای اعمال شده به همراه قارچ *Glomus intraradices* روند مشخص-تری در افزایش کلروفیل b به‌دست آمده است. به این صورت که با افزایش درصد ورمی‌کمپوست مصرفی، مقدار کلروفیل b افزایش یافته است. هیومیک اسید می‌تواند به‌عنوان یک بازدارنده و مانع‌شونده اوره از و همین‌طور بازدارنده نیتریفیکاسیون در بعضی شرایط عمل کند (Mikkelsen, 2005). شهروزوند و همکاران (Shahrusvand et al., 2020) نشان دادند که با تغییرات مقدار ورمی‌کمپوست مقدار کلروفیل b به‌صورت معنی‌داری تغییر می‌کند. نتایج این پژوهشگران با نتایج به‌دست آمده از این مطالعه در یک راستا است.



شکل ٦- اثر تیمارهای اعمال شده بر مقدار کلروفیل b گیاه خارمریم

Fig. 6- Effect of treatments on chlorophyll b of *Silybum marianum*

ورمی‌کمپوست (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد (V_0, V_1, V_2, V_3))،

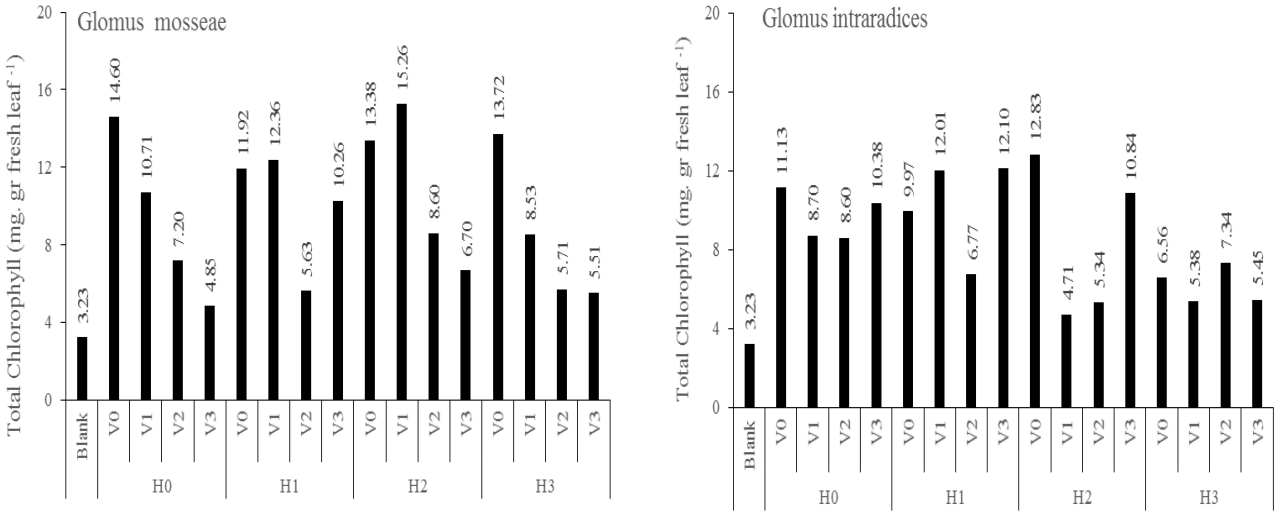
هیومیک اسید (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر (H_0, H_1, H_2, H_3))

Vermicompost (0, 25, 50 and 75 % (V_0, V_1, V_2, V_3))

Humic acid (0, 25, 50 and 75 mg L^{-1}(H_0, H_1, H_2, H_3))

کلروفیل کل

تغییرات اثر تیمارهای اعمال شده در بستر کشت گیاه داروئی ماریتیغال بر کلروفیل کل در گیاه (شکل ۷) نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل کل در گیاه (۱۵/۲۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به هیومیک اسید ۵۰ $g.l^{-1}$ + قارچ مایکوریزا *Glomus mosseae* در سطح ۲۵ درصد ورمی‌کمپوست به‌دست آمده است. کمترین مقدار کلروفیل کل در گیاه (۳/۲۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به شاهد بود. نتایج نشان داده است که به‌صورت کلی با افزایش هیومیک اسید میزان کلروفیل در گیاه افزایش یافته است. هیومیک اسید، نفوذپذیری غشاهای سلولی را افزایش داده و بدین طریق ورود پتاسیم را تسهیل می‌کند که نتیجه آن افزایش فشار داخل سلولی و تقسیم سلول است. از طرف دیگر، افزایش انرژی در داخل سلول منجر به افزایش تولید کلروفیل و میزان فتوسنتز خواهد شد (Giasuddin et al., 2007). پژوهش‌های زیادی نشان داده‌اند که استفاده از ریزجانداران در داخل خاک بر روی محتوی کلروفیل کل مؤثر است (Fatma et al., 2006; Han & Lee, 2005; Stefan et al., 2005).



شکل ۷- اثر تیمارهای اعمال شده بر مقدار کلروفیل کل گیاه خارمریم

Fig. 7- Effect of treatments on total chlorophyll of *Silybum marianum*

ورمی‌کمپوست (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد (V_0, V_1, V_2, V_3))،

هیومیک اسید (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر (H_0, H_1, H_2, H_3))

Vermicompost (0, 25, 50 and 75 % (V_0, V_1, V_2, V_3))

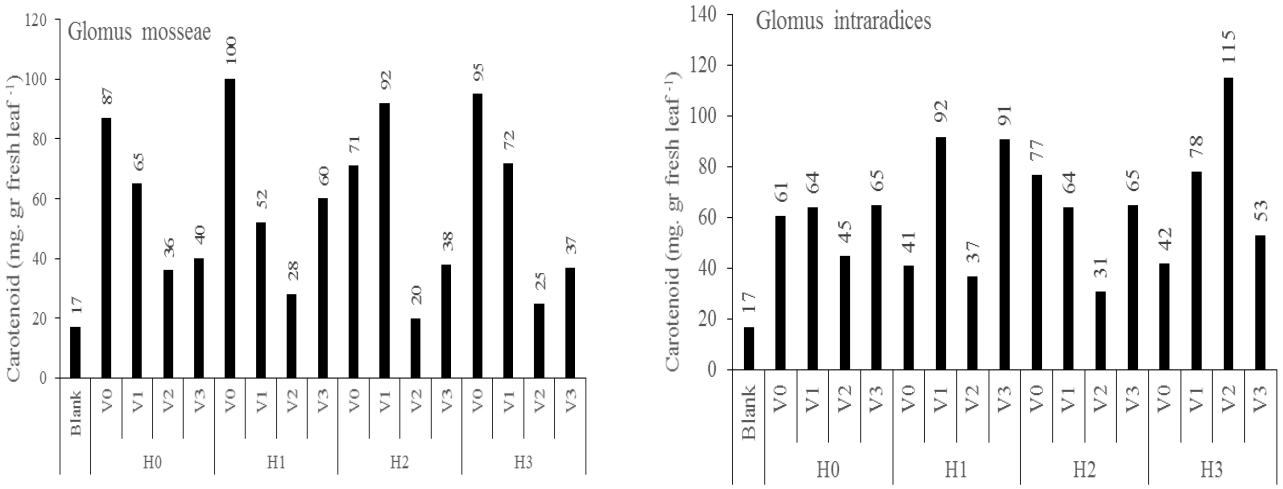
Humic acid (0, 25, 50 and 75 mg L^{-1}(H_0, H_1, H_2, H_3))

کارتنوئید

در شکل ۸ نتایج تغییرات تیمارهای اعمال شده بر مقدار کارتنوئید نشان داده شده است. تغییرات اثر تیمارهای اعمال شده نشان داد که بیشترین مقدار کارتنوئید در گیاه (۱۱۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به هیومیک اسید ۷۵ $mg.l^{-1}$ + قارچ مایکوریزا *Glomus intraradices* در سطح دوم ورمی‌کمپوست (۲۵ درصد) به‌دست آمده است. و همچنین کمترین کارتنوئید در گیاه (۱۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مربوط به شاهد بود. به‌طور کلی، نتایج نشان داده است که در قارچ *Glomus mosseae* با ورمی‌کمپوست نتایج مناسبی برای گیاه ارائه نمی‌دهد و در غالب موارد در این قارچ سطح ورمی‌کمپوست صفر دارای مقادیر بیشتری از کارتنوئید است. در مورد قارچ *Glomus intraradices* با افزایش سطح ورمی‌کمپوست مقدار کارتنوئید تغییر کرده و در برخی موارد افزایش یافته است. همچنین نتایج نشان داده است که افزایش مقدار مواد هیومیکی باعث افزایش نسبی کارتنوئید شده است. علت این موضوع این است که مواد هیومیکی حلالیت و قابلیت انحلال فسفر خاک را از طریق کمپلکس آهن و آلومینیم در خاک‌های اسیدی و کلسیم در خاک‌های آهکی افزایش می‌دهد (Mikkelson, 2005).

هیدرات‌های کربن محلول (قند محلول)

نتایج تغییرات مقدار قند محلول در شکل ۹ نمایش داده شده است. تغییرات اثر تیمارهای اعمال شده در بستر کشت گیاه دارویی ماریتیغال بر قند محلول در گیاه (شکل ۹) نشان داد که بیشترین مقدار قند محلول در گیاه (۱۸۹۱ میلی‌گرم در گرم وزن تر دانه) مربوط به ورمی‌کمپوست سطح سوم + هیومیک اسید سطح اول+ قارچ مایکوریزا *Glomus mosseae* و کمترین قند محلول در گیاه (۶۰۰ میلی‌گرم درگرم وزن‌تر دانه) مربوط به شاهد بود. در قارچ *Glomus mosseae* افزایش هیومیک اسید از سطح صفر به سطح یک باعث افزایش قند در گیاه شده است. امّا با افزایش مقدار هیومیک از سطح دوم و سوم اثر منفی بر روی مقدار قند داشته است. استفاده به‌صورت محلول‌پاشی برگی هیومیک اسید، تأثیر مثبتی روی رشد بخش هوایی و تجمع آهن، بور و پتاسیم در گیاه زیتون (*Olea europaea*) دارد، در این حالت با کاهش میزان نشاسته میزان قندهای محلول افزایش یافته است (Fernandez et al., 1996). نرگسی علیپور و همکاران (Nargesi Alipour et al., 2016) بیان کردند که استفاده از کودهای آلی باعث افزایش قند محلول در گیاه شده است.



شکل ۸- اثر تیمارهای اعمال شده بر مقدار کارتنوئید گیاه خارمریم

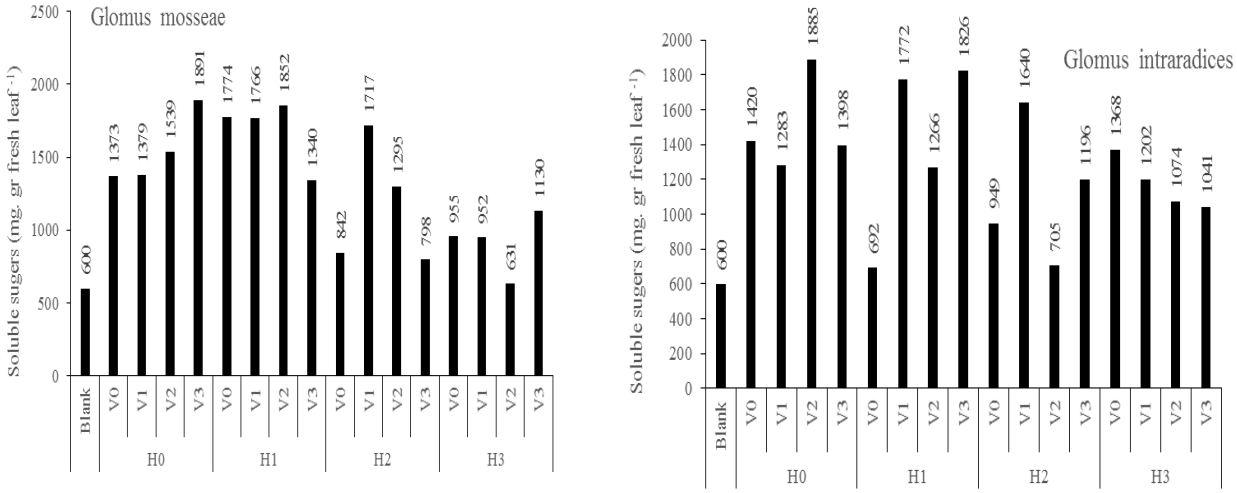
Fig. 8- Effect of treatments on carotenoids of *Silybum marianum*

ورمی‌کمپوست (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد (V_0, V_1, V_2, V_3))،

هیومیک اسید (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر (H_0, H_1, H_2, H_3))

Vermicompost (0, 25, 50 and 75 % (V_0, V_1, V_2, V_3))

Humic acid (0, 25, 50 and 75 mg L^{-1}(H_0, H_1, H_2, H_3))



شکل ۹- اثر تیمارهای اعمال شده بر مقدار قند محلول گیاه خارمریم

Fig. 9- Effect of treatments on soluble sugars of *Silybum marianum*

ورمی‌کمپوست (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد (V_0, V_1, V_2, V_3))،

هیومیک اسید (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر (H_0, H_1, H_2, H_3))

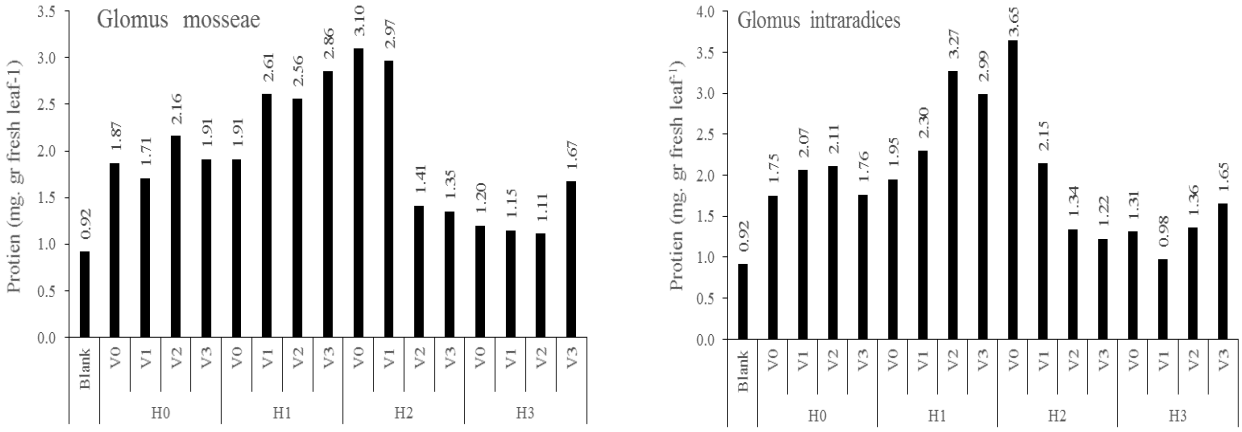
Vermicompost (0, 25, 50 and 75 % (V_0, V_1, V_2, V_3))

Humic acid (0, 25, 50 and 75 mg L^{-1}(H_0, H_1, H_2, H_3))

پروتئین

تغییرات اثر تیمارهای اعمال شده در بستر کشت گیاه داروئی ماریتیغال بر پروتئین بذر در گیاه (شکل ۱۰) نشان داد که بیشترین مقدار پروتئین در گیاه (۳/۶۵ میلی‌گرم در وزن تر) مربوط به سطح سوم هیومیک اسید و قارچ *Glomus intraradices* و کمترین پروتئین در گیاه (۰/۹۲ میلی‌گرم در وزن‌تر) مربوط به شاهد است. اسید هیومیک، سنتز حامل‌های پروتئین را در ریشه جو در مرحله پس از نسخه‌برداری افزایش می‌دهد (Dell Agnola et al., 1981). نتایج تغییرات نشان داده است که با افزایش مقدار هیومیک اسید از سطح صفر تا سطح دوم مقدار پروتئین افزایش یافته است، امّا در سطح سوم

کاربرد هیومیک اسید کاهش یافته است. اسید هیومیک با تولید بیشتر اسیدهای نوکلئیک و اسیدهای آمینه، تکثیر سلولی را در کل گیاه و به‌ویژه در ریشه‌ها افزایش می‌دهد (Dursun et al., 2002). نتایج این پژوهش با نتایج حاصل از مطالعه تأثیر هم‌زیستی قارچ مایکوریزا بر خصوصیات فیزیولوژیک و مواد مؤثره سه رقم گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare*) نشان داد که نقش قارچ در افزایش تولید پروتئین است. قارچ مایکوریزا جذب نیتروژن که نقش کلیدی در ساختمان کلروفیل است را افزایش می‌دهد و از سوی دیگر، آن را مهم‌ترین عنصر در سنتز پروتئین و با افزایش قارچ مایکوریزا در شرایط مطلوب است منجر به افزایش مقدار پروتئین قابل توجهی است و همچنین در افزایش قند محلول مؤثر است (Barzegar Alvirdi et al., 2013) مطابقت دارد. امیری و همکاران (Amiri et al., 2017) نیز نشان دادند که کاربرد قارچ و هیومیک اسید سبب افزایش پروتئین در دانه گیاه گاوزبان (*Echium amoenum*) شده است. هیومیک اسید نیز از روش بهبود جذب عناصر غذایی و سهولت جذب عناصر ماکرو و میکرو منجر به افزایش درصد پروتئین دانه می‌شود (Eneji et al., 2013). در آزمایش‌های مزرعه‌ای روی کنجد (*Sesamum indicum*) نیز مشاهده شد که کاربرد هیومیک اسید به‌صورت محلول‌پاشی میزان پروتئین را افزایش داد (Salwa, 2011).



شکل ۱۰- اثر تیمارهای اعمال شده بر مقدار پروتئین گیاه خارمریم

Fig. 10- Effect of treatments on protein of *Silybum marianum*

ورمی‌کمپوست (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد (V_0, V_1, V_2, V_3))،

هیومیک اسید (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر (H_0, H_1, H_2, H_3))

Vermicompost (0, 25, 50 and 75 % (V_0, V_1, V_2, V_3))

Humic acid (0, 25, 50 and 75 mg L^{-1}(H_0, H_1, H_2, H_3))

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داده است که در تمامی صفات مورفولوژیکی که شامل سطح برگ، تعداد کاپیتول، وزن هزار دانه و عملکرد از میان این تیمارها، تیمار ورمی‌کمپوست ۷۵ درصد + هیومیک اسید $g.l^{-1}$ ۷۵ در هر دو نوع قارچ میکوریزا *Glomus intraradices* و *mossea* تأثیرگذاری بهتر و بیشتری نسبت به سایر تیمارها داشته و نمونه شاهد کمترین تأثیر را بر روی صفات مورد بررسی داشته شده است. بنابراین، بیشترین غلظت هیومیک اسید و ورمی‌کمپوست استفاده شده در این آزمایش و کاربرد این دو نوع قارچ میکوریزا بهترین نتایج را به همراه داشت. با توجه به نتایج حاصل از آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌های انجام شده در صفات فیزیولوژیکی که از بین آن‌ها صفت کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید، قند محلول و پروتئین تحت تأثیر غلظت‌های بالای هیومیک اسید و دو نوع قارچ مایکوریزا افزایش داشته است. همچنین نشان داده شد که غلظت‌های ورمی‌کمپوست کمترین تأثیر را نسبت به هیومیک اسید بر روی صفات فیزیولوژیکی را داشته است. کودهای آلی و زیستی به‌دلیل بهبود شرایط خاک (ساختمان و خاکدانه)، بهینه شدن مصرف آب، تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و همچنین کاهش اثرات مخرب بیماری سبب افزایش

و بهبود صفات گیاه می‌شوند. قارچ‌های مورد مطالعه به‌دلیل افزایش سطح ریشه تأثیر به‌سزایی در جذب آب و عناصر دارند. عناصر مورد نیاز گیاه در بخش‌های مختلف مانند کلروفیل و پروتئین‌ها حضور دارند، بنابراین، با افزایش جذب عناصر این اندام‌ها و ترکیبات دارای وضعیت بهتری خواهند شد. در نهایت، نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از آن است که کودهای زیستی و آلی و استفاده از خاصیت هم‌زیستی قارچ‌های مایکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ماریتیغال اثرات مثبت داشتند. این اثر مثبت را می‌توان به تأثیر بهبود-پذیری وضعیت فیزیکی و شیمیایی خاک توسط این مواد و فراهمی بهتر عناصر غذایی این گیاه نسبت داد، با توجه به اینکه آنچه در تولید گیاهان دارویی مد نظر است. افزایش زیست‌توده و تولید مواد مؤثره به‌صورت عاری از باقی مانده‌های سموم و کودهایی شیمیایی است و به نظر می‌رسد، استفاده از تیمارهای به‌کار رفته در این پژوهش بتواند در جهت تولید سالم و پایدار گیاه داروئی ماریتیغال گام برداشت.

References

Abdollahzare, S., Fateh, E., and Aeineband, A., 2011. Investigation into different sowing dates and fertilization methods (chemical and organic) on yield and yield components of milk thistle (*Silybum marianum* L.). Journal of Plant Productions 35(1): 129-143. (In Persian with English Summary)

Afek, U., Menga, G.A., and Johnsen, E.L.V., 1990. Filecr of pythiutn ultimum and metalaxyl treatments on root length and mycorrhizal colonization of cotton, Onion and pepper. Plant Disease 74: 117-120. (In Persian with English Summary)

Aiken, G.R., Diane M.M., Wershaw, R., and MacCarthy, P., 1984. An Introduction to Humic Substances in Soil, Sediments, and Water. A Wiley-Interscience Publication. Chapter One. 1-9.

Akbarinia, A., Ghalavand, A., Sefidcon, F., Rezaee, M.B., and Sharifi, A., 2003. Study on the effect of different rates of chemical fertilizer, manure, and mixture of them on seed yield and main, compositions of essential oil of ajowan (*Trachyspermum copticum*). Pajouhesh and Sazandegi 61: 32-41. (In Persian with English Summary)

Alikaridis, F., Papadakis, D., Pantelia, K., and Kephalas, T., 2000. Flavonolignan production from *Silybum marianum* transformed and untransformed root Cultures. Fitoterapia 71:379-384. DOI: 10.1016/s0367-326x(00)00134-9.

Amiri, M.B., Rezvani Moghaddam, P., and Jahan, M., 2017. Effects of organic acids, mycorrhiza and rhizobacteria on yield and some phytochemical characteristics in low-input cropping system. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 27(1): 45-61. (In Persian with English Summary)

Aronon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphennoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology 24(1): 1-150. DOI: org/10.1104/pp.24.1.1

Aslani, Z., Hassani, A., Rasooli Sadaghiyani, M., Sefidkon, F., and Barin, M., 2011. Effect of two fungi species of arbuscular mycorrhizal (*Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*) on growth, chlorophyll contents and P concentration in Basil (*Ocimum basilicum* L.) under drought stress conditions. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27(3): 471-486. (In Persian with English Summary). DOI: 10.22092/IJMAPR.2011.6388.

Atiyeh, R., Lee, S., Edwards, C., Arancon, Q., and Metzger, J., 2002. The influence of humic acids derived from earthworm processed organic wastes on plant growth. Bioresour. Technology 84(1): 7–14. DOI: org/10.1016/S0960-8524(02)00017-2

Auge, R.M., and Duan, X., 1991. Mycorrhizal fungi and non hydraulic root signals of soil drying plant physiology. Environmental and Stress Physiology 97: 821-82. DOI: 10.1104/pp.97.2.821

Azizi, M., Lakzian, A., and Baghani, M., 2004. Investigation of the effect of different amounts of vermicompost on growth indices and amount of modified basil essential oil. Proceedings of the Second Conference on Medicinal Plants, Shahed University, Iran. February, 8-27: 62. (In Persian with English Summary)

Barzaghi, N., Crema, F., Gatti, G., Pifferi, G., and Perucca, E., 1990. Pharmacokinetic studies on IdB 1016, a silybin-phosphatidyl choline complex, in healthy human subjects. European Journal of Drug Metabolism and Pharmacokinetics 15: 333-8. DOI: 10.1007/BF03190223

Barzegar Alvirdi, M., Afshari, H., Borhan, N., and Lai Ghanbar Zadeh, B., 2013. Effect of planting date and symbiosis of mycorrhizal fungi on physiological characteristics and effective substances of three Iranian fennel (*Foenicumlum vulgare* Mill) cultivars. Eco-Phytochemical Journal of Medicinal Plants 1(2): 64-75. (In Persian with English Summary)

Benda, L., Dittrich. H., Ferenzi, P., Frank, H., and Wewalk, F., 1980. The influence of therapy with *Silybum* on the

survival rate of patients with liver cirrhosis. Wien Klin Wochenschr 92: 678-83.

Blumenthal, E., and Busse, W., 1998. Monographs: Therapeutic guide to herbal medicines. Austin: American Botanical Council.

Calvet, C., Pinochet, J., Hernandez–Dorrego, A., Estaun, V., and Camprubi, A., 2001. Field micro plot performance of the Peach almond hybrid GF – 677 after inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi in a replant soil infested with root K not nematodes. Mycorrhizal 10: 295–300. DOI: org/10.1007/PL00009998

Das, A., Kamal. S., Akhtar Shakil, N., Sheramcti, I., Oelmuller, R., Dua, M. Tureja, N., Kumar, A., and Varma, A., 2012. The root endophyte fungus *Piriformospora indica* leads to early flowering, higher biomass and altered secondary metabolites of the medicinal plant. Coleus forskohlii, Plant Signaling and Behavior 7(1):103– 112. DOI: 10.4161/psb.7.1.18472

Dell Agnola, G., and Nardi, S., 1987. Hormone like effect of enhanced nitrate uptake induced by depolycondensed humic fractions obtained from *Allolobopbora rosea* and *A. caliginosa* facces. Biology and Fertility of Soils 4: 115-118.

Dursun, A., Guvenc, I., and Turan, M., 2002. Effects of different levels of humic acid on seedling growth and macro and micronutrient contents of tomato and eggplant. Acta Agrobotanica 56: 81-88. DOI: 10.5586/aa.2002.046

El-Bassiouny, H.S.M., Bakry, A.B., Abd El-Monem Attia, A., and Abd Allah, M.M., 2014. Physiological role of humic acid and nicotinamide on improving plant growth, yield, and mineral nutrient of wheat (*Triticum durum*) grown under newly reclaimed sandy soil. Agricultural Sciences 5: 687-700. DOI: 10.4236/as.2014.58072.

Eman, A.A., El-Monem, A.B.D., Saleh, M.S., and Mostafa, E.A., 2008. Minimizing the quantity of mineral nitrogen fertilizers on grapevine by using humic acid, organic and biofertilizers. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 4(1): 46-50.

EneJi, A.E., An, R., Islam, P., and Amalu, U.C., 2013. Nitrate retention and physiological adjustment of maize to soil amendment with superabsorbent polymers. Cleaner Production 18: 1-7. DOI: org/10.1016/j.jclepro.2013.02.027

Fatma, E.M., El-zamik, I., Tomader, T., ElHadidy, H.I., Abd El-Fattah, L., and Seham Salem, H., 2006. Efficiency of biofertilizers organic and in organic amendments on growth and essential oil of marjoram (*Majorana Hortensis*) plant growth in sandy and calcareous. Agriculture Microbiology Department, Faculty of Agriculture, Zayazig University and Soil Fertility and Microbiology Department, Desert Research Center Cairo Egypt.

Fayyaz, M., Zare, S., and Ashori, P., 2011. Identification and distribution of pharmaceutical and industrial crops of Chaharmahal-va-Bakhtiari province, Institute of Forests and Rangelands Research. (In Persian with English Summary)

Fernandez, R.I., Benloch, M., Bartanco, D., Duenas, A., and Ganan, J.A.G., 1996. Response of olive trees to foliar application of humic substance extracted from leonardite. Scientia Horticulturae 66(9): 200. DOI: org/10.1016/S0304-4238(96)00914-4

Fintelmannz, M., 1999. Phytotherapy and its uses in gastrointestinal condititions. Medicinal Plants 57: 48-52.

Gholami, A., Akbari, I., and Abbas Dokht, H., 2015. Study the effects of bio and organic fertilizers on growth characteristics and yield of fennel (*Foeniculum vulgar*). Journal of Agroecology 7(2): 215-224. (In Persian with English Summary)

Graham, J.H., and Egel, D.S., 1988. Phytophthora root development on mycorrhizal and phosphorus fertilized nonmycorrhizal sweet orange seedlings. Plant Disease 72: 614. DOI: 10.1094/PD-72-0611.

Greenlee, H., Abascal, K., Yarnell, E., and Ladas, E., 2007. Clinical Applications of *Silybum marianum* in Oncology. Integrative Cancer Therapies 6(2): 158-165. DOI: 10.1177/1534735407301727

Hajghani, M., Ghalavand, A., and Modarres Sanavy, S.A.M., 2017. Evaluation of yield, yield components and growth indices of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in conventional and organic farming systems. Journal of Agroecology 9(1): 15-30. (In Persian with English Summary)

Han, H.S., and Lee, K.D., 2005. Plant growth promoting rhizobacteria effect on antioxidant status, photosynthesis, mineral uptake and growth of lettuce under soil salinity. Agricultural and Biological Sciences 6: 155- 180.

Harris, D., and Paul, E.A., 1987. Carbon Requirements of Vesicular– Arbuscular, Mycorrhizae, 93–103. In: Safir, G.E. (Ed.). Ecophysiology of VA Mycorrhiza Plants. CRC press, Boca Raton, USA, 224 p.

Kanel, S., and Choi, H., 2007. Adsorption of humic acid onto nanoscale zerovalent iron and its effect on arsenic removal. Environment Science Technology 41(6): 2022–2027. DOI: org/10.1021/es0616534

Khalesro, S., and Malekian, M., 2017. Effects of vermicompost and humic acid on morphological traits, yield, essential

oil content and component in organic farming of ajwan (*Trachyspermum ammi* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 32(6): 968-980. (In Persian with English Summary)

Luper, S., 1998. A review of plant used in the treatment of liver disease: Part 1. Alternative Medicine Review 3: 410-421.

Mackowiak, C.L., Grossl, P.R., and Bugbee, B.G., 2001. Beneficial effects of humic acid on micronutrient availability on Wheat. Soil Science 65: 1744–1750. DOI: .org/10.2136/sssaj2001.1744

Stefan, M., Ailiesei, O., Ungureanu, E., Dunca, S., Nimitan, E., & Artenie, V., 2005. Study of a microbial inoculation on several biochemical indices in sunflower (*Helianthus anuus* L.). Genetics and Molecular Biology 11-14.

Mikkelsen, R.I., 2005. Humic materials for agriculture. Better Crops 89(3): 6-8.

Mohamedi, R.S.R., and Ahmed. M.A., 2009. Effect of biofertilizers and humic acid on control of dry root rot disease and improvement yield quality of mandarin (*Citrus reticulate* Blanco). Journal of Agricuture and Biological Sciences 5(2): 127–137. (In Persian with English Summary)

Nargesi Alipour, N., Akhzari, D., and Fatahi, B., 2016. Investigation of the interaction of different levels of zeolite and compost on some soil properties and soil performance. Conservation of Plant Ecosystems 4(9): 151-164. (In Persian with English Summary)

O'Donnell, R.W., 1973. The auxin-like effects of humic preparation from leonardite. Soil Science 116: 106–112. DOI: org/10.1097/00010694-197308000-00007

Omid Beigi, R., 1997. Ways of Production and Processing of Medicinal Plants. Volume II. Publishers Designers Publishing. (In Persian)

Omid Beigi, R., 1998. Investigation of silymarin production and intermittent silage in wild plant cultivation with wild and agronomic seeds. Iranian Journal of Agricultural Sciences 29(2): 413. (In Persian with English Summary)

Pilanali, N., and Kaplan, M., 2003. Investigation on the effect on nutrient uptake of humic acid application of different forms to strawberry plant. Journal of Plant Nutrition 26(4): 835-843. DOI: org/10.1081/PLN-120018568

Rabie, G.H., 2005. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and kinetin on the response of mungbean plants to irrigation with seawater. Mycorrhiza 15: 225–230. DOI: 10.1007/s00572-004-0345-y.

Ram, G., Bhan, K.M., Gupta, K.K., Thaker Brijesh, U., and Pal, S., 2005. Variability pattern and correlation studies in *Silybum marianum* Gaertn. Fitoterapia 76: 147-143. DOI: 10.1016/j.fitote.2004.10.006

Salwa, A., 2011. Effect of amendments humic and amino acids on increases soils fertility yields and seeds quality of peanut and sesame on sandy soils. Agriculture and Biological Science 7(1): 115-125.

Saydi, Z., Fateh, E., and Aynehband, A., 2017. Effect of different sources of nitrogen and organic fertilizers on yield and yield components of ajowan (*Trachyspermum ammi* L.). Journal of Agroecology 9(1): 115-128. (In Persian with English Summary)

Schandalik, R., Gatti, G., and Perucca, E.P., 1992. Pharmacokinetics of silybin in bile following administration of silipide and silymarin in cholecystectomy patients. Arzneimittelforschung 42: 964-8.

Selim, E.M., Mosa, A.A., and El Ghamry, A.M., 2009. Evaluation of humic substances fertigation through surface and subsurface drip irrigation systems on potato grown under Egyptian sandy soil conditions. Agricultural Water Management 96: 1218–1222. DOI:org/10.1016/j.agwat.2009.03.018

Sherameti, I., Tripathi, S., Varma, A., and Oclmuller, R., 2008. The root colonizing endophyte *Pirifomospora indica* confers drought tolerance in Arabidopsis by stimulating the expression of drought stress related genes in leaves. Mol Plant MicrobInteract 21: 799–807. (In Persian with English Summary)

Smith, S.E., and Read, G.J., 1997. Mycorrhizal Symbiosis. Academic press, San Diego California, pp.126–60.

Stevenson, F.J., 1994. Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions. 2nd Edition, John Wiley and Sons, New York. 1-96.

Varma, P.N., and Talwar, S.K., 1980. Chemical Investigations of *Silybum marianum*. Planta Med 38: 377.

Wang, H.C., and Kao, K.N., 1988. G-banding in plant chromosomes. Genome 30: 48-51.

Yemm, E., and Willis, A.J., 1954. The estimation of carbohydrate in plant extracts by Anthrone. Biochemical Journal 57: 508-514. DOI: 10.1042/bj0570508

Zargari, A., 1996. Medicinal Plants. Fifth Edition. Institute of Publishing and Printing, Tehran University Publishing, Tehran 136. (In Persian)

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

Research Article
Vol. 14, No. 3, Fall 2022, p. 549-560

Study of Agro-Morphological and Phytochemical Traits of Purple Perilla (*Perilla frutescens* var. Crispa) Grown in Three Locations

M. Eidvazaee[1], A. Alizadeh[2], S. Nejadebrahimi[3], A. Sahraroo[4], M.H. Mirjalili[3] and J. Hadian[3*]

Received: 30-07-2019
Revised: 28-06-2021
Accepted: 03-07-2021
Available Online: 13-12-2022

How to cite this article:
Eidvazaee, M., Alizadeh, A., Nejadebrahimi, S., Sahraroo, A., Mirjalili, M.H., and Hadian, J., 2022. Study of agro-morphological and phytochemical traits of purple perilla (*Perilla frutescens* var. crispa) grown in three locations. Journal of Agroecology 14(3): 549-560.
DOI: 10.22067/agry.2021.20226.0

Introduction

Medicinal plants are used in all civilizations and cultures and are one of the most essential defensive lines to protect human health and fight human diseases in the world. From the distant past to now, plants have long been considered a source of renewable medicines.Perilla (*Perilla frutescens var. crispa*)is an annual plant native to East Asia, which is used as a medicinal plant due to the presence of active metabolites, especially rosmarinic acid. The medicinal organs used in this plant are its leaves and flowering branches**.** Growth, drug yield, as well as quantity and quality of secondary metabolites of medicinal plants are affected by ecological factors. The present study was conducted to evaluate the agro-morphological and phytochemical traits of Purple Perilla grown in three different locations of Sari, Rasht, and north of Tehran.

Materials and Methods

The experiment was conducted as a completely randomized design (CRD) with three replications. Purple Perilla was planted as seedlings in early spring in the trial field with a density of 25×50 cm (inter-plant space × inter-row space) in three locations including Sari, Rasht, and north of Tehran in 2018. Plants were harvested at the flowering stage in late September. Argo-morphological and phytochemical traits including plant height, inflorescence length, number of branches, stem diameter, internode length, leaf length, leaf width, plant fresh weight, stem fresh weight, leaf fresh weight, flowers fresh weight, plant dry weight, leaf dry weight, flower dry weight, total phenolics, and flavonoids as well as rosmarinic acid content were measured. The total phenolic contents of extracts of Perilla plants were determined according to the method of Ciocalteus Reagent (FCR) Folinthe aluminum chloride method was used for the determination of the total flavonoid content of the extracts. The rosmarinic acid content was estimated with the method HPLC. Data sets were subjected to variance analysis using SPSS statistical software (version 19). Also, Duncan's multiple range test was used to compare treatment means at $p<0.05$.

Results and Discussion

Results of variance analysis showed that almost all morphological traits (except stem fresh weight, plant dry weight, and plant fresh weight) and all phytochemical traits were significantly ($p<0.05$) influenced by locations.

1- Graduated in Horticultural Sciences, Department of Agriculture, Medicinal Plants and Drug Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
2- Phd student of Horticultural Sciences, Department of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran and Academic Jihad Researcher of Lorestan Province Unit.
3- Associate Professor, Department of Agriculture, Medicinal Plants and Drug Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
4- Assistant Professor, Department of Horticulture, Guilan University, Rasht, Iran.
* Corresponding author, j_hadian@sbu.ac.ir

Mean comparisons of the effect of different locations for morphological traits showed that the maximum plant height (137.67 cm), leaf length (15.28 cm), fresh weight of leaf (108.3 g), dry weight of leaf (41.63 g) were observed in Sari, while the minimum plant height (87.34 cm), leaf length (10.8 cm), fresh weight of leaf (69.74 g), dry weight of leaf (26.13 g) were detected in the north of Tehran. The Rasht had the highest flower fresh weight, flower dry weight, and the number of branches with an average of 108.67 g, 25.99 g, and 33, respectively. The lowest flower fresh weight, flower dry weight, and the number of branches were observed in the north of Tehran with an average of 47.07, 12.71, and 22 g, respectively. The results revealed that the highest internode length, inflorescence length, and leaf width belonged to the Sari with an average of 9.12, 13.17, and 98.8 mm, respectively, while the Rasht had the lowest internode length, inflorescence length, and leaf width with an average of 6.28, 9.8, and 6.97 mm, respectively. Also, the maximum and minimum stem diameter were observed in the north of Tehran and Sari (8.95 and 7.65 mm), respectively. Mean comparisons of the effect of different locations for phytochemical traits showed that the maximum total phenolic contents and rosmarinic acid produced in the Rasht with an average of 49.03 and 52.20 (mg/g dry matter), respectively, while the Sari had the maximum flavonoids content (14.8 mg/g dry matter).

Conclusion

Drug yield (leaf and flower fraction) of the plants grown in Sari, Rasht, and north of Tehran was 41.63, 32.05, 26.13 and 12.71, 25.99, 18.47, respectively The highest total phenolics (49.027 mg/ g dry matter) and rosmarinic acid content (46.99 mg/ g dry matter) were observed in Rasht region, while the highest total flavonoids were observed in Sari (14.8 mg/ g dry matter). In terms of agro-morphological and phytochemical traits, Sari and Rasht were suitable places for the growth of purple perilla.

Keywords: Medicinal plant, Rosmarinic acid, Total phenolic and flavonoids, Essential oil.

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

مقاله پژوهشی

بررسی ویژگی‌های مورفولوژیکی، عملکردی و فیتوشیمیایی گیاه دارویی پریلا ارغوانی (*Perilla frutescens* var. crispa) در سه مکان مختلف کشت

معصومه عیدوزایی[۱]، ابوذر علیزاده[۲]، صمد نژاد ابراهیمی[۳]، امیر صحرارو[۴]، محمد حسین میرجلیلی[۳] و جواد هادیان[۳*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۰۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۲

عیدوزای، م.، علیزاده، ا.، نژاد ابراهیمی، ص.، صحرارو، ا.، میرجلیلی، م.ح.، و هادیان، ج.، ۱۴۰۱. بررسی ویژگی‌های مورفولوژیکی، عملکردی و فیتوشیمیایی گیاه دارویی پریلا ارغوانی (*Perilla frutescens* var. crispa) در سه مکان مختلف کشت. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۳): ۵۶۰-۵۴۹.

چکیده:

به‌منظور ارزیابی سازگاری، رشد و برخی خصوصیات کمّی و کیفی گیاه دارویی پریلا ارغوانی (*Perilla frutescens* var. crispa) در ایران، این گیاه در سه مکان مختلف شامل ساری، رشت و شمال تهران کشت گردید. کشت گیاه دارویی پریلا ارغوانی در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار در سه منطقه ساری، رشت و شمال تهران در اردیبهشت ۱۳۹۷ انجام شد. گیاهان در شروع گل‌دهی در مهر ماه برداشت شدند. ویژگی‌های مورفولوژیکی و عملکردی مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته، طول گل‌آذین، تعداد ساقه، فاصله میان‌گره، قطر ساقه، عرض برگ، طول برگ، وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک ساقه، وزن تر و خشک گل بودند. صفات فیتوشیمیایی مورد مطالعه شامل محتوای فنل و فلاونوئید کل و میزان رزمارینک اسید بودند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مکان‌های مختلف کشت بر همه صفات مورفولوژیکی (به‌جز وزن تر ساقه، وزن تر و خشک بوته) و صفات فیتوشیمیایی در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. عملکرد خشک اندام دارویی (برگ و گل) در مکان‌های کشت ساری (۴۱/۶۳و ۳۲/۰۵)، رشت (۲۶/۱۳ و۱۲/۷۱) و شمال تهران (۲۵/۹۹ و ۴۷/ ۱۸) گرم در مترمربع به‌دست آمد. محتوای فنل کل و رزمارینیک اسید گیاهان در رشت (به‌ترتیب مقدار۰۲۷/ ۴۹ و ۴۲/۲۹ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) بیشتر از سایر مناطق کشت بود، در حالی که فلاونوئید کل در منطقه ساری بیشترین مقدار (۱۴/۸ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) بود. با در نظر داشتن صفات تولیدی و فیتوشیمیایی، رشت و ساری (شمال کشور) مناطق مناسبی برای کشت و تولید گیاه پریلا ارغوانی می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: اسانس، رزمارینیک اسید، فنل و فلاونوئید کل، گیاهان دارویی

مقدمه

گیاه دارویی پریلا ارغوانی (*Perilla frutescens* var. crispa) با نام انگلیسی Shiso یا purple mint گیاهی یک‌ساله، از خانواده نعنائیان، که درکشورهای آسیایی (ژاپن، هند، چین، ویتنام، تایلند، تایوان و کره) کشت می‌شود، در سال‌های اخیر در سایر کشورها کشت آن در حال توسعه می‌باشد (Ha et al., 2012). پریلا به سرما

۱- دانش آموخته علوم باغبانی، گروه کشاورزی، پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۲- دانشجوی دکتری علوم باغبانی، گروه کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران و پژوهشگر جهاد دانشگاهی واحد استان لرستان، ایران.
۳- دانشیار، پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
۴- استادیار،گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

(*- نویسنده مسئول: (Email: j_hadian@sbu.ac.ir
DOI: 10.22067/agry.2021.20226.0

حساس است و در خاک‌های حاصلخیز و مرطوب با زهکشی خوب، در محل‌های آفتابی و نیمه‌آفتابی به‌خوبی رشد می‌کند. بهترین رنگ را در شرایط آفتابی دارد. در نور کم، رنگ قرمز کم شده برگ‌ها سبز می‌شوند (Meng et al., 2006). در طب سنتی پریلا ارغوانی گیاه به‌عنوان دارویی مهمی جهت درمان بیماری‌های مختلف از جمله افسردگی، اضطراب، تومور، آلرژی، مسمومیت واختلالات روده مورد استفاده قرارگرفته‌است (Gairola et al., 2010). اندام دارویی مورد استفاده این گیاه، برگ‌ها و سرشاخه گل‌دار آن است (Zargari., 1992). برگ‌های پریلا ارغوانی به‌دلیل دارا بودن رنگ قرمز در رنگ‌های غذایی کاربرد دارد که به‌واسطه حضور آنتوسیانین‌های - مالونیل‌شیسونین[1] و شیسونین[2] و سایر ترکیب‌های مرتبط با آنتوسیانین است. علاوه‌براین، در برگ‌های پریلا ارغوانی ترکیبات فنلی مانند رزمارینیک اسید ، لوتئین، اپیجنین وجود دارند (Meng et al., 2009). خواص دارویی و آرایشی و بهداشتی پریلا ارغوانی به ترکیبات زیست‌فعالی محتوای فنلی و فلاونوئیدی بستگی دارد (Ha et al., 2012, Ha et al., 2013)، علاوه‌براین دانه‌های پریلا ارغوانی منبع غنی از روغن‌های اشباع شده و اشباع نشده (مثل اولئیک اسید، لینولئیک و مخصوصاً اسیدهای چرب (اسید لینولنیک) ، امگا ۳ است (Guan et al., 2014).

عوامل جغرافیایی و اقلیمی بر تولید متابولیت‌های ثانویه و ویژگی-های مورفولوژیکی گیاهان دارویی مؤثر است. اگرچه مواد مؤثره با هدایت فرایندهای ژنتیکی ساخته می‌شوند، امّا تولید آن‌ها به‌مقدار قابل توجهی تحت تأثیر عوامل محیطی حاکم بر مکان رشد مانند نور، دما و ارتفاع از سطح دریا قرار می‌گیرد. عوامل محیطی بر مقدار کلی مواد مؤثره، عناصر تشکیل‌دهنده آن، عملکرد وزن خشک و مورفولوژی گیاه تأثیرگذار است (Cseke et al., 2006). تاکنون مطالعه‌های مختلفی در زمینه بررسی صفات کمّی و کیفی گیاهان دارویی مختلف در مناطق متفاوت انجام شده است. در مورد گونه‌های دارویی مرزه (*Satureja hortensis*)، گلپر (*Heracleum persicum*)، هواچوبه (*Onosma dichroanthum Boiss*)، کنگر فرنگی (*Cynara scolymus*) و کاسنی (*Cichorium intybus*) نشان داده شد که یک ارتباط مستقیم میان افزایش ارتفاع و میزان مواد مؤثره فنلی و فلاونوئیدی وجود دارد (Mazandarani et al., 2011). یزدانی و همکاران (Yazdani et al., 2002) طی تحقیقی میزان اسانس و منتول موجود در نعنا فلفلی (*Menta pipermint*) کاشته شده در مناطق مختلف کشور را مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات مقدار اسانس و میزان منتول تحت تأثیر اقلیم و ارتفاع بوده است. میر آزادی و همکاران (Mirazadi et al., 2012) نشان دادند که تفاوت‌های کمّی و کیفی در ترکیبات اسانس درختچه دارویی مورد (*Myrtus Communis*) با تفاوت ویژگی‌های اکولوژیک مناطق مانند رطوبت، ارتفاع از سطح دریا، عوامل خاکی و جغرافیایی مرتبط است . شناسایی رویشگاه‌های مختلف و ارزیابی تأثیر عوامل محیطی بر صفات مورفولوژیکی و عملکرد کمّی و کیفی مواد مؤثره گیاهان دارویی، کمک مهمی برای اهلی کردن و حفظ تنوع ژنتیکی این گیاهان به حساب می‌آید. (Yavari et al., 2010). بررسی جمعیت‌های مختلف مرزه رشینگری (*Satureja rechingeri* Jamzad) نشان داد که بین جمعیت‌ها تنوع بالایی از نظر ویژگی‌های مورفولوژیکی و محتوای رزمارینیک اسید وجود دارد و میزان رزمارینیک اسید تحت تأثیر عوامل اقلیمی قرار گرفت (Esmaeili, et al., 2016). بررسی تأثیر ارتفاع‌های مختلف روی میزان فعالیت‌های آنتی اکسیدانی و محتوی فنل و فلاونوئید کل در گیاه فاگوپیروم (*Fagopyrum tataricum*) نشان دادند که مقدار ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی با افزایش ارتفاع، افزایش می‌یابد (Gairola et al., 2010). تأثیر شرایط اکولوژیکی متفاوت بر *Cunila galioide* در برزیل (Echeverrigaray et al., 2003)، آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) در جنوب شرق اسپانیا (Horwath et al., 2008)، لاوند (*Lavandula angustifolia*)در اسپانیا (Munoz- Bertomeu et al., 2007) مریم‌گلی (*Salvia officinalis*) در جنوب ایتالیا (Russo et al., 2013) و آویشن دنایی و آویشن باغی در ایران ,(Ghasemi Pirbalouti et al., 2013) مورد مطالعه قرار گرفته است که همه این مطالعات ثابت می‌کنند که عملکرد، کمیت و کیفیت مواد مؤثره تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد.

در این تحقیق برای تعیین مناطق مناسب کشت گیاه دارویی پریلا ارغوانی، این گیاه در سه مکان مختلف شامل ساری، رشت و شمال تهران کشت گردید و خصوصیات مورفولوژیکی، عملکردی و

1- Malonylshisonin (MS)
2- Shisonin(s)

فیتوشیمیایی آن در این سه منطقه مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مشخصات مکان و نحوه اجرای آزمایش

به‌منظور بررسی تأثیر مناطق مختلف کشت بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی گیاه دارویی پریلا ارغوانی آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سه منطقه ساری، رشت و شمال تهران در اردیبهشت ماه ۱۳۹۷ انجام شد. مشخصات آب و هوایی مناطق مورد پژوهش در جدول ۱ نشان داده شده است. بذور از کلکسیون بذر پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی دانشگاه شهید بهشتی تهیه گردید. جهت تهیه نشاء برای هر سه منطقه کشت، بذرها در ۲۰ اسفند ماه ۱۳۹۶ در گلخانه و در سینی نشاء با بستر کشت پیت ماس، کوکوپیت و ماسه به نسبت ۱:۱:۲ کشت شدند. جوانه‌زنی بذرها پس از دو هفته آغاز شد. پس از رسیدن گیاه به مرحله چهاربرگی، نشاها به زمین اصلی منتقل شدند. آماده‌سازی زمین در سه محل کلکسیون پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی دانشگاه شهید بهشتی در شمال تهران، مزرعه تحقیقاتی ساری و دانشگاه گیلان در رشت انجام شد. کرت‌هایی به ابعاد ۲×۳ طراحی و گیاهان با فاصله بین ردیف ۵۰ و فاصله روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر در اواسط اردیبهشت ۱۳۹۷ کشت شدند. بلافاصله پس از کشت نشاء اقدام به آبیاری آن‌ها شد، وجین علف‌های هرز از همان اویل کشت نشاء به‌صورت مکانیکی صورت گرفت. با توجه به شرایط اقلیمی و خاکی مناطق کشت شده دوره آبیاری بین هفت تا ۱۰ روز متغیر بود.

بررسی صفات مورفولوژیکی وعملکردی

همزمان با گل‌دهی بوته‌ها در مرحله تمام گل، در اوایل مهرماه نمونه‌برداری از مناطق مختلف کشت صورت گرفت. برای این منظور از هر کرت تعداد ۱۰ بوته با حذف اثر حاشیه‌ای انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند. صفات مورفولوژیکی مورد مطالعه شامل ارتفاع بوته، طول گل‌آذین، تعداد ساقه، طول و عرض برگ، فاصله میان‌گره و قطر ساقه بودند. صفات عملکردی شامل وزن تر و خشک بوته، وزن تر و خشک ساقه، وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک گل بودند.

استخراج عصاره

به‌منظور بررسی صفات فیتوشیمیایی شامل تعیین محتوای فنل و فلاونوئید کل و میزان رزمارینیک اسید، نمونه‌ها در شرایط سایه و دمای محیط (۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد) خشک شدند. برای عصاره‌گیری، پس از آسیاب برگ‌ها و گل‌ها ۲۰۰ میلی‌گرم از آن توزین شد سپس ۱۰ میلی‌لیتر متانول به آن اضافه گردید و به‌مدت ۳۰ دقیقه در حمام اولتراسونیک در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. این مرحله چهار بار تکرار شد تا بیشترین میزان ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی از مواد گیاهی جدا و در متانول حل شوند. پس از این مرحله، عصاره متانولی در دستگاه سانتریفیوژ با ۴۰۰۰ دور در دقیقه قرار گرفت. سپس عصاره به‌دست آمده صاف شد. محلول بالایی را در شیشه‌های تیره ریخته و تا زمان انجام آزمایش در یخچال در دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

اندازه‌گیری صفات فیتوشیمیایی

برای اندازه‌گیری محتوای فنل کل از روش Folin-Ciocalteu (Wojdylo et al., 2007) و برای اندازه‌گیری محتوای فلاونوئید کل از واکنشگر آلومینیوم کلرید (Kamtekar et al., 2014; Salehi et al., 2013)، استفاده شد. برای اندازه‌گیری میزان رزمارینیک اسید از دستگاه اچ پی ال سی مدل Waters 2695 ساخت آمریکا، مجهز به دتکتور Uv 2487 Dual λ Absorbance و ستون C18، با ابعاد ۱۵۰× ۶/۴ میلی‌متر و ۳/۵ میکرومتر و نرم‌افزار Millennium32. استفاده شد. یک سی سی از عصاره‌های تهیه شده در ویال‌های مخصوص اچ پی ال سی ریخته و برای رسم منحنی استاندارد در محدوده‌ای از غلظت‌های مناسب (۶-۱۰-۲۰-۵۰-۱۰۰-۲۰۰ ppm) رقیق شدند سپس به دستگاه اچ پی ال سی تزریق و سطح زیر منحنی قله جذبی در طول موج ۳۲۰ نانومتر تعیین گردید. منحنی استاندارد مربوط به رزمارینیک اسید بر اساس غلظت‌های محلول‌های استاندارد و سطح زیر هر قله آن‌ها رسم و از معادله حاصل، برای سنجش مقدار رزمارینیک اسید در نمونه‌های مورد مطالعه استفاده شد. آشکارسازی نمونه‌ها در طول موج ۳۲۰ نانومتر و جریان عبوری یک میلی‌متر بر دقیقه انجام شد و حجم هر تزریق ۲۰ ماکرولیتر بود. هر نمونه در سه تکرار به دستگاه اچ پی ال سی تزریق شد. مساحت پیک غلظت‌های استاندارد محاسبه شد و منحنی استاندارد با نرم‌افزار اکسل رسم گردید. سپس معادله خط y=bx+a به‌دست آمد. مساحت پیک خوانده شده از نمونه‌ها به جای y قرار داده شد و x (غلظت) به‌دست آمد.

تجزیه داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ و

نمودار توسط نرم‌افزار اکسل و میله‌های خطای آزمایشی (Error Bars) بر پایه SD رسم شد. مقایسه واریانس تیمارهای اعمال شده در قالب آزمون آنوای یک طرفه (One-Way ANOVA) بود، در نهایت، مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

جدول ۱- پارامترهای اقلیمی مناطق مختلف کشت گیاه دارویی پریلا ارغوانی

Table 1- Climate parameters of different cultivating regions

پارامتر Parameter	رشت Rasht	ساری Sari	شمال تهران North Tehran	واحد Unit
میانگین حداکثر دمای سالیانه Average of annual maximum temperature	21.2	21.34	22.91	°C درجه سانتیگراد
میانگین حداقل دمای سالیانه Average of annual minimum temperature	11.1	11.97	13.33	°C درجه سانتیگراد
میانگین دمای سالیانه Average annual temperature	15.9	17.66	17.3	°C درجه سانتیگراد
میزان بارندگی Precipitation mean	1455.2	789.2	395.5	mm میلی‌متر
ارتفاع سطح دریا Altitude	125	59	1190	m متر
روزهای یخبندان سالانه Annual frost days	26	34	47	day روز
عرض جغرافیایی Latitude	38° 27′	36° 32′	35° 48′	-
طول جغرافیایی Longitude	48 °34′	53° 07′	51° 23′	-

نتایج و بحث

تأثیر مکان‌های مختلف کشت بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و عملکردی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مکان‌های مختلف کشت بر همه فاکتورهای مورفولوژیکی و عملکردی به‌جز وزن تر و خشک ساقه و وزن تر و خشک بوته در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین اثر مناطق مختلف کشت (جدول ۳) بر صفات مورفولوژیکی نشان داد که بیشترین و کمترین میانگین ارتفاع بوته (۱۳۷/۶۷و ۸۷/۳۴ سانتی‌متر)، طول برگ (۱۵/۲۸و ۱۰/۸ سانتی‌متر)، به‌ترتیب در ساری و شمال تهران به‌دست آمد. بیشترین و کمترین مقدار برای فاصله میان‌گره (۹/۱۲ و ۶/۲۸ میلی‌متر) به‌ترتیب برای ساری و رشت و برای قطر ساقه (۸/۹۵ و ۷/۶۵ میلی‌متر) به‌ترتیب برای شمال تهران و ساری، طول گل‌آذین (۱۳/۱۷و ۹/۸ سانتی‌متر) و عرض برگ (۶/۹۷و ۹۸/۸ سانتی‌متر) برای ساری و رشت به‌دست آمد، تعداد شاخه (۳۳ و ۲۲) به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار مربوط به رشت و شمال تهران بودند.

محل کشت می‌تواند بر ویژگی‌های رشدی گیاهان دارویی تأثیر داشته باشد. همان گونه که در جدول ۲ نشان داده شد، صفات موفولوژیکی مورد بررسی در مناطق مختلف کشت از لحاظ آماری با هم اختلاف داشتند. از جمله دلایلی که باعث بروز اختلاف در صفات مورفولوژیکی گیاه دارویی پریلا ارغوانی در مناطق مختلف کشت شده است می‌توان شرایط آب و هوایی و جغرافیایی متفاوت را ذکر کرد. مثلاً ارتفاع بوته در شمال تهران کمتر بوده است. به نظر می‌رسد این موضوع به بالاتر بودن ارتفاع از سطح دریا مرتبط باشد. در ارتفاعات بالا به دلایلی مانند سرما و اشعه فرابنفش گیاهان کاهش ارتفاع پیدا می‌کنند. این موضوع در خصوص طول گل‌آذین هم صادق است. تعیین مکان مناسب کشت جهت تولید محصول با کیفیت بالا از اهمیت زیادی برخوردار است و در مورد هر گونه دارویی باید مطالعه لازم انجام شود (Nooshkam et al., 20017). پارسافر (Parsafar, 2017) در بررسی جمعیت‌های علف طلایی اروپایی (*Solidago virgaurea* L.) کشت شده در شمال تهران و ساری به این نتیجه رسیدن که گیاهان کشت شده در ساری از نظر صفات رشدی و عملکردی نتیجه بهتری نسبت به گیاهان کشت شده در شمال تهران

داشتند. در تحقیقی، خصوصیات مورفولوژیکی ۸۷ جمعیت از واریته‌های frutescens و crispa مربوط به گیاه دارویی پریلا مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۱۵۶/۴)، تعدا شاخه (۱۸/۹) طول گل‌آذین (۱۹/۵ سانتی‌متر) و تعداد روز تا گل‌دهی (۶۹/۷) متعلق به واریته frutescens بود. (Shi Jun & Ju Kyong, 2017).

نتایج مقایسه میانگین اثر مناطق مختلف کشت (جدول ۳) بر صفات عملکردی نشان داد که بیشترین و کمترین وزن تر برگ (۱۰۸/۳ و ۶۹/۷۴ گرم)، وزن خشک برگ (۴۱/۶۳ و ۲۶/۱۳ گرم) به‌ترتیب در ساری و شمال تهران به‌دست آمد. برای فاکتور وزن تر گل (۱۰۸/۶۷ و ۴۷/۰۷ گرم) و وزن خشک گل (۲۵/۹۹ و ۱۲/۷۱ گرم) به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار مربوط به رشت و شمال تهران بودند. نوشکام و همکاران (Nooshkam et al.,. 2017) در بررسی مناطق مختلف کشت بر عملکرد پیکره رویشی دو گونه مرزه خوزستانی (*Satureja khusiztanica* Jamzad) و مرزه رشینگری نشان داد که هر دو گونه در منطقه خنک‌تر (کشکان) دارای عملکرد پیکره رویشی بالاتر و در منطقه گرم تر (اندیمشک) دارای درصد اسانس بیشتر بودند که این می‌تواند به‌دلیل شرایط اقلیمی و خاکی متفاوت مناطق کشت باشد.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفولوژیکی و عملکردی پریلا ارغوانی در سه منطقه کشت

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of morphologic traits in different locations

صفات traits	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی داری Sig.
ارتفاع بوته Plant height	2	6248.722	32.429	0.000*
طول گل‌آذین Inflorescence length	2	28.113	21.258	0.000*
تعداد ساقه Number of Stems	2	1073.681	13.488	0.000*
عرض برگ Leaf width	2	16448019.922	1.004	0.003*
طول برگ Leaf length	2	56.656	24.767	0.000*
وزن تر ساقه Stem fresh weight	2	4645.382	2.918	0.071ns
وزن تر بوته Plant fresh weight	2	25046.159	2.54	0.0971ns
وزن تر برگ Leaf fresh weight	2	1.78	1.006	0.016*
وزن تر گل Flower fresh weight	2	10021.988	8.664	0.001*
وزن خشک برگ Leaf dry weight	2	628.724	2.118	0.004*
وزن خشک گل Flower dry weight	2	466.858	6.935	0.004*
وزن خشک ساقه Stem dry weight	2	34.990	.224	0.801ns
وزن خشک بوته Plant dry weight	2	626360.199	2.462	0.1041ns
فاصله میان‌گره Internode length	2	102443.923	10.885	0.000*
قطر ساقه Stem diameter	2	4.510	3.339	0.049

*: نشان‌دهنده اختلاف معنادار در سطح احتمال پنج درصد. Ns: عدم اختلاف معنادار آماری را نشان می‌دهد.

*: a significant in the level 5 and, ns: Non-significant

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی و عملکردی پریلا ارغوانی در سه منطقه کشت

Table 3- Mean comparison of some morphologic traits in different regions

صفات Traits	واحد Unit	ساری Sari	رشت Rasht	شمال تهران North Tehran
ارتفاع بوته Plant height	Cm	137.67±519 a	105.35±2.9 b	87.43±5.01 c
طول گل‌آذین Inflorescence length	Cm	13.17±0.41 a	12.15±0.23 b	9.8±0.44 b
تعداد ساقه Number of Stems	N	22.1±2.34 b	33.27±3.82 a	12.55±0.8 c
قطر ساقه Stem diameter	mm	7.65±0.35 b	7.9±0.22 ab	8.95±0.52 a
فاصله میان‌گره Internode length	mm	9.12±0.35 a	6.28±0.45 b	6.53± 0.41 b
عرض برگ Leaf width	Cm	6.97±0.3 a	5.52±0.16 b	5.92±0.36 b
طول برگ Leaf length	Cm	15.28±0.4 a	11.54±0.3 b	10.8± 0.71 b
وزن تر بوته Plant fresh weight	g	220.43±35.37 a	293.93± 18.32 a	200.12±19.05 a
وزن تر ساقه Stem fresh weight	g	64.41±15.9 a	65.56±11.3 a	63.23±9.26 a
وزن تر برگ Leaf fresh weight	g	108.30±15.38 a	78.32±6.59 b	69.74±95.9 b
وزن تر گل Flower fresh weight	g	47.07±8.7 b	108.67± 11.47 a	74.08±11.77 b
وزن خشک بوته Plant dry weight	g	73.9±7.6 a	81.32±5.53 a	60.88±31.6 a
نسبت وزن تر و خشک بوته Plant fresh weight to plant dry weight ration	g	33.05±4.92 a	33.18±3.56 a	29.79±2.96 a
وزن خشک برگ Leaf dry weight	g	41.63±2.81 a	32.05± 3.14 b	26.13±2.83 b
وزن خشک گل Flower dry weight	g	12.71±b2.76	25.99±2.43 a	18.47±2.56 ab

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد ندارند.

Mean values with the same letters are not significant in 5% level according to the Duncan test.

در ارزیابی صفات مورفولوژیکی و عملکردی گیاه دارویی پریلا در تیمارهای حاصلخیزی خاک دو منطقه مشهد اردهال و سن سن شهرستان کاشان نتایج نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۱۱۲/۴ سانتی‌متر)، تعداد ساقه (۱۸/۳۱)، بیشترین عملکرد ماده خشک (۱۵۷/۶ گرم در مترمربع) در مشهد اردهال و در منطقه سن سن بیشترین ارتفاع بوته (۹۸/۷۷)، تعداد ساقه (۱۵/۳۲)، بیشترین عملکرد ماده خشک (۱۴۷/۲ گرم در مترمربع) به‌دست آمد (Ghane & Ghajar Sepanlu, 2018).

باتوجه به نتایج به‌دست آمده، می‌توان دریافت در بین مناطق مختلف کشت، منطقه ساری از نظر صفات ارتفاع بوته، طول گل‌آذین، طول برگ، عرض برگ، وزن تر و خشک برگ و فاصله میان‌گره به‌طور معنی‌داری دارای میانگین بالاتری نسب به دو منطقه دیگر بود. گیاهان کشت شده در رشت از نظر صفات تعداد ساقه، وزن تر و خشک ساقه، وزن تر و خشک گل و وزن تر و خشک بوته، دارای میانگین بالاتری نسبت به دو منطقه دیگر بود. در نهایت، از نظر عملکرد اندام دارویی شامل برگ و گل، بیشترین مقدار به‌ترتیب (۴۱/۶۳ و ۲۵/۹۹ گرم) در مناطق ساری و رشت به‌دست آمد.

تأثیر مکان‌های مختلف کشت بر ویژگی‌های فیتوشیمیایی گیاه دارویی پریلا ارغوانی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر مکان‌های مختلف کشت بر همه صفات فیتوشیمیایی در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین اثر مناطق مختلف کشت نشان داد محتوای فنل کل در مناطق کشت شده رشت و شمال تهران و ساری به‌ترتیب ۴۹/۰۳۷، ۳۵/۴۷، ۴۰/۹۵ (میلی‌گرم بر گرم ماده خشک)، (شکل ۱) و محتوای فلاونوئید ۱۱/۸۲، ۱۱/۱۹ و ۱۴/۸ (میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) بود (شکل ۱)، همچنین میانگین محتوای رزمارینیک اسید به‌ترتیب در مناطق کشت شده رشت، شمال تهران ، ساری ۴۲/۰۹، ۲۳/۷۸ و ۳۷/۰۴ (میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) بود (شکل ۱). نتایج نشان داد در همه نمونه‌ها مقدار فنل کل بیشتر از فلاونوئید کل می‌باشد. همچنین محتوای فنل و رزمارینیک اسید منطقه رشت بیشتر از سایر مناطق کشت شده بود.

جدول ٤- تجزیه واریانس صفات فیتوشیمیایی *Perilla frutisence* در سه منطقه کشت

Table 4- Analysis of variance of phytochemical traits in different regions

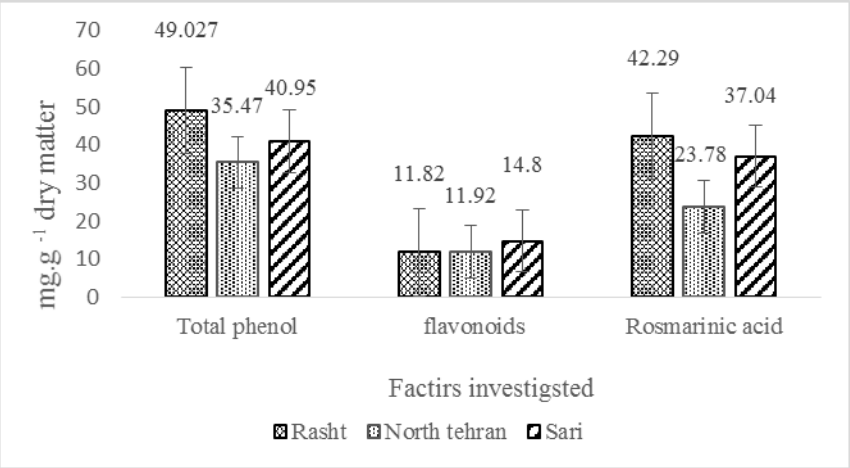
صفات Traits	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی داری Sig.
فنل کل Total phenol	2	39.566	181.23	0.000*
فلاونوئید کل Total flavonoid	2	11.202	65.85	0.000*
رزمارینیک اسید Rosmarinic acid	2	415.990	91.44	0.000*

ns: عدم اختلاف معنی‌دار؛ * و **: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

*, ** and, ns: a significant in the levle 5 and 1 percent and Non-significant, respectively.

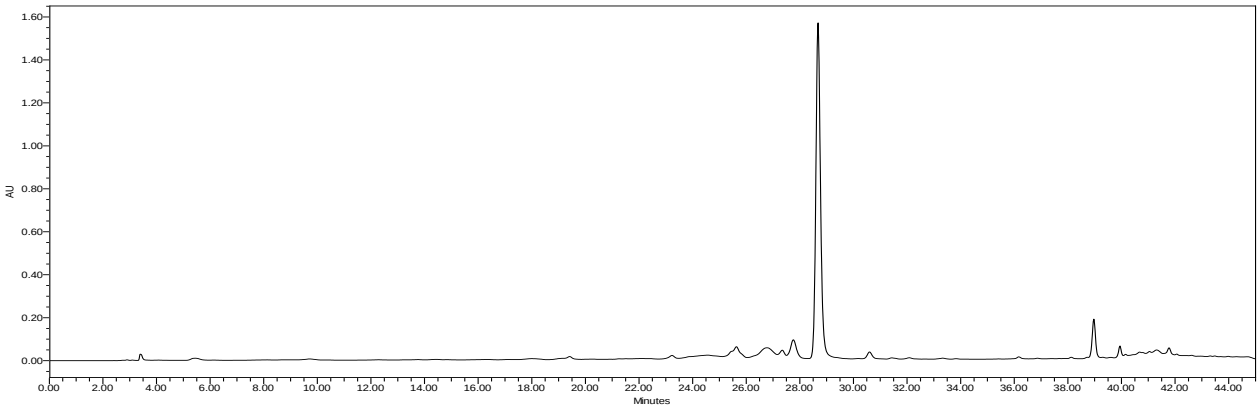
نتایج تحقیق حاضر نشان داد که اثر مکان‌های مختلف کشت بر روی صفات فیتوشیمیایی معنی‌دار بوده است، به‌طوری‌که برای محتوای فنل کل (۴۹/۰۳۷ میلی‌گرم برگرم ماده خشک) و میزان رزمارینیک اسید (۲۹ /۴۲ میلی‌گرم برگرم ماده خشک) منطقه رشت، برای محتوای فلاونوئید (۱۴/۸ میلی‌گرم برگرم ماده خشک) منطقه ساری دارای بیشترین میزان بودند. یکی از اهداف مهم در گیاهان دارویی، انتخاب گیاهان با میزان بالای متابولیت ثانویه و بالابردن میزان ترکیبات حائز اهمیت در این گیاهان می‌باشد که این هدف مهم با شناسایی مکان مناسب کشت امکان‌پذیر است (Zargari, 1992). تفاوت در مقادیر کمّی ترکیب‌های فیتوشیمیایی از جمله ترکیب‌های فنلی و فلاونوئیدی در بین توده‌های مناطق مختلف می‌تواند ناشی از تنوع ژنتیکی یا شرایط اکولوژیکی حاکم بر رویشگاه‌ها باشد (Valizadeh et al., 2015). محققان نشان دادند که با افزایش ارتفاع بر میزان ترکیبات فلاونوئیدی در اندام‌های گیاهی مانند میوه افزوده می‌شود، زیرا ترکیبات فلاونوئیدی جاذب نور مانند فلاون‌ها و آنتوسیانین‌ها در پاسخ به اشعه ماوراء بنفش برای محافظت بافت‌های درونی از آسیب‌های ناشی از این اشعه، در سلول‌های اپیدرم تجمع پیدا می‌کنند (Jakola & Hohtola, 2010). در ارزیابی صفات مورفولوژیکی و عملکردی گیاه دارویی پریلا در تیمارهای حاصلخیزی خاک دو منطقه مشهد اردهال و سن سن شهرستان کاشان نتایج نشان داد که بیشترین میزان رزمارینک اسید (۲۵/۰۱ میلی‌گرم در گرم ماده خشک) در منطقه مشهد اردهال به‌دست آمد. در مورد عملکرد رزمارینیک اسید نیز بیشترین مقدار (۲/۹۶۷ گرم در مترمربع) در منطقه مشهد اردهال به‌دست آمد که نسبت به منطقه سن سن بیشتر بود (Ghane, & Ghajar Sepanlu, 2018). آنالیز فیتوشیمیایی گیاه درویی پریلا واریته purputascens در جمهوری مولداوی نشان داد که حداکثر محتوای فنل کل، فلاونوئید کل و میزان رزمارینیک اسید به‌ترتیب ۳۱/۳۳، ۱۱/۷۹ و ۲۱/۶۹ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک بود (Ciocarlan et al., 2014). در تحقیقی که توسط شارما و همکاران (Sharma et al., 2012) به انجام رسید، اختلاف معنی‌داری بین مقادیر فنل کل، محتوای فلاونوئیدها و قابلیت آنتی‌اکسیدانتی پنیر باد (*Withania somnifera*) رشد یافته در رویشگاه‌های مختلف گزارش شده است. در بررسی گیاه سرخ ولیک (*Crataegus Oxyacantha*) نشان داده شد که مکان رویش، ارتفاع و نوع اندام بر میزان فنل و فلاونوئید تأثیر معنی‌داری دارد و مشخص شد در ارتفاعات بالاتر، میزان ترکیبات فنل و فلاونوئید بیشتری در گیاه تولید می‌شود (Hemati et al., 2003). در بررسی فیتوشیمیایی گیاه دارویی علف طلایی اروپایی (*Solidago virgaurea* L.) در دو منطقه شمال

تهران و ساری نتایج نشان داد که بیشترین محتوای فنل کل مربوط به گیاهان کشت شده در منطقه شمال تهران و در مورد فلاونوئید کل گیاهان کشت شده در ساری دارای بیشترین مقدار بودند (Parsafar, 2017). بررسی جمعیت‌های مختلف مرزه ریشنگری نشان داد که بین جمعیت‌ها تنوع بالایی از نظر ویژگی‌های مورفولوژیکی و محتوای رزمارینیک اسید نشان دادند (Esmaeili et al., 2016). اکبری و همکاران (Akbrian et al., 2017) در ارزیابی تغییرات فیتوشیمیایی، مورفولوژیکی و فعالیت آنتی‌اکسیدانتی جمعیت‌های گیاه بیهلر (*Dorema aucheri*) کشت شده در محیط‌های مختلف به این نتیجه رسیدند که شرایط خاک، دما و ارتفاع می‌تواند بر عملکرد اسانس، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و میزان متابولیت‌های ثانویه در جمعیت‌های گیاهی مورد مطالعه تأثیر بگذارد.



شکل ۱- تأثیر مناطق مختلف رشد بر فاکتورهای فیتوشیمیایی گیاه دارویی پریلا ارغوانی

Fig. 1- Effete of different areas on phytochemical traits in *Perilla frutescence*



شکل ۲- کروماتوگرام HPLC-UV عصاره گیاه دارویی پریلا ارغوانی در طول موج ۳۲۰

Fig. 2- The HPLC-UVchromatogram of the *Perilla frutisence* extract at 320 nm

نتیجه‌گیری

مکان کشت بر رشد، عملکرد و مواد مؤثره گیاهان دارویی تأثیر به‌سزایی دارد و با کشت در شرایط مناسب اقلیمی می‌توان محصول با کیفیت بالا تولید نمود. بررسی سازگاری و کشت گیاه دارویی پریلا ارغوانی در سه منطقه در ایران نشان داد که در اکثر صفات مورد بررسی، گیاهان کشت شده در رشت و ساری برتری معنی‌داری نسبت به گیاهان کشت شده در شمال تهران دارند، که این نشان‌دهنده انتخاب اشتباه شمال تهران برای کشت می‌باشد. از آن جایی که کشورهای عمده تولید گیاه پریلا ارغوانی کشورهای آسیایی شرقی مثل چین، ژاپن و کره می‌باشد و شباهت آب و هوایی این مناطق به شمال کشور می‌توان نتیجه گرفت، این گیاه آب و هوای مرطوب و معتدل را برای عملکردهای کمّی و کیفی بیشتر ترجیح می‌دهد.

References

Akbrian, A., Rahimmalek, M., Sabzalian, M., and Saeidi, G., 2017. Assessment of phytochemical, morphological and antioxidant variation of bilehar (*Dorema aucheri*) populations cultivated in different environmental conditions. JMP 2(62): 120-135. (In Persian with English Summary)

Ciocarlan, N., Sirbu, T., Stefanache, C., Ghendov, V., Necula, R., and Grigoras, V., 2014. Biological and phytochemical research on *Perilla frutisence* var. purputascens (HAYATA) H.W.LI in Republic of Moldova. Fiziologia şi Biochimia Plantelo. Nr. 2(323)

Cseke, L.J., Kirakosyan, A., Kaufman, P.B., Warber, S.L., Duke, J.A., and Brielmann, H.L., 2006. Natural Products from Plants 2th Ed. CRC Press, Florida, 569 p.

Echeverrigaray, S., Fracaro, F., Dos-Santos, A.C.A., Paroul, N., Wasum, R., and Serafini, L.A., 2003. Essential oil composition of south Brazilian populations of *Cunila galioides* and its relation with the geographic distribution. Biochemical Systematics and Ecology 31: 467–475. https://doi.org/10.1016/S0305-1978(02)00175-8.

Esmaeili, H., Hadian, J., Mirjalili, M.H., and Rezadoost, H., 2016. Evaluation of some morphological, phytochemical and ecological characteristics of different populations of *Satureja rechingeri* Jamzad. Journal of Range and Watershed Management 69(1): 1-12. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22059/jrwm.2016.61729

Feng, L.J., Yu, C.H., Ying, K.J., Hua, J., and Dai, X.Y., 2011. Hypolipidemic and antioxidant effects of total flavonoids of *Perilla Frutescens* leaves in hyperlipidemia rats induced by high-fat diet. Food Research International 44(1): 404-409. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.035

Gairola, S., Shariff, N., Bhate, A., and Prakash Kola, C., 2010. Influence of climate change on production of secondary chemicals in high altitude medicinal plants. Journal of Medicinal Plant Research 1825-1829. DOI: 10.5897/JMPR10.354.

Ghane, M.R., and Ghajar Sepanlu, M., 2018. Investigation of morphological, yield and medicinal properties of Perilla (*Perilla frutscens*) under chemical, biological and organic fertilizers in Mashhad Ardehal and Sensen regions of Kashan, Journal of Plant Production 25(2): 99-117. (In Persian with English Summary). https://dx.doi.org/10.22069/jopp.2018.13168.2189

Ghasemi Pirbalouti, A., Hashemi, M., Ghahfarokhi, F.T., 2013. Essential oil and chemical compositions of wild and cultivated *Thymus daenensis* Celak and *Thymus vulgaris* L. Industrial Crops and Products 48: 43–48. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.004

Ghorbani, R., 2003. Organic agriculture and food production: Ecological, environmental, food safety and nutritional quality issues. Sociology, Organic Farming, Climate Change and Soil Science. Springer, Dordrecht p. 77-107.

Guan, Z., Li, S., Lin, Z., Yang, R., Zhao, Y., Liu, J., Yang, S., and Chen, A., 2014. Identification and quantification of phenolic compounds from the seed and pomace of *Perilla frutescens* using HPLC/PDA and HPLC-ESI/QTOF/MS/MS. Phytochemical Analysis. 25: 508-513. https://doi.org/10.1002/pca.2521

Ha, T.H., Lee, J.H., Lee, M.H., Lee, B.W., Kwon, H.S., and Park, C.H., 2012. Isolation and identification of phenolic compounds from the seeds of *Perilla frutescens* (L.) and their inhibitory activities against a-glucosidase and aldose reductase. Food Chemistry 135: 1317–1403. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.104

Hemati, K.H., Omidbeigi, R., and Bashiri Sadr, Z., 2003. Effect of climate and harvest time on the qualitative and qualitative characteristics of flavonoids of citrus varieties. Ph.D. Dissertation Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Hodisan, T., Socaciu, C., Ropan, I., and Neamtu, G., 1997. Carotenoid composition of *Rosa canina* fruits determined by thin layer chromatography and high-performance liquid chromatography. Pharmaceutical and Biomedical Analysis 16(3): 521-528. https://doi.org/10.1016/S0731-7085(97)00099-X

Horwath, A.B., Grayer, R.J., Keith-Lucas, D.M., and Simmonds, M.S., 2008. Chemical characterization of wild populations of thymus from different climatic regions in southeast Spain. Biochemical Systematics and Ecology 36: 117–133. https://doi.org/10.1016/j.bse.2007.08.009

Jakola, L., and Hohtola, A., 2010. Effect of latitude on flavonoid biosynthesis in plants. Plant, Cell and Environmental 33(8): 1239-1247. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02154.x

Lee, J.H., Park, K.H., Lee, M.H., Kim, H.T., Seo, W.D., Kim, J.Y., and Ha, T.J., 2013. Identification, characterization, and quantification of phenolic compounds in the antioxidant activity-containing fraction from the seeds of Korean

perilla (*Perilla frutescens*) cultivars. Food Chemistry 136: 843–852. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.08.057

Mazandarani, M., Makari, S., and Bajian, G.R., 2011. Evaluation of phytochemical and antioxidant activity in different parts of Herscleum gorganicum Rech.F. in Golestan province, North of Iran. Iranian Journal Plant Physiology 2(2): 381-388. https://doi.org 10.30495/IJPP.2012.540771

Meng, L., Lozano, Y., Bombarda, I., Gaydou, E., Li, B., 2006. Anthocyanin and flavonoid production from *Perilla frutescens*: pilot plant scale processing including cross-flow microfiltration and reverse osmosis. Journal Agricultural Food Chemistry. 54: 4297–4303. https://doi.org/10.1021/jf0604079

Meng, L., Lozano, Y., Bombarda, I., Gaydou, E. M., and Li, B., 2009. Polyphenol extraction from eight *Perilla frutescens* cultivars. Comptes Rendus Chimie 12(5): 602–611. https://doi.org/10.1016/j.crci.2008.04.011

Mirazadi, Z., Pilehvar, B., Meshkat Alsadat, M.H., and Karamian, R., 2012. Site quality and Essential oil composition of *Myrtus Communis* L. (case study: Cham moord site in Lorestan province). Journal of Agricultural Biotechnology 3(2): 71-79. (In Persian with English Summary)

Munoz-Bertomeu, J., Arrillaga, I., and Segura, J., 2007. Essential oil variation within and among natural populations of *Lavandula latifolia* and its relation to their ecological areas. Biochemical Systematics and Ecology 35: 479–488. https://doi.org/10.1016/j.bse.2007.03.006

Nooshkam, A., Mumivand, H., Hadian, J., Alemardan, A., and Morshedloo, M.R., 2017. Drug yield and essential oil and carvacrol contents of two species of Satureja (*S. khuzistanica* Jamzad and *S. rechingeri* Jamzad) cultivated in two different locations. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants 6, 126-130. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2017.04.002

Parsafar, S., 2017. Evaluation of heterogeneity, growth and yield of some cultivars and populations of *Solidago virgaurea* L. M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, Iran. (In Persian with English Summary)

Russo, A., Formisano, C., Rigano, D., Senatore, F., Delfine, S., Cardile, V., and Bruno, M., 2013. Chemical composition and anticancer activity of essential oils of Mediterranean sage (*Salvia officinalis* L.) grown in different environmental conditions. Food and Chemical Toxicology 55: 42–47. https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.12.036.

Samidha, K., Vrushali, K., and Vijaya, P., 2014. Estimation of phenolic content, flavonoid content, antioxidant and alpha amylase inhibitory activity of marketed polyherbal formulation. Journal of Applied Pharmaceutical Science 4(09): 061-065. http://dx.doi.org/10.7324/JAPS.2014.40911.

Sharma, R., Samant, S., Sharma, P., and Devi, S., 2012. Evaluation of antioxidant activity of *Withania somnifera* leaves growing in natural habitats of North-West Himalaya, India. Journal of Medicinal plants Research 6: 657-661. https://doi.org/10.5897/JMPR11.257.

Shi Jun, M., and Ju Kyong, L., 2017. Morphological variation of two cultivated types of perilla crop from different areas of China. Horticultural Science and Technology 35(4): 510-522.

Srivastava, A.R., Banerjee, A., Jacob, S., and Dunning, J., 2007. Should patients undergoing coronary artery bypass grafting with mild to moderate ischaemic mitral regurgitation also undergo mitral valve repair or replacement?. Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery 6(4): 538-546. https://doi.org/10.1510/icvts.2007.157891.

Telci, I., Kacar, O., Bayram, E., Arabac, O., Demirtas, I., Yilmaz, G., and Göksu, E., 2011. The effect of ecological conditions on yield and quality traits of selected peppermint (*Mentha piperita* L.) clones. Industrial Crops and Products 34: 1193–1197. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.04.010.

Valizadeh, J., Bagheri, A., and Mirjalili, M.H., 2015. Phytochemical investigation of *Withania coagulans* (Stocks) dunal in natural habits of Iran. Iranian Journal of Medicinal and Aromatics Plants 31: 406-417.

Wojdylo, A., Oszmianski, J., and Czemerys, R., 2007. Antioxidant activity and phenolic compound in 32 selected herbs. Food Chemistry 105(3): 940-949. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.038.

Yavari, A.R., Nazeri, V., Sefidkon, F., and Hassani, M.E., 2010. Evaluation of some ecological factors, morphological traits and essential oil productivity of *Thymus migricus* Klokov and Desj.-Shost. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 26(2): 227-238. (In Persian with English Summary). http://dx.doi.org/10.22092/ijmapr.2015.11933

Yazdani, D., Rezazadeh, S., and Shahnazi, C., 2002. A review of the *Papaver somniferum* plant. Journal of Medicinal Plants 5: 1-12. (In Persian with English Summary)

Zargari, A., 1992. Medicinal Plants, volume 1, Tehran University Press, Iran. 486. (In Persian)

Zhang, Z.H., VanCoillie, F.M., De Clercq, E., Ou, X., and De Wulf, R., 2013. Mountain vegetation change quantification using surface landscape metrics in Lancang watershed, China. Ecological Indicators 31: 49-58. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.11.013

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

CC BY

Research Article
Vol. 14, No. 3, Fall 2022, p. 561-578

Evaluation of Biochar Application with Organic and Biological Fertilizers on the Quantity and Quality of Peppermint (*Mentha piperita* L.) Essential Oil in Ecological Agriculture

F. Zaefarian[1]*, V. Akbarpour[2], M. Kaveh[3] and M. Habibi[3]

Received: 27-08-2020
Revised: 01-05-2021
Accepted: 06-11-2021
Available Online: 13-12-2022

How to cite this article:
Zaefarian, F., Akbarpour, V., Kaveh, M., and Habibi, M., 2022. Evaluation of biochar application with organic and biological fertilizers on the quantity and quality of peppermint (*Mentha piperita* L.) essential oil in ecological agriculture. Journal of Agroecology 14(3): 561-578.
DOI: 10.22067/agry.2021.20307.0

Introduction

Cultivation of medicinal and aromatic plants has had long a special rank in the traditional agricultural systems of Iran and these systems have played an important role in creating diversity and sustainability. Management of soil nutrients using organic fertilizers is among the major pillars of sustainable agriculture. Peppermint (*Mentha piperita* L.) is a medicinal plant, in which proper nutrition and absorption of mineral elements play an important role in increasing its quantitative and qualitative performance. The high cost of fertilizers in farming systems, soil pollution, and degradation of soil are factors that caused to full use of available renewable nutrient sources of the plant (organic and biological) with the optimal application of fertilizers in order to maintain fertility, structure, biological activity, exchange capacity and water-holding capacity of the water in the soil. The global approach to balance nutrition and the production of medicinal plants, towards the use of sustainable agricultural systems and the use of management methods, such as the application of biofertilizers, is improving the quantitative and qualitative performance of these plants. So, the use of natural inputs such as organic and biological fertilizers seems to be a good way to move towards a sustainable production system. Accordingly, due to the possible effect of organic fertilizers such as biochar and vermicompost and biological fertilizers like mycorrhizal fungi and plant growth-promoting bacteria on the quantity and quality of peppermint essential oil, this research was carried out under organic conditions.

Materials and Methods

The present research was conducted as a factorial layout based on a randomized complete block design in three replications at Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University in 2017. The experimental site is located at 36º 39′42″ N latitude and 53º03′54″ E longitude with -11 m above sea level. Soil samples were taken from depths of 0-30 cm before land preparation. Treatment consisted of biochar on two levels (0 and 10 ton ha^{-1}) and organic and biological fertilizers on five levels (no fertilizer, vermicompost (10 ton ha^{-1}), *Pseudomonas fluorescens*, *Azotobacter* and *Arbuscular mycorrhizal* (*Glomus mosseae, G. intradices* and *G. etunicatum*. Weeds and pests were controlled mechanically or by hand and no herbicides or pesticides were used. The measured properties also included the peppermint yield, essential oil, and essential oil compounds.

1- Associate Professor, Department of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Horticulture, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran.
3- Ph.D. Student, Department of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, Iran.
* Corresponding author; fa.zaefarian@ sanru.ac.ir

Results and Discussion

The results of the analysis of variance showed that the simple effects of biochar and organic and biological fertilizers had a significant effect on the shoot fresh weight at 1% of probability level, while the interaction effect of experimental treatments on this trait did not have a significant effect. According to the results, the application of 10 tons ha^{-1} of biochar, caused a 42.96% increase in shoot fresh weight compared to no application. In the study of the simple effect of organic and biological fertilizers on shoot fresh weight, the results showed that the highest and lowest ones were obtained with mycorrhiza application and control (no application of organic and biological fertilizers) with an average of 667.95 and 418.08 g m^{-2}, respectively. The highest shoot dry weight with an average of 89.08 g m^{-2} was associated with the combined use of biochar and mycorrhiza and the lowest one belonged to the control (no application of biochar and organic and biological fertilizers) with an average of 61.76 g m^{-2}. The results also showed that the interaction of biochar and organic and biological fertilizers on essential oil compounds such as Menthone, Menthol, α-Pinene, Cineol-1,8, iso Menthone, Pulegone, Piperitone oxide, Menthyl acetate, and Menthofuran was significant.

Conclusion

In general, the results showed that the use of biochar and biological and organic fertilizers can be effective in both the quality and quantity of peppermint essential oil when the highest percentage of essential oil and the most peppermint essential oil compounds were obtained in treatments with an application of biochar and biological and organic fertilizers. Where, the use of the bacterium *Azobacter* and *Pseudomonas* with biochar had the greatest effect on the quality of peppermint essential oil, especially in Menthol and Menton compounds. Finally, it can be concluded that the combined use of biochar with biological fertilizers has a significant impact on the quantitative and qualitative increase of peppermint essential oil in ecological or low-input agriculture.

Keywords: *Azotobacter*, Menthol, Menthone, *Mycorrhizal*, *Pseudomonas*, vermicompost.

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

مقاله پژوهشی

ارزیابی کاربرد بیوچار به‌همراه کودهای آلی و زیستی بر کمیت و کیفیت اسانس گیاه نعنا فلفلی (*Mentha piperita* L.) در کشاورزی اکولوژیک

فائزه زعفریان[1*]، وحید اکبرپور[2]، محمد کاوه[3] و مریم حبیبی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۲/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۵

زعفریان، ف.، اکبرپور، و.، کاوه، م.، و حبیبی، م.، ۱۴۰۱. ارزیابی کاربرد بیوچار به‌همراه کودهای آلی و زیستی بر کمیت و کیفیت اسانس گیاه نعنا فلفلی (*Mentha piperita* L.) در کشاورزی اکولوژیک. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۳): ۵۷۸-۵۶۱.

چکیده

کشت گیاهان دارویی و معطر از دیرباز دارای جایگاه ویژه‌ای در نظام‌های سنتی کشاورزی ایران بوده و این نظام‌ها از نظر ایجاد تنوع و پایداری نقش مهمی ایفا کرده‌اند. از بین گیاهان دارویی می‌توان به نعنا فلفلی (*Mentha piperita* L.) اشاره کرد که تغذیه و جذب مناسب عناصر معدنی نقش به‌سزایی در افزایش عملکرد کمّی و کیفی آن دارد. پژوهش حاضر به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۳۹۶ به اجرا درآمد. عوامل مورد مطالعه شامل بیوچار در دو سطح (صفر و ۱۰ تن در هکتار) و کودهای آلی و زیستی در پنج سطح (عدم مصرف کود، *ازتوباکتر*، *سودوموناس*، میکوریزا و ورمی‌کمپوست) و صفت‌های اندازه‌گیری شده نیز شامل عملکرد، درصد و ترکیبات اسانس نعنا فلفلی بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی بیوچار و کودهای آلی و زیستی تأثیر معنی‌داری بر وزن تر اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد داشت، درحالی‌که برهم‌کنش تیمارهای آزمایش بر این صفت معنی‌دار نشد. بر اساس نتایج، مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار سبب افزایش ۴۲/۹۶ درصدی وزن تر اندام هوایی در مقایسه با عدم مصرف آن شد. در بررسی اثر اصلی کودهای آلی و زیستی نتایج گویای این مطلب بود که بیشترین و کمترین وزن تر اندام هوایی در مترمربع به‌ترتیب در تیمارهای آزمایشی میکوریزا و شاهد (عدم مصرف کود آلی و زیستی) با میانگین ۶۶۷/۹۵ و ۴۱۸/۰۸ گرم در مترمربع حاصل شد. بیشترین وزن خشک اندام هوایی گیاه با میانگین ۸۹/۰۸ گرم در مترمربع مربوط به مصرف توأم بیوچار و میکوریزا و کمترین متعلق به شاهد (عدم مصرف بیوچار و کود آلی و زیستی) با میانگین ۶۱/۷۶ گرم در مترمربع بود. همچنین نتایج حاکی از آن بود که اثر متقابل بیوچار و کودهای آلی و زیستی روی ترکیبات اسانس مانند Menthone، Menthol، α-Pinene، Cineol-1,8، iso Menthone، Pulegone، Piperitone oxide، Menthyl acetate و Menthofuran معنی‌دار گردید. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که کاربرد بیوچار می‌تواند هم در کیفیت و هم در کمیت اسانس نعنا فلفلی مؤثر باشد، به‌طوری‌که بیشترین درصد اسانس و اکثر ترکیبات اسانس نعنا فلفلی در تیمارهای همراه با مصرف بیوچار به‌دست آمد. از طرفی دیگر، کاربرد کودهای زیستی و آلی توانست منجر به افزایش درصد اسانس و ترکیبات کیفی اسانس نعنا فلفلی شود. در این بین، کاربرد باکتری *ازتوباکتر* و *سودوموناس* به‌همراه بیوچار بیشترین تأثیر را بر کیفیت اسانس نعنا فلفلی به‌خصوص در ترکیبات منتول و منتون داشتند. در نهایت، می‌توان اذعان داشت که کاربرد توأمان بیوچار به همراه کودهای زیستی می‌تواند تأثیر زیادی در افزایش کمّی و کیفی اسانس نعنا فلفلی در کشاورزی اکولوژیک داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: *ازتوباکتر*، *سودوموناس*، منتول، منتون، میکوریزا، ورمی‌کمپوست

۱- دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران.
۲- استادیار، گروه باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران.
۳- دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: fa.zaefarian@sanru.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2021.20307.0

مقدمه

کشت گیاهان دارویی و معطر از دیرباز دارای جایگاه ویـژه‌ای در نظام‌های سنتی کشاورزی ایران بوده و این نظام‌ها از نظر ایجاد تنـوع و پایداری نقش مهمی ایفا کرده‌اند. از بین گیاهان دارویی می‌توان به نعنا فلفلی (*Mentha piperita* L.) اشـاره کـرد کـه تغذیـه و جـذب مناسب عناصر معدنی پرمصرف و بهبود غلظت آن‌هـا در گیـاه، نقـش به‌سزایی در افزایش عملکرد کمّـی و کیفـی آن دارد (Omid Beigi, 2000). نعنا فلفلی گیاهی از خانواده نعنائیان (Lamiaceae) می‌باشـد و به‌عنوان سبزی، ادویه و گیاه دارویی کشت و استفاده می‌شـود. ایـن گیاه یک هیبرید طبیعی از تلاقی میان پونـه آبـی یـا سوسـنبر (*M. aquatica*) و نعناع یا پونه سنبله‌ای (*M. spicata*) می‌باشد (Sun et al., 2014). منتول و منتون اصلی‌ترین جزء اسانس نعنا فلفلی بوده و خواص ضد میکروبی دارند (Dai et al., 2010). اسانس ایـن گیـاه مایعی شفاف، قابل حل در اتانول ۷۰ درصد و به‌رنـگ زرد روشـن یـا سبز متمایل به زرد است. چگالی نسبی اسانس نعنا فلفلی بین ۰/۸۹۶ تا ۰/۹۰۸ گرم بر میلی‌لیتـر و ضـریب شکسـت آن ۱/۴۵۷ تـا ۱/۴۶۷ است. همچنین میزان اسیدیته اسانس رقیق شده (۱۰:۱) حـداکثر ۱/۴ است (USP37 - NF32. U.S, 2014). اسانس نعنا فلفلی می‌تواند دردهای آرتریتی، روماتیسمی و دردهای مزمن را به‌دلیل اثرات ضـد دردی که دارد، کاهش دهد (Adel et al., 2015). همچنین اسـانس این گیاه به‌دلیل خصوصیات ضدعفونی‌کنندگی مـی‌توانـد بـه بهبـود سردرد سینوزیتی و جلوگیری از پوسیدگی دنـدان کمـک کنـد (Seif Sahandi et al., 2018).

یکی از فاکتورهای زراعی مؤثر در رشد و عملکـرد کمّـی و کیفـی گیاهان دارویی، تغذیه کودی می‌باشد. اسانس‌ها، متابولیت‌های ثانویـه گیاهی هستند که اگر چـه تحـت تـأثیر فرآینـدهای ژنتیکـی سـاخته می‌شوند، امّا ساخت آن‌ها به‌طور آشکاری تحت تأثیر عوامل محیطـی قرار می‌گیرد (Heywood, 2002). از مهم‌ترین عوامل محیطـی کـه تأثیر بسیار عمده‌ای بر رشد گیاهان دارویی و کمیـت و کیفیـت مـواد مؤثره آن‌ها می‌گذارد، می‌توان به شرایط رشدی، اقلیم و عناصر غذایی اشاره نمود (Street, 2012). همچنین طبق استاندارد سـازمان گیـاه درمانی اروپا[1]، مقدار منتول معیار اصلی در تعیین کیفیـت اسـانس نعنـا فلفلی است (Kumar et al., 2004) که مـی‌تـوان بـا بـه‌کـارگیری فاکتورهای زراعی مناسب در راستای افزایش عملکرد کمّی و کیفی آن گام برداشت. کـاربرد وسـیع نهـاده‌هـای دخیـل در امـر تولیـد جهـت دستیابی به عملکرد بالا، از یک طرف، و لـزوم عـاری بـودن گیاهـان دارویی از بقایای شیمیایی در طـی مراحـل تولیـد، فـرآوری و عرضـه آن‌ها، از طرف دیگر، ضرورت کاربرد نهاده‌های بـوم‌سـازگار در تولیـد این گیاهان را بیش از پیش نمایان می‌سـازد (Jahan et al., 2012). کاربرد ناصحیح کودهای شـیمیایی باعـث مشـکلات زیسـت‌محیطـی زیادی نظیر تخریب ساختمان فیزیکی خاک، عدم تعادل غذایی خاک، اوتریفیکاسـیون آب‌هـا و در نهایـت، کـاهش عملکـرد مـی‌شـود (Mafakheri, 2017)؛ لذا به‌منظور حفظ حاصـلخیزی خـاک، بهبـود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن و حفـظ تعـادل در عوامـل زیسـت محیطی، مصرف کودهای آلی و زیستی در خاک‌های کشاورزی امـری اجتناب‌ناپذیر بوده که در جهت نیل بـه‌سـوی کشـاورزی پایـدار مـورد توجه قرار گرفته‌اند (Wu et al., 2005).

ورمی‌کمپوست شامل مخلوط زیستی بسیار فعـالی از بـاکتری‌هـا، آنزیم‌ها، بقایای گیاهی و پیله‌های کرم خاکی می‌باشد کـه اسـتفاده از آن علاوه‌بر افزایش جمعیت و فعالیت ریزجانداران مفیـد خـاک سـبب فراهم شدن عناصر غذایی محلول مورد نیاز گیاه شده که بهبود رشد و عملکـرد گیـاه را بـه‌دنبـال دارد (Fayazi et al., 2014). همچنـین به‌دلیل داشتن ویژگی هوموسی باعث نرمی بافت خاک، افزایش تهویه و ظرفیـت نگهـداری آب خـاک مـی‌شـود (Habibi & Majidian, 2014). در بررسـی اثـر محلـول‌پاشـی چـای ورمـی‌کمپوسـت بـر خصوصیات مورفولوژیک و اجزای عملکـرد گیـاه دارویـی نعنـا فلفلـی پژوهشگران اظهار داشتند که کاربرد عصاره آبـی ورمـی‌کمپوسـت در مقادیر مختلف باعث ایجاد تفاوت معنی‌داری در صفات اجزای عملکرد شامل وزن تر بـرگ و سـاقه، وزن خشـک بـرگ و سـاقه، وزن تـر و خشک تک بوته و وزن خشک گل‌آذین گردیـد (Pooyanfar et al., 2017). در تحقیقی دیگر، پژوهشـگران اظهـار داشـتند کـه مصـرف همزمان ورمی‌کمپوست و کمپوست موجب بهبود صفات کمّی و کیفی گیـاه بـه‌لیمـو (*Lippia citroiodora*) گردیـد (Asghari et al., 2016).

در دهه اخیر، استفاده از ماده‌ای به‌نام بیوچار به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک مورد توجه پژوهشگران قـرار گرفتـه اسـت (Behnam et al.,

1-European Scientific Cooperative on Phytoterapy (ESCOP)

(2016). بیوچار کربن غنی‌شده می‌باشد که مواد مغذی را جذب کرده و از خارج شدن آن جلوگیری کرده و گیاه به‌تدریج مواد مغذی را جذب می‌کند، در نتیجه نیاز به کود و هزینه کوددهی کاهش یافته و عناصر برای مدت طولانی در خاک باقی می‌مانند. از طرفی، هم باعث حفظ و دسترسی به رطوبت در طول دوره گرم و کم‌بارش می‌شود (Yaghoby et al., 2014). طی پژوهشی محققین گزارش کردند که افزودن بیوچار باگاس نیشکر (*Saccharum officinarum*) طی هشت ماه دوره آزمایش، باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل جذب و ظرفیت تبادل کاتیونی و آنیونی خاک شد (Divband Hafshejani et al., 2017). در پژوهشی دیگر، محققین گزارش کردند که بیوچار با بهبود ویژگی‌های خاک و افزایش نگهداری آب در افزایش رشد گیاه سیاه دانه (*Nigella sativa* L.) مؤثر بوده است(Abbaspour et al., 2017).

کودهای زیستی شامل سلول‌هایی زنده از انواع مختلف میکروارگانیسم‌ها هستند که قابلیت جذب عناصر غذایی را با استفاده از فرآیندهای زیستی برای گیاهان فراهم کرده و به توسعه سیستم ریشه آن‌ها کمک می‌کنند (Vessey, 2003). برخی از این ریزجانداران شامل ریزوباکترهای محرک رشد گیاه نظیر *آزوسپیریلوم* (*Azespirillum*)، *ازتوباکتر* (*Azotobacter*)، *سودوموناس فلورسنس* (*Pseudomonas fluorescens*) و چندین گونه *باسیلوس* (*Bacillus* spp.) هستند که اثرات مثبتی روی بهبود رشد گیاه دارند (Mehrafarin et al., 2011). در خصوص تأثیر کاربرد کودهای زیستی نیتروژنه بر رشد و عملکرد گیاهان دارویی، در پژوهشی روی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) مشاهده گردید که مصرف توأم باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم*، موجب افزایش ارتفاع بوته، عملکرد پیکره رویشی، میزان اسانس و عملکرد اسانس در مقایسه با شاهد گردید (Makizadeh et al., 2012).

قارچ‌های میکوریزی با داشتن شبکه هیفی گسترده و افزایش سطح و سرعت جذب ریشه، کارایی گیاهان را در جذب آب و عناصر غذایی به‌ویژه عناصر کم‌تحرک فسفر، روی و مس افزایش و موجب بهبود رشد آن‌ها می‌شوند. طی پژوهشی محققین اظهار داشتند که استفاده از میکوریزا از طریق فراهمی جذب بیشتر فسفر و نیتروژن توسط ریش، که از اجزاء متشکله اسانس گیاه نعنا فلفلی می‌باشد، موجب افزایش میزان اسانس می‌گردد (Mohammadi et al., 2018). در رابطه با نقش کودهای زیستی بر کمیت و کیفیت اسانس گیاهان دارویی، در پژوهشی محققین نشان دادند که تلقیح گیاه دارویی نعناع (*Mentha arvensis* L.) با چهار گونه قارچ میکوریزی (*Glomus mosseae*; *G. intraradices*; *G. fasciculatum*; *G. aggregatum*) سبب افزایش بارز کمیت و کیفیت اسانس نعنا (درصد و عملکرد اسانس و درصد منتول) در شرایط غیرشور، در مقایسه با شاهد شد، به نحوی که بیشترین افزایش به‌ترتیب در *G. mosseae*، *G. intraradices*، *G. fasciculatum* و *G. aggregatum* مشاهده گردید (Bharti et al., 2013).

با توجه به تأثیر احتمالی کودهای آلی مانند بیوچار، ورمی‌کمپوست و کودهای زیستی مانند قارچ‌های میکوریزا و باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه بر کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی نعنا فلفلی و همچنین با در نظر گرفتن اهمیت گسترش کشت گیاهان دارویی، به‌ویژه به‌روش اکولوژیک، این تحقیق به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر کودهای آلی و زیستی بر خصوصیات کمّی و کیفی و عملکرد گیاه نعنا فلفلی آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و میانگین ارتفاع از سطح دریا ۱۴ متر در سال ۱۳۹۶ به اجرا درآمد. عوامل مورد مطالعه شامل بیوچار در دو سطح (صفر و ۱۰ تن در هکتار) و کاربرد کودهای آلی و زیستی در پنج سطح (شاهد (عدم مصرف کود)، ورمی‌کمپوست (۱۰ تن در هکتار)، سودوموناس (*Pseudomonas fluorescens*)، *ازتوباکتر*(*Azotobacter chroococcum*)، میکوریزا (سویه‌های *Glomus mosseae*، *G. intradicces* و *G. etunicatum*) بودند.

جهت تهیه بستر کاشت، شخم عمیقی در اوایل بهار زده و برای نرم نمودن خاک عملیات دیسک‌زنی اجرا گردید. سپس واحدهای آزمایشی در ابعاد ۲ × ۲/۴ متر با شش خط کاشت با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از واحد آزمایشی مجاور ایجاد گردید و فاصله تکرارها از یکدیگر یک متر قرار داده شد. کاشت در نیمه اول خرداد و به‌صورت نشاء با تراکم ۱۶ بوته در مترمربع انجام شد و مبارزه با علف‌های هرز در طول مدت آزمایش به‌صورت دستی انجام گردید. تیمارهای بیوچار و ورمی‌کمپوست قبل از کاشت به خاک اضافه شدند.

روش تهیه بیوچار

برای تولید بیوچار از روش تجزیه حرارتی استوانه‌ای استفاده شد (Lehmann & Joseph, 2009). در ابتدا برای تولید بیوچار مواد اولیه سلولزی شامل بقایای چوب و گیاهان زراعی تهیه و دسته‌بندی شدند. سپس برای تبدیل مواد سلولزی به کربن در شرایط بی‌هوازی، مواد سلولزی جهت تبخیر آب موجود به‌مدت دو ساعت در درجه حرارت ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند؛ سپس به‌مدت سه ساعت در درجه حرارت ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد برای بیرون رفتن مواد فرار قرار داده شدند. واکنش بعدی که مرحله کربونیزاسیون و تشکیل شبکه متخلخل بود، گرمازا بود که دو ساعت به‌طول انجامید و در گام پایانی کربن‌های تولید شده به دمای محیط رسیدند (Lehmann & Joseph, 2009) که مشخصات آن در جدول ۱ درج قابل مشاهده است.

جدول ۱- ویژگی‌های بیوچار استفاده شده

Table 1- Biochar properties used

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

قارچ میکوریزا و باکتری‌های *ازتوباکتر* و *سودوموناس* (مایه تلقیحی میکروبی با غلظت نهایی $CFU.ml^{-1}$ ۱۰۹) از بخش تحقیقات بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج تهیه و قبل از کاشت با ریشه شسته شده نشاهای نعنا تلقیح شدند. بدین ترتیب که نشاها به مدت ۴۵ دقیقه در ظروف حاوی قارچ و باکتری قرار داده و سپس کشت شدند. لازم به ذکر است که جهت اجرای آزمایش از هیچ کود پایه‌ای استفاده نشد. به‌منظور بررسی وضعیت عناصر غذایی از خاک و کودهای آلی مورد استفاده نمونه‌گیری شد که نتایج حاصل از تجزیه در جدول ۲ قابل مشاهده است.

جدول ۲- خصوصیات خاک محل آزمایش و ورمی‌کمپوست

Table 2- Soil and vermicompost characteristics

	بافت Texture	لوم Loam (%)	شن Sand (%)	رس Clay (%)	K ($mg.kg^{-1}$)	P ($mg.kg^{-1}$)	N (%)	OC (%)	E.C ($dS.m^{-1}$)	pH
خاک Soil	لومی–رسی Loam-clay	45	14	41	132	4.95	0.08	0.75	1.74	7.37
ورمی‌کمپوست Vermicompost	–	–	–	–	1.47	1.74	1.77	22.7	3.36	8.25

در پایان دوره رشد و زمانی که پنج درصد گل‌ها ظاهر شدند، برداشت به‌صورت دستی انجام شد. جهت برداشت پس از حذف حاشیه در دو طرف کرت آزمایشی و همچنین حذف نیم متر از دو طرف طولی هر کرت، بوته‌ها از قسمتی از کرت که به‌عنوان فضای عملکرد (یک مترمربع) در نظر گرفته شده بود، کف‌بر شدند. محصول هر کرت به‌طور جداگانه در پاکت‌های کاغذی قرار گرفت و پس از انتقال به آزمایشگاه، وزن تر و خشک در مترمربع اندازه‌گیری شد.

برای اسانس‌گیری، ۳۰ گرم پودر سرشاخه گیاه نعنا فلفلی به‌طور دقیق توزین و به‌روش تقطیر با آب (۵۰۰ میلی لیتر آب)، اسانس آن با استفاده از کلونجر به‌مدت چهار ساعت استخراج شد. اسانس توسط سولفات سدیم بدون آب، آب‌گیری شد و میزان آن برحسب حجمی–وزنی (V/W) گزارش شد (Pharmacopoeia, 1998). اسانس مورد نظر پس از آماده‌سازی به دستگاه گاز کروماتوگرافی (GC/MS) تزریق شد. شناسایی نوع ترکیبات اسانس با کمک طیف نرمال

آلکان‌ها و به‌دست آوردن شاخص بازداری آن‌ها و مقایسه آن با شاخص بازداری گزارش شده در کتاب Adams و مقایسه طیف جرمی هر یک از اجزای اسانس با طیف جرمی موجود در کتابخانه Willy نرم‌افزار GC/MS انجام پذیرفت. همچنین با استفاده از دستگاه GC، درصد ترکیبات اسانس تعیین شد (Adams, 2001). به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای آماری SAS (ver-9.2) و مقایسه میانگین داده‌ها توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

وزن تر و خشک اندام هوایی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی بیوچار و کودهای آلی و زیستی تأثیر معنی‌داری بر وزن تر اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد داشت. درحالی‌که برهم‌کنش تیمارهای آزمایش بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار سبب افزایش ۴۲/۹۶ درصدی وزن تر اندام هوایی در مقایسه با عدم مصرف آن شد (جدول ۴). در بررسی اثر اصلی کودهای آلی و زیستی نتایج گویای این مطلب بود که بیشترین و کمترین وزن تر اندام هوایی در مترمربع به‌ترتیب در تیمارهای آزمایشی بیوچار به‌همراه میکوریزا و شاهد (عدم مصرف کود آلی و زیستی) با میانگین ۶۶۷/۹۵ و ۴۱۸/۰۸ گرم در مترمربع حاصل شد که نشان‌دهنده افزایش ۶۰ درصدی وزن تر اندام هوایی می‌باشد (جدول ۴). شایان ذکر است که تیمار میکوریزا با تیمار ورمی‌کمپوست با میانگین ۶۳۰/۵۹ گرم در مترمربع تفاوت معنی‌داری نداشت و همچنین بین تیمار ورمی‌کمپوست با تیمار *ازتوباکتر* تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها گویای این مطلب بود که اثر متقابل بیوچار با کودهای آلی و زیستی سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی شد (جدول ۳). بیشترین وزن خشک اندام هوایی گیاه با میانگین ۸۹/۰۸ گرم در مترمربع مربوط به مصرف توأم بیوچار و میکوریزا و کمترین متعلق به شاهد (عدم مصرف بیوچار و کود آلی و زیستی) با میانگین ۶۱/۷۶ گرم در مترمربع بود (شکل ۱). بین دو تیمار میکوریزا و ورمی‌کمپوست در شرایط کاربرد بیوچار و همچنین دو شاهد (عدم مصرف بیوچار و کود آلی و زیستی) و *سودوموناس* در شرایط عدم مصرف بیوچار به لحاظ آماری تفاوتی مشاهده نشد (شکل ۱).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر وزن تر و خشک نعنا فلفلی

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of the effects of the experimental treatment on the fresh and dry weight of peppermint

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	وزن تر Fresh weight	وزن خشک Dry weight
بلوک Block	2	85468.80	516.40
بیوچار Biochar	1	296345.19**	1208.15**
کود Fertilizer	4	55976.30**	231.93**
بیوچار×کود Biochar ×fertilizer	4	5412.88ns	37.39**
خطای آزمایش Error	18	3680.76	6.21
ضریب تغییرات CV (٪)	-	10.79	3.33

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

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

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایش بر وزن تر نعنا فلفلی

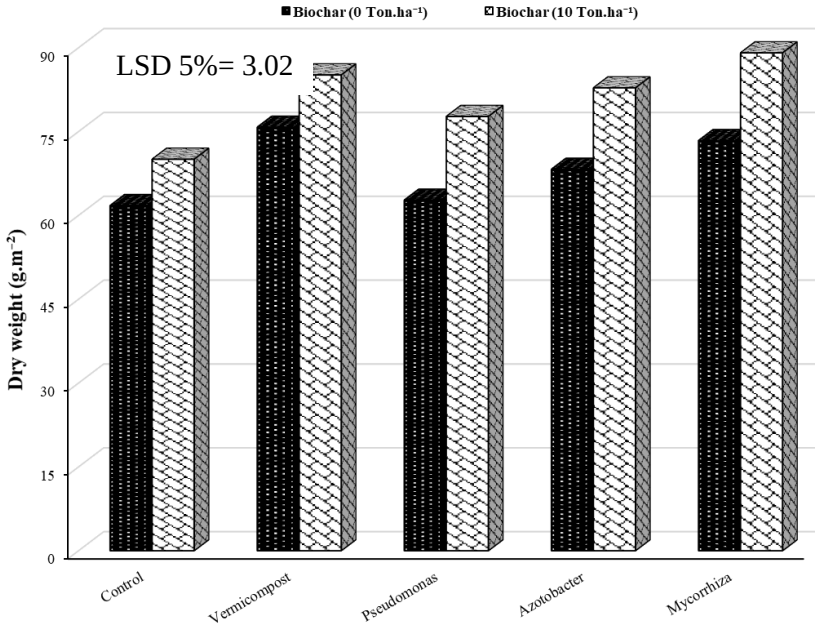
Table 4- Mean comparison of the experimental treatments effects effects of the experimental treatment on fresh weight of peppermint

تیمار Treatment		وزن تر Fresh weight ($g.m^{-2}$)
بیوچار Biochar	شاهد Control	462.68
	10 ($ton.ha^{-1}$)	661.46
LSD 5%		46.54
کودهای آلی و زیستی Organic and biological fertilizers	عدم مصرف کود No fertilizer	418.08
	ورمی‌کمپوست Vermicompost	630.59
	سودوموناس *Pseudomonas*	528.68
	ازتوباکتر *Azotobacter*	565.98
	میکوریزا Mycorrhiza	667.95
LSD 5%		73.59

در رابطه با اثر تحریکی باکتری‌های محرک رشد می‌توان بیان داشت که باکتری‌های محرک رشد از طریق سازوکارهای مختلف از جمله تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه، تولید سیدروفور، افزایش جذب فسفر توسط گیاه، تثبیت نیتروژن و سنتز آنزیم‌هایی که مقدار اتیلن را در گیاه تنظیم می‌کنند، سبب تحریک رشد گیاه می‌شوند (Stajkovic et al., 2011). با افزایش سطح هورمون‌ها به‌ویژه سیتوکینین، نرخ فتوسنتز از طریق عواملی همچون باز شدن روزنه‌ها، تأثیر بر انتقال یون‌ها و تنظیم مقدار کلروفیل بیشتر می‌شود (Johnson, 1984). زیاد شدن نرخ فتوسنتز می‌تواند با تحریک رشد سبب افزایش تولید زیست‌توده در گیاهان میکوریزی شود. در یک پژوهش با بررسی بهبود فراهمی تری‌فسفات کلسیم در گیاه علف‌لیمو (*Cymbopogon citratus*) با کاربرد ریزوباکتری، قارچ میکوریزا و *آزوسپیریلوم*، نتایج حاکی از آن بود که وزن خشک ساقه با مصرف قارچ میکوریزا *Glomus aggregatum* صرف‌نظر از مصرف فسفات افزایش یافت (Ratti et al., 2001). در مطالعه‌ای دیگر، محققین نشان دادند هم‌زیستی قارچ میکوریزا *Glomus mosseae* و *G. intraradices* با گیاه شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza glabra*) سبب افزایش وزن خشک ریشه، ساقه و در نتیجه، زیست‌توده کل، بیشتر از زمان استفاده از تیمار فسفر شد. ایشان بیان کردند که قارچ میکوریزا از طریق افزایش مقاومت و جذب عناصر غذایی سبب بهبود عملکرد زیست‌توده گیاهان می‌شود (Liu et al., 2014).

درصد اسانس

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده بیوچار و کود زیستی روی درصد اسانس در سطح یک درصد معنی‌دار گردید، امّا برهم‌کنش بیوچار و کود زیستی تأثیر معنی‌داری بر درصد اسانس نداشت (جدول ۵). بر اساس نتایج مقایسه میانگین مشخص شد که کاربرد بیوچار باعث افزایش درصد اسانس نسبت به عدم کاربرد آن شد (جدول ۶). در واقع، مصرف ۱۰ تن بیوچار در هکتار توانسته موجب افزایش ۵۲/۸۸ درصد اسانس نسبت به شاهد شود. در مقایسه میانگین اثر ساده کود آلی و زیستی معلوم گردید که بیشترین درصد اسانس مربوط به تیمار ورمی‌کمپوست، میکوریزا و *سودوموناس* بود (جدول ۶). همچنین کمترین درصد اسانس (۱/۴۷) نیز مربوط به شاهد بود.



شکل ۱- تأثیر تیمارهای آزمایش بر وزن خشک نعنا فلفلی (گرم در مترمربع)

Fig. 1- Influence of the effects of the experimental treatment on dry weight of peppermint ($g.m^{-2}$)

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر درصد اسانس نعنا فلفلی

Table 5- Analysis of variance (mean of squares) of the effects of the experimental treatment on essential oil (%) of peppermint

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	درصد اسانس Essential oil (%)
بلوک Block	2	0.014
بیوچار Biochar	1	7.60**
کود Fertilizer	4	2.11**
بیوچار×کود Biochar ×fertilizer	4	0.38ns
خطا Error	18	0.17
ضریب تغییرات CV (%)	-	17.21

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

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

افزودن کمپوست و ورمی کمپوست به خاک با بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای حیاتی خاک ضمن ایجاد یک بستر مناسب برای رشد ریشه سبب افزایش رشد، افزایش تولید ماده خشک، عملکرد گل، تسریع واکنش‌های سوخت و سازی، افزایش تولید و تجمع متابولیت‌ها و در نهایت، بهبود درصد و عملکرد اسانس می‌شود. نتایج تحقیقات پیشین حاکی از آن است که اسانس‌ها حاوی ترکیب‌های ترپنوئیدی بوده و واحدهای سازنده آن‌ها نیاز ضروری به عناصری نظیر نیتروژن و فسفر دارد. از این‌رو، ورمی‌کمپوست و کمپوست مصرف شده با تأثیر روی جذب نیتروژن و فسفر باعث افزایش درصد و عملکرد اسانس می‌گردند (Gupta et al., 2002). در پژوهشی، بهبود عملکرد اسانس در گیاه دارویی درمنه (*Artemisia pallens* L.) را ناشی از افزایش ماده خشک حاصل از مصرف ورمی‌کمپوست گزارش کردند (Pandey, 2005) که با نتایج سایر پژوهشگران همراستا می‌باشد (Anwar et al., 2005; Liuc & Pank, 2005).

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایش بر درصد اسانس نعنا فلفلی

Table 6- Mean comparison of the effects of the experimental treatment on essential oil (%) of peppermint

تیمار Treatment		درصد اسانس Essential oil (%)
بیوچار Biochar	شاهد Control	1.91
	10 (ton.ha^{-1})	2.92
LSD 5%		0.32
کودهای آلی و زیستی Organic and biological fertilizers	عدم مصرف کود No fertilizer	1.47
	ورمی‌کمپوست Vermicompost	2.92
	سودوموناس *Pseudomonas*	2.49
	ازتوباکتر *Azotobacter*	2.3
	میکوریزا Mycorrhiza	2.49
LSD 5%		0.5

منتول

با توجه به نتایج (جدول ۷) به‌دست آمده، مشخص شد که میزان منتول در اسانس نعنا فلفلی تحت تأثیر اثر ساده کودهای زیستی و بیوچار در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش دو عامل فوق در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت و تأثیر معنی‌داری را از خود نشان داد.

اثر متقابل بین تیمارهای آزمایش نشان داد (جدول ۸) که بیشترین میزان منتول (۵۴/۷۳ درصد) در تیمار باکتری *ازتوباکتر* به همراه ۱۰ تن بیوچار و کمترین میزان منتول (۳۶/۰۵ درصد) در شاهد اتفاق افتاد، که نشان‌دهنده افزایش ۵۱/۸۲ درصدی منتول در اسانس نسبت به شاهد می‌باشد (جدول ۸). لازم به ذکر است که در شرایط مصرف بیوچار بین دو تیمار قارچ میکوریزا و باکتری *سودوموناس* تفاوت چندانی از لحاظ آماری مشاهده نگردید.

منتول و منتون اصلی‌ترین جزء اسانس نعنا فلفلی بوده و خواص ضد میکروبی دارند. درصد منتول در نعنا فلفلی از ۳۵ تا ۵۵ درصد و منتون از ۱۰ تا ۴۰ درصد در سنین مختلف گیاه متغیر است (Abdolmaleki, 2011; Heidari, 2008; Mehrafarin, 2011; Izadi, 2010). بیوچار به خاطر سطح ویژه زیاد و تراکم بار سطحی بالا، توانایی خاک برای نگهداری عناصر غذایی و آب قابل استفاده گیاه را افزایش و شستشوی عناصر غذایی و کودها را کاهش می‌دهد، همچنین موجب افزایش بازهای تبادلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک می‌گردد (Laird et al., 2010; Liang et al., 2006). از طرفی، بیوچار، همانند دیگر اصلاح‌کننده‌های آلی خاک، شرایط فیزیکی و فرایندهای شیمیایی خاک را تغییر می‌دهد (Eastman, 2011; Herath et al., 2013) و در نتیجه، بر خصوصیات و رفتارهای جانداران خاک مؤثر است (Lehmann et al., 2011; Masto et al., 2013).

ساختار متخلخل بیوچار، سطوح ویژه بالا و توانایی آن برای جذب مواد آلی محلول، گازها و مواد معدنی محل مناسبی را برای سکونت میکروب‌ها، رشد و تکثیر آن‌ها مخصوصاً باکتری‌ها، اکتینومیست‌ها و قارچ‌های میکوریزا آرباسکولار فراهم می‌آورد و موجب افزایش فعالیت باکتری‌های محرک رشد موجود در خاک می‌شود (Lehmann et al., 2011). باکتری‌های محرک رشد از طریق سازوکارهای مختلفی از جمله تولید هورمون های محرک رشد گیاه، تولید سیدروفور، افزایش جذب فسفر توسط گیاه، تثبیت نیتروژن و افزایش جذب عناصر کم‌مصرف باعث افزایش فعالیت فتوسنتزی و توسعه پوشش گیاهی می‌شوند (Abou El-Yazeid, 2007). افزایش فعالیت فتوسنتزی با افزایش جذب عناصر غذایی را می‌توان مرتبط با مهم‌ترین بخش

فتوسنتزکننده در گیاه، یعنی برگ‌ها دانست، به‌طوری‌که با افزایش فراهمی عناصر غذایی، سطح برگ افزایش و با افزایش سطح برگ، تعداد روزنه به‌عنوان محل ورودی دی‌اکسید کربن و گلوکز به‌عنوان پیش‌ماده مناسب در سنتز اسانس‌ها، به‌عنوان نتیجه فرآیند فتوسنتز، زیاد شده و در نتیجه، پیش‌ماده لازم برای سنتز اسانس در گیاه فراهم می‌گردد (Sifola & Barbieri, 2006).

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر ترکیبات اسانس نعنا فلفلی

Table 7- Analysis of variance (mean of squares) of the effects of the experimental treatment on essential oil compounds of peppermint

	منابع تغییرات S.O.V.	بلوک Block	بیوچار Biochar	کود Fertilizer	بیوچار ×کود Biochar×fertilizer	خطا Error	ضریب تغییرات C.V. (%)
ترکیبات اسانس Essential oil compounds	درجه آزادی d.f	2	1	4	4	18	-
منتول Menthol	-	5.72	237.44**	129.75**	23.22*	6.30	5.72
منتون Menthone	-	3.15	70.71**	95.92**	8.92*	2.39	6.55
آلفا- پینن α-pinene	-	0.0003	0.09**	0.42**	0.005**	0.0005	4.17
سابینن Sabinene	-	0.001	0.07ns	0.05ns	0.002ns	0.0009	5.63
بتا- پینن β-Pinene	-	0.0006	0.17**	0.13**	0.012ns	0.005	6.55
مایرسن Myrcene	-	0.001	0.07**	0.04**	0.002ns	0.001	9.35
لیمونن Limonene	-	0.0002	0.19ns	0.48ns	0.02ns	0.005	5.77
سینول ۱-۸ Cineol-1,8	-	0.06	10.95**	0.057ns	0.28*	0.76	7.41
ایزو منتون Iso menthone	-	2.16	29.44**	93.47**	3.06*	0.82	5.89
پلوژن Pulegone	-	0.082	9.47**	6.83**	0.32*	0.079	5.73
پیپرتون اکسید Piperitone oxide	-	0.0001	0.14**	0.001ns	0.003*	0.001	4.97
منتیل اکتیت Menthyl acetate	-	0.00003	0.40**	0.102**	0.13**	0.008	10.92
منتوفوران Menthofuran	-	0.052	9.06**	0.079**	0.53**	0.044	2.61

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

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

گزارش محققین حاکی از آن است که استفاده از کودهای زیستی (حاوی ریزجاندارانی مثل *ازتوباکتر* و *آزوسپریلوم*) و جایگزینی آن‌ها با تنظیم‌کننده‌های رشد مصنوعی در بهبود ویژگی‌های رشد و ترکیب‌های اسانس گیاه مریم‌گلی (*Salvia officinalis*) کارآیی بالایی دارد (Youssef et al., 2004). همچنین گزارش شده است که افزایش تولید اسانس در تلقیح باکتری‌ها می‌تواند به‌دلیل فعال شدن مکانیسم دفاعی گیاهان باشد (Banchio et al., 2010) که با گزارش‌های سایر محققین در این مورد که تیمار باکتری‌های ریزوسفری باعث افزایش میزان ترکیبات اصلی اسانس در گیاهان دارویی یکساله مثل ریحان و چندساله مثل مرزنجوش (*Origanum majorana*) می‌شود، مطابقت دارد (Maricel et al., 2011; Banchio et al., 2009).

منتون

نتایج تجزیه واریانس مبین این مطلب بود که میزان منتون نعنا فلفلی تحت تأثیر اثر ساده کود آلی و زیستی و اثر ساده بیوچار در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش بین تیمارهای آزمایش در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفته است (جدول ۷). بیشینه و کمینه میزان منتون به‌ترتیب مربوط به تیمار باکتری *سودوموناس* با مصرف بیوچار (۲۹/۹۸ درصد) و شاهد (بدون کود آلی و زیستی و بیوچار) (۱۸/۱۴ درصد) بود (جدول ۸). مشاهده می‌شود که اعمال تیمار کودی *سودوموناس* به‌همراه بیوچار توانسته موجب افزایش ۶۵/۲۷ درصدی منتون در اسانس نعنا فلفلی شود. شایان ذکر است که بین تیمار *سودوموناس* به همراه مصرف بیوچار و *ازتوباکتر* با مصرف بیوچار تفاوت معنی‌داری به لحاظ آماری مشاهده نشد (جدول ۸).

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایش بر ترکیبات اسانس نعنا فلفلی

Table 8- Mean comparison of the effects of the experimental treatment on essential oil compounds of peppermint

نام ترکیب Compound name	بیوچار Biochar **10 (ton.ha^{-1})**					بیوچار Biochar **0 (ton.ha^{-1})**					LSD 5%
	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	
منتول Menthol	38.53	42.53	47.13	54.73	50.21	36.05	40.69	40.49	43.05	44.72	3.04
منتون Menthone	19.28	20.50	29.98	28.70	27.26	18.14	19.78	26.30	21.86	24.26	1.88
آلفا- پینن α-Pinene	0.49	0.51	0.65	0.76	0.65	0.42	0.46	0.53	0.56	0.54	0.03
سینول ۱-۸ Cineol-1,8	4.04	4.26	4.45	4.66	4.28	3.18	3.473	3.13	2.79	3.09	1.06
ایزو منتون Iso Menthone	11.58	12.30	17.25	22.93	18.01	10.74	11.70	14.91	18.75	16.07	1.10
پلوژن Pulegone	4.03	4.29	6.82	6.09	6.09	3.30	3.61	5.53	4.27	5.00	0.34
پیپرتون اکسید Piperitone oxide	0.75	0.75	0.73	0.82	0.76	0.60	0.65	0.64	0.60	0.62	0.04
منتیل اکتیت Menthyl acetate	0.96	1.24	1.09	0.62	0.82	0.62	0.80	0.52	0.70	0.91	0.11
منتوفوران Menthofuran	8.09	9.19	8.92	8.20	8.51	6.79	7.49	7.36	7.69	8.08	0.25

T_1: شاهد، T_2: ورمی‌کمپوست، T_3: *سودوموناس*، T_4: *ازتوباکتر*، T_5: میکوریزا

T_1: No fertilizer, T_2: Vermicompost, T_3: *Pseudomonas*, T_4: *Azotobacter*, T_5: Mycorrhiza

محتوای زیاد کربن و پایداری بیوچار سطح مواد آلی خاک را افزایش می دهد که خود نقش اساسی در چرخه عناصر غذایی و بهبود منابع آب قابل دسترس برای گیاه، ظرفیت بافری و ساختمان خاک دارد (Steinbeiss et al., 2009). بیوچار فعالیت انواع مختلف میکروب‌های خاک را که از نظر کشاورزی مهم هستند، تحریک می‌نماید (Warnock et al., 2010; Anderson et al., 2011). باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد و قارچ‌های میکوریزا آرباسکولار از طریق مکانیسم‌های مختلفی مانند افزایش تثبیت نیتروژن، تولید اکسین، جیبرلین، سیتوکینین و اتیلن، انحلال فسفات‌ها، اکسیداسیون سولفور، افزایش قابلیت دسترسی نیترات، ترشح آنتی‌بیوتیک‌ها، افزایش رشد و توسعه ریشه و در نتیجه، جذب آب و مواد غذایی باعث تغییر شرایط محیطی و در نتیجه، تغییر در ترکیبات شیمیایی اسانس می‌گردند (Santoro et al., 2011; Prasad, 2011).

پژوهشگران تأثیر باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه را بر ترکیبات عمده اسانس گیاه نعنا فلفلی بررسی و گزارش کردند که تیمار *سودوموناس فلورسنس* باعث افزایش زیست‌ساختی ترکیب غالب اسانس (پولگون و منتون) گردید (Santoro et al., 2011). در پژوهشی دیگر، محققین تأثیر باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد (*آزوسپیریلوم برازیلنس*، *سودوموناس فلورنس* و *آزوسپیریلوم برازیلنس* + *سودوموناس فلورنس*) را بر ترکیبات شیمیایی اسانس گیاه جعفری

معطر (*Tagetes minuta*) بررسی و گزارش کردند که هر چند که لینالول و هومولن تحت تأثیر هیچ کدام از تیمارها قرار نگرفتند؛ امّا *آزوسپریلیوم برازیلنس* باعث افزایش ای- اوسیمنون (غالب‌ترین ترکیب اسانس) و ای- تاقتون به ترتیب به‌میزان ۷۱ و ۶۶ درصد گردید. *سودوموناس فلورسنس* هم باعث افزایش ترکیبات ای- اوسیمنن، زد- اوسیمن، ای- تاقتون و لیمونن شد و تیمار ترکیبی آن‌ها نیز باعث بیشترین افزایش ترکیبات مذکور گردید (Cappellari et al., 2013).

کیفیت اسانس (سایر ترکیبات)

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده بیوچار روی ترکیبات α-Pinene، β-Pinene، Myrcene، Cineol-1,8، iso Menthone، Pulegone، Piperitone oxide، Menthyl acetate و Menthofuran در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۷). همچنین نتایج گویای این مطلب بود که اثرات متقابل بیوچار و کود زیستی بر ترکیبات α-Pinene، Menthyl acetate و Menthofuran در سطح احتمال یک درصد و بر سایر ترکیبات (به‌جز Sabinene، β-Pinene، Myrcene و Limonene) در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۷). درحالی‌که کلیه اثرات ساده بیوچار و کود زیستی و اثر متقابل بیوچار با کود زیستی نیز در ترکیبات Sabinene و Limonene هیچ تأثیر معنی‌داری از خود نشان نداد (جدول ۷). در بررسی اثرات ساده بیوچار و کود زیستی بر ترکیبات β-Pinene و Myrcene مشخص گردید که در اثر ساده بیوچار بیشترین میزان هر دو ترکیب در تیمار ۱۰ تن بیوچار در هکتار به‌دست آمد، و مصرف بیوچار توانست در ترکیب β-Pinene موجب افزایش ۱۴/۴۲ درصدی و در ترکیب Myrcene موجب افزایش ۲۳/۸۱ درصدی نسبت عدم مصرف بیوچار شود (جدول ۹). همچنین در اثر ساده کود زیستی نیز بیشترین میزان هر دو ترکیب β-Pinene و Myrcene در تیمار مصرف میکوریزا به‌دست آمد (جدول ۹).

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایش بر ترکیبات اسانس نعنا فلفلی

Table 9- Mean comparison of the experimental treatments effects on essential oil compounds of peppermint

تیمار Treatment		بتا-پینن β-pinene (%)	مایرسن Myrcene (%)
بیوچار Biochar	شاهد Control	1.04	0.42
	10 (ton.ha-1)	1.19	0.52
LSD 5%		0.05	0.02
کودهای آلی و زیستی Organic and biological fertilizers	عدم مصرف کود No fertilizer	0.87	0.34
	ورمی‌کمپوست Vermicompost	1.21	0.43
	سودوموناس Pseudomonas	1.16	0.51
	ازتوباکتر Azotobacter	1.09	0.49
	میکوریزا Mycorrhiza	1.25	0.57
LSD 5%		0.09	0.04

در تفسیر نتایج حاصل از بهبود درصد و عملکرد اسانس در اثر تلقیح تیمارهای باکتریایی و قارچی می‌توان اظهار داشت که تولید اسانس حاصل مجموعه فرآیندهای فیزیولوژیک و مورفولوژیک می‌باشد. در این رابطه، عوامل محیطی تأثیر به سزایی در تولید اسانس دارند. از جمله عوامل محیطی می توان به عناصر غذایی اشاره نمود، به‌طوری‌که تیمارهای قارچ میکوریزا از طریق گسترش هیف و توسعه سیستم ریشه، سطح جذب آب بیشتری برای گیاه فراهم و به دنبال جذب آب بیشتر، مواد غذایی بیشتری نیز جذب می‌شود (Auge, 2001). در رابطه با نقش کودهای زیستی بر کمیت و کیفیت اسانس گیاهان دارویی، محققین نشان دادند که تلقیح گیاه دارویی نعناع با چهار گونه قارچ میکوریزا سبب افزایش بارز کمیت و کیفیت اسانس نعناع (درصد و عملکرد اسانس و درصد منتول) در شرایط غیرشور در

مقایسه با شاهد شد (Bharti et al., 2013). در پژوهش دیگری، مشخص شد که هم‌زیستی گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) با دو گونه از قارچ میکوریزی به‌طور معنی‌داری موجب بهبود میزان اسانس و کیفیت آن می‌شود، به نحوی که مقدار اجزای مهمی مانند ژرانیول و لینالول در ترکیب اسانس به‌طور چشمگیری افزایش، ولی میزان آنتول و بتا- المن در مقایسه با شاهد کاهش داشت (Kapoor et al., 2002).

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل گویای این مطلب بود که به‌کارگیری باکتری *ازتوباکتر* به همراه مصرف ۱۰ تن بیوچار توانست موجب به‌دست آوردن بیشترین میزان ترکیبات α-Pinene، Cineol-1,8، iso Menthone و Piperitone oxide شود (جدول ۷). این در حالی است که در ترکیب Cineol-1,8 بین تیمارهای بیوچار به همراه *ازتوباکتر*، بیوچار + *سودوموناس*، بیوچار + مایکوریزا و بیوچار + ورمی‌کمپوست تفاوت آماری معنی‌دار مشاهده نگردید (جدول ۷). در تحقیقی دیگر که روی گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata*) انجام شد، نتایج نشان داد که کاربرد کودهای زیستی از جمله *ازتوباکتر* سبب افزایش معنی‌داری در عملکرد کمّی و کیفی این گیاه شد (Khalil, 2006). نتایج دیگر محققان نیز حاکی از این امر می‌باشد، به‌طوری که که تلقیح گیاه مرزنجوش (*Origanum vulgare* L.) با گونه های مختلف *ازتوباکتر* سبب افزایش زیست‌توده، سرعت رشد و میزان اسانس در این گیاهان می‌شود (Fatma et al., 2006). کاربرد کودهای زیستی *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* باعث افزایش رشد رویشی، وزن تر، وزن خشک و میزان اسانس در گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) گردید (Sharaf-Eldin & Mahfuz, 2007).

همچنین مصرف باکتری *سودوموناس* به همراه ۱۰ تن بیوچار توانست موجب به‌دست آوردن بیشترین میزان ترکیب Pulegone گردد (جدول ۸). در تحقیقی تحت عنوان اثر باکتری‌های محرک رشد (*Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis*, *Sinorhizobium meliloti*, *Bradyrhizobium*) بر کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی مرزنجوش گزارش شد که فقط *Pseudomonas fluorescens* و *Bradyrhizobium* موجب افزایش معنی‌دار عملکرد اسانس و ترکیب غالب اسانس (ترانس سابینن هیدرات و تربینن- ۴- اول) نسبت به شاهد و دیگر تیمارهای باکتریایی گردید (Banchio et al., 2008).

شایان ذکر است که مصرف ورمی‌کمپوست به همراه مصرف ۱۰ تن بیوچار میزان ترکیبات Menthyl acetate و Menthofuran را افزایش دهد (جدول ۸). در همین راستا، مشاهده شد که در هر دو ترکیب Menthyl acetate و Menthofuran تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای بیوچار + ورمی‌کمپوست و بیوچار + *سودوموناس* وجود ندارد. افزایش مقادیر ورمی‌کمپوست از طریق فراهم نمودن جذب بیشتر فسفر و نیتروژن که در اجزای تشکیل‌دهنده اسانس حضور دارند موجب افزایش میزان اسانس پیکر رویشی می‌گردد. در همین راستا، در پژوهشی که با استفاده از مقادیر مختلف ورمی‌کمپوست بر گیاه ریحان صورت گرفت، مشخص شد که مصرف پنج تن ورمی‌کمپوست برتری محسوسی از نظر میزان اسانس نسبت به شاهد داشت (Anwar et al., 2005).

نتیجه‌گیری

در پایان، نتایج کلی حاکی از آن بود که کاربرد بیوچار می‌تواند هم در کیفیت و هم در کمیت اسانس نعنا فلفلی مؤثر باشد، بیشترین درصد اسانس و اکثر ترکیبات اسانس نعنا فلفلی در تیمارهای همراه با مصرف بیوچار به‌دست آمد. به نظر می‌رسد کاربرد بیوچار در خاک‌های فقیر می‌تواند موجب حفظ و در دسترس قرار دادن عناصر غذایی موجود در خاک برای گیاه شود. از طرفی دیگر، کاربرد کودهای زیستی و آلی توانست منجر به به افزایش درصد اسانس و ترکیبات کیفی اسانس نعنا فلفلی شود. در این بین، کاربرد باکتری *ازتوباکتر* و *سودوموناس* به همراه بیوچار بیشترین تأثیر را بر کیفیت اسانس نعنا فلفلی به‌خصوص در ترکیبات منتول و منتون داشت. در نهایت، می‌توان اذعان داشت که کاربرد توأمان بیوچار به‌همراه کودهای زیستی (به‌ویژه باکتری‌های محرک رشد *ازتوباکتر* و *سودوموناس*) می‌تواند تأثیر زیادی در افزایش کمّی و کیفی اسانس نعنا فلفلی در شرایط کشاورزی اکولوژیک داشته باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به‌دلیل پشتیبانی مالی از این پژوهش در قالب طرح تحقیقاتی مصوب با شماره طرح ۰۳-۱۳۹۹-۰۱ و همچنین از تمام افرادی که ما را در انجام این طرح پژوهشی یاری

نمودند، تشکر و قدردانی به عمل آورند.

References

Abbaspour, F., Asghari, H.R., Rezvani Moghaddam, P., and Abbasdokht, H., 2018. The effect of biochar application in improving some soil characteristics and growth of *Nigella sativa* L. in water stress conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 17(1): 39-52. (In Persian with English Summary). 10.22067/gsc.v17i1.63344

Abdolmaleki, M., Bahraminejad, S., Salari, M., Abbasi, S., and Panjeke, N., 2011. Antifungal activity of peppermint (*Mentha piperita* L.) on phytopathogenic fungi. Journal of Medicinal Plants 2(38): 26-34. (In Persian with English Summary)

Abou El-Yazeid, A., Abou-Aly, H.A., Mady, M.A., and Moussa, S.A.M., 2007. Enhancing growth, productivity and quality of squash plants using phosphate-dissolving microorganisms (bio-phosphor) combined with boron foliar spray. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 3(4): 274-286.

Adams, R.P., 2001. Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Quadrupole Mass Spectroscopy. Allured Publishing. Carol Stream, IL, USA; pp: 469.

Adel, M., Abedian Amiri, A., Zorriehzahra, J., Nematolahi, A., and Esteban, M.A., 2015. Effects of dietary peppermint (*Mentha piperita*) on growth performance, chemical body composition and hematological and immune parameters of fry Caspian white fish (*Rutilus frisii* kutum). Fish Shellfish Immunol 45(2): 841-847. 10.1016/j.fsi.2015.06.010

Anderson, C.R., Condron, L.M., Clough, T.J., Fiers, M., Stewart, A., Hill, R.A., and Sherlock, R.R., 2011. Biochar induced soil microbial community change: Implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus. Pedobiologia 54: 309-320. 10.1016/j.pedobi.2011.07.005

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): 1737-1746. 10.1081/CSS-200062434

Asghari, M., Yousefi rad, M., Masoumi Zavarian, A., 2016. Effects of organic fertilizers of compost and vermicompost on qualitative and quantitative traits of lemon verbena. Journal of Medicinal Plants 58(2): 63-71. (In Persian with English Summary)

Auge, R.M., 2001. Water relation, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Journal of Mycorriza 11: 3-42. 10.1007/s005720100097

Banchio, E., Bogino, P.C., Zygadlo, J., and Giordano, W., 2008. Plant growth promoting rhizobacteria improve growth and essential oil yield in *Origanum majorana* L.. Biochemical Systematics and Ecology 30: 766-771. 10.1016/j.bse.2008.08.006

Banchio, E., Xie, X., Zhang, H., and Pare, P.W., 2009. Soil bacteria elevate essential oil accumulation and emissions in sweet basil. Journal of Agriculture and Food Chemistry 57(2): 653-657. 10.1021/jf8020305

Behnam, H., Farrokhian Firouzi, A., and Moezzi, A.A., 2016. Effect of biochar and compost sugarcane bagasse on some soil mechanical properties. Water and Soil Conservation 23(4): 235-250. (In Persian with English Summary). 10.22069/JWFST.2016.9777.2407

Bharti, N., Baghel, S., Barnawal, D., Yadav, A., and Karla, A., 2013. The greater effectiveness of *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices* in improving productivity, oil content and tolerance of salt-stressed menthol mint (*Mentha arvensis* L.). Journal of the Science of Food and Agriculture 93: 2154-2161. 10.1002/jsfa.6021.

Cappellari, L.D.R., Santoro, M.V., Nievas, F., Giordano, W., and Banchio, E., 2013. Increase of secondary metabolite content in marigold by inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria. Applied Soil Ecology 70: 16-22. 10.1016/j.apsoil.2013.04.001

Dai, J., Orsat, V., Raghavan, G.S.V., and Yaylayan, V., 2010. Investigation of various factors for the extraction of peppermint (*Mentha piperita* L.) leaves. Journal of Food Engineering 96: 540-543. 10.1016/j.jfoodeng.2009.08.037

Divband Hafshejani, L., Naseri, A., Hooshmand, A., Abbasi, F., and Soltani Mohammadi, A., 2017. Effect of sugarcane bagasse biochar application on chemical properties a sandy loam soil. Irrigation Sciences and Engineering 40(1): 63-72. (In Persian with English Summary). 10.22055/JISE.2017.12667

Eastman, C.M., 2011. Soil physical characteristics of an acric ochraqualf amended with biochar. M.Sc. Thesis. Ohio State University, USA.

Fatma, E.M., El-Zamik, I., Tomader, T., El-Hadidy, H.I., El-Fattah Abd, L., and Seham Salem, H., 2006. Efficiency of

biofertilizers, organic and inorganic amendments application on growth and essential oil of marjoram (*Majorana hortensis* L.) plants grown in sandy and calcareous. Agricultural Microbiology (Department Faculty of Agriculture) Zagazig University and Soil Fertility and Microbiology Department, Desert Research Center, Cairo, Egypt.

Fayazi, H., Abdali Mashhadi, A.R., Koochakzadeh, A., Papzan, A.A., and Arzanesh, M.H., 2014. Evaluation of echinacea (*Echinacea purpurea* L.) medicinal plant response to the usage of organic and biological fertilizers. The Second National Conference of Medicinal Plants and Sustainable Agriculture, 21 August, Hamedan p. 1-7. (In Persian)

Gupta, M.L., Prasad, A., Ram, M., and Kumar, S., 2002. Effect of the *vesicular-arbuscular mycorrhizal* (VAM) fungus *Glomus fasciculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. Bioresource Technology 81(1): 77-79. 10.1016/S0960-8524(01)00109-2

Habibi, S., and Majidian, M., 2014. Effect of different levels of nitrogen fertilizer and vermicompost on yield and quality of sweet corn (*Zea mays* Hybrid Chase). Journal of Crop Production and Processing 4(11): 15-25. (In Persian with English Summary). 10.29252/jcpp

Heidari, F., Zehtab Salmasi, S., Javanshir, A., Aliari, H., and Dadpoor, M.R., 2008. The effects of application microelements and plant density on phonology, yield and essential oil of peppermint (*Mentha piperita* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 24(1): 1-9. (In Persian with English Summary)

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

Heywood, V.H., 2002. The conservation of genetic and chemical diversity in medicinal and aromatic plants. pp. 13-22. In: Sener, B. (Ed.), Biodiversity: Biomolecular Aspects of Biodiversity and Innovative Utilization, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.

Izadi, Z., Ahmadvand, G.H., Esna-Ashari, M., and Piri, M., 2010. The effect of nitrogen and plant density on some growth characteristics, yield and essential oil in peppermint (*Mentha piperita* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 8(5): 824-836. (In Persian with English Summary). 10.22067/GSC.V8I5.8025

Jahan, M., Amiri, M.B., Shabahang, J., and Tahamy, M.K., 2012. The simultaneous use of organic fertilizers and biological medicinal plant on some qualitative and quantitative characteristics of summer squash (*Cucurbita pepo* L.). Iranian Journal of Agricultural Research 11(1): 87-73. (In Persian with English Summary). 10.22067/GSC.V11I1.24121

Johnson, C.R., 1984. Phosphorus nutrition on mycorrhizal colonization, photosynthesis, growth and nutrient composition of *Citrus aurantium*. Plant and Soil 80(1): 35-42. 10.1007/BF02232937

Kapoor, R., Giri, B., and Mukerji, K.G., 2002. Mycorrhization of coriander (*Coriandrum sativum* L.) to enhance the concentration and quality of essential oil. Journal of the Science of Food and Agriculture 82(4): 339-342. 10.1002/jsfa.1039

Khalil, M.Y., 2006. How far would *Plantago afra* L. respond to bio and organic manures amendments? Research Journal of Biological Science 2(1): 12-21.

Kumar, A., Samarth, R.M., and Yasmeen, S., 2004. Anticancer and radioprotective potentials of *Mentha piperita* L.. BioFactors 22(1-4): 87-91. 10.1002/biof.5520220117

Laird, D.A., Rogovska, N.P., Garcia-Perez, M., Collins, H.P., Streubel, J.D., and Smith, M., 2010. Pyrolysis and biochar opportunities for distributed production and soil quality enhancement. In: Braun R. Karlen D. and Johnson D. Sustainable Alternative Fuel Feedstock Opportunities, Challenges and Roadmaps for Six U.S. Regions. Proceedings of the Sustainable Feedstocks for Advance Biofuels Workshop, pp. 257-281.

Lehmann, J., and Joseph, S., 2009. Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earthscan. London.

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

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

Liu, H., Tang, Y., Nell, M., Zitter-Eglseer, K., Wawscrah, C., Copp, B., Wang, S., and Novak, J., 2014. Arbuscular mycorrhizal fungal colonization *Glycyrrhiza glabra* roots enhance plant biomass, phosphorus uptake and concentration of root secondary metabolites. Journal of Arid Land 6(2): 186-194. 10.1007/s40333-013-0208-5

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.

Mafakheri, S., 2017. Effect of some organic and chemical fertilizers on morphological and biochemical factors of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). Plant Productions 40(3): 27-40. (In Persian). 10.22055/ppd.2017.19128.1378

Makkizadeh, M., Nasrollahzadeh, S., Zehtab Salmasi, S., Chaichi, M., and Khavazi, K., 2012. The effect of organic, biologic and chemical fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Agriculture Science and Sustainable Production 22: 1-12

Maricel, V.S., Zygadlo, J., Giordano, W., and Banchio, E., 2011. Volatile organic compounds from rhizobacteria increase biosynthesis of essential oils and growth parameters in peppermint (*Mentha piperita*). Plant Physiology and Biochem 49(10): 1177-1182. 10.1016/j.plaphy.2011.07.016

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

Mehrafarin, A., Naghdi Badi, H., Poorhadi, M., Hadavi, E., Qavami, N., and Kadkhoda, Z., 2011. Phytochemical and agronomical response of peppermint (*Mentha piperita* L.) to bio-fertilizers and urea fertilizer application. Journal of Medicinal Plants 4(40): 107-118. (In Persian with English Summary)

Mohammadi, S., Boroomand, N., and Moghbeli, E., 2018. Effect of different mycorrhizal species inoculation on concentration of nutrient elements, yield per plant and antioxidant activity in peppermint (*Mentha piperita*) under salt stress. Soil Management and Sustainable Production 8(4): 127-142. (In Persian with English Summary). 10.22069/EJSMS.2019.12936.1734

Omid Beigi, R., 2000. Findings from the Production of Medicinal Plants. Astane Ghodse Razavi Press, Mashhad, Iran. Volume 3 (In Persian)

Pandey, R., 2005. Management of meloidogyne incognita in artemisia pallens with bio-organics. Phytopara 33(3): 304-308. 10.1007/BF02979868

Pooyanfar, M., Norafkan, H., Ehsasi, H., and Mahmoodi Rad, Z., 2017. The effect of foliar application of vermicompost tea on morphological characteristics and yield components of peppermint. Third International Conference on Sustainable Development, Solutions and Challenges Focusing on Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism. March 9, Tabriz, Iran. (In Persian)

Prasad, A., Kumar, S., Khaliq, A., and Pandey, A., 2011. Heavy metals and arbuscular mycorrhizal (AM) fungi can alter the yield and chemical composition of volatile oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Biology and Fertility Soils 47: 853-861. 10.1007/s00374-011-0590-0

Ratti, N., Kumar, S., Verma, H.N., and Gautam, S.P., 2001. Improvement in bioavailability of tricalcium phosphate to *Cymbopogon martinii* var. motia by rhizobacteria, AMF and *Azospirillum* inoculation. Microbiology Research 156: 145-149. 10.1078/0944-5013-00095

Santoro, M.V., Zygadlo, J., Giordano, W., and Banchio, E., 2011. Volatile organic compounds from rhizobacteria increase biosynthesis of essential oils and growth parameters in peppermint (*Mentha piperita* L.). Plant Physiology and Biochemistry 49: 1177-1182. 10.1016/j.plaphy.2011.07.016

Seif Sahandi, M., Mehrafarin, A., Khalighi-Sigaroodi, F., Sharifi, M., and Naghdi Badi, H., 2018. Review on anatomical, phytochemical and pharmacological properties of peppermint (*Mentha piperita* L.). Journal of Medicinal Plant 69(1): 16-33. (In Persian with English Summary)

Sharaf-Eldin, M.A., and Mahfouz, S.A., 2007. Effect of mineral vs. biofertilizer on growth yield and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* mill). International Agrophysics 21: 361-366. 10.1055/s-2007-987419

Sifola, M., and Barbieri, G., 2006. Growth, yield and essential oil content of three cultivars of basil grown under different levels of nitrogen in the field. Scientia Horticulture 108(4): 408-413. 10.1016/j.scienta.2006.02.002

Stajkovic, O., Delic, D., Josic, D., Kuzmanovic, D., Rasulic, N., and Knezevic-Vukcevic, J., 2011. Improvement of common bean growth-promoting bacteria. Romanian Biotechnological Letters 16(1): 5919-5926.

Steinbeiss, S., Gleixner, G., and Antonietti, M., 2009. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. Soil Biology and Biochemistry 41: 1301-1310. 10.1016/j.soilbio.2009.03.016

Street, R.A., 2012. Heavy metals in medicinal plant products- An African perspective. South African Journal of Botany 82: 67-74. 10.1016/j.sajb.2012.07.013

Sun, Z., Wang, H., Wang, J., Zhou, L., and Yang, P., 2014. Chemical composition and anti-inflammatory, cytotoxic and antioxidant activities of essential oil from leaves of *Mentha piperita* grown in china. Plos One 9(12): 1-15. 10.1371/journal.pone.0114767

USP37 - NF32. U.S., 2014. Pharmacopeia National Formulary. United States Pharmacopeial. USA. pp. 6787.

Vessey, J.K., 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. Plant and Soil 255: 271- 286. 10.1023/A:1026037216893

Warnock, D.D., Mummeya, D.L., McBride, B., Major, J., Lehmann, J., and Rillig, M.C., 2010. Influences of nonherbaceous biochar on arbuscular mycorrhizal fungal abundances in roots and soils: results from growth chamber and field experiments. Applied Soil Ecology 46: 450-456. 10.1016/j.apsoil.2010.09.002

Wu, S.C., Cao, Z.H., Li, Z.G., Cheung, K.C., and Wong, M.H., 2005. Effects of biofertilizer containing n-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: A greenhouse trial. Geoderma 125(1-2): 155-166. 10.1016/j.geoderma.2004.07.003

Yaghoby, M., Amerian, M., and Asghar, H., 2014. Comparison of the effect of biological and biofertilized fertilizers on some physiological traits in bean growing. The 2nd National Conference of the Desert with the Approach of the Management of Arid and Desert Areas. Semnan University, Iran. (In Persian)

Youssef, A.A., Edri, A.E., and Maa, A.M., 2004. A comparative study between some plant growth regulators and certain growth hormones producing microorganisms on growth and essential oil composition of *Salvia officinalis* L.. Plant Annals of Agricultural Science 49: 299-311.

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

Research Article
Vol. 14, No. 3, Fall 2022, p. 579-599

Comparison of Geostatistical Method and Remote Sensing in Estimating Rice (*Oryza sativa* L.) Grain Yield in Guilan Province

P. Aalaee Bazkiaei[1], B. Kamkar[2]*, E. Amiri[3], H. Kazemi[4] and M. Rezaei[5]

Received: 28-08-2020
Revised: 17-06-2021
Accepted: 21-06-2021
Available Online: 13-12-2022

How to cite this article:
Aalaee Bazkiaei, P., Kamkar, B., Amiri, E., Kazemi, H., and Rezaei, M., 2022. Comparison of geostatistical method and remote sensing in estimating rice (*Oryza sativa* L.) grain yield in Guilan province. Journal of Agroecology 14(3): 579-599.
DOI: 10.22067/agry.2021.20308.0

Introduction

Food security has been the most important human concern on the planet. Food security and future changes in food prices and crop development undeniably depend on the average yield of crops. Rice is the second largest crop in terms of area under cultivation and provides food for more than half of the world's population. Due to the importance of rice production, it is important to monitor its production on a large scale. Remote sensing and geostatistical methods play an important role in the spatial and temporal evaluation of climatic, soil, living factors, and management methods. The study of the amount of yield obtained in the province of Guilan can provide appropriate information in advancing/pursuing goals such as the study of the amount of yield gap in this region; therefore, this study was conducted to evaluate the yield of rice using two methods of geostatistics and remote sensing approach in 2016 and 2017 in Guilan province.

Materials and Methods

In this study, different methods of preparing vegetation maps to determine rice yield maps were evaluated. To compare methods based on satellite imagery and geostatistical procedure models to estimate the rice yield of rice cultivated lands in Guilan province, a study was conducted in 2016 and 2017. For field operations, 320 fields were surveyed to record grain yield (the total of 238,000 hectares of rice-grown fields) during the physiological maturity stage. In this study, 33 statistical procedure models were used to interpolate the amount of grain yield, and then the accuracy of interpolation methods was evaluated using various statistical criteria. Satellite-imagery-based methods using Landsat 8 satellite Operational Land Imager (OLI) sensor images related to the dates of June 18, August 9, August 21 in 2016, and July 23, August 8 in 2017 and the images of the Sentinel-2 satellite on June 30 and September 13, 2017, were used. Eight satellite-derived vegetation indices were calculated and the relationship between them and the yield variable was extracted using the regression relationship, and the yield map was prepared and evaluated. By fitting the peak logistics model between yield values and vegetation indices and selecting the superior index, the yield map was prepared with the help of remote sensing and the obtained yield maps were compared with different statistical criteria.

1-Ph.D., Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan. Iran.
2-Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
3-Professor, Department of Water Engineering, Lahijan branch, Islamic Azad University, Iran.
4-Associate Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
5-Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.
(*Corresponding author: E-mail: kamkar@ferdowsi.um.ac.ir)

Results and Discussion

The results of the evaluation of geostatistical interpolation methods showed the superiority of the ordinary stable kriging procedure model over other models. In this study, the RVI vegetation index was selected as the superior index to predict actual yield throughout the Guilan Province. Comparison of geostatistical procedure models and satellite-imagery oriented models based on the determination coefficient of regressed equations and root mean square error (RMSE) to estimate grain yield in Guilan province showed that both procedures had acceptable accuracy, however, due to the ability of remote sensing to distinguish the pointwise optical reflection of phenomena and to predict yield with high spatial resolution, this method achieved higher accuracy in yield estimating.

Conclusion

A comparison of geostatistical and remote sensing methods in predicting farm yield indicated that the remote sensing method was more accurate. Early harvest forecasting based on the information extracted from this study showed that the use of image/images obtained in June and August and the OLI sensor of Landsat-8 satellite in Guilan province can be used as a basis for forecasting the yield of this plant in the coming years. Such studies in Guilan province, by considering the share of Guilan province in the country's rice supply, will play an effective role in managerial decisions regarding rice supply and demand at the macro level. The results also showed that sampling in the study area based on a regular (systematic) spatial pattern can increase the accuracy of geostatistical methods in the estimation of regional yield. The results of this project can provide suitable basic information for other studies such as the yield gap, the reasons behind it, the relationship between land suitability and the obtained yield, and forecasting and estimating yield in different time periods.

Keywords: Actual yield, Kriging, Landsat-8, Sentinel-2.

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

مقاله پژوهشی

مقایسه روش‌های زمین‌آمار و سنجش از دور در برآورد عملکرد دانه برنج (*Oryza sativa* L.) در استان گیلان

پویا اعلایی بازکیایی[۱]، بهنام کامکار[۲*]، ابراهیم امیری[۳]، حسین کاظمی[۴] و مجتبی رضایی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۰۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۳/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۳۱

اعلایی بازکیایی، پ.، کامکار، ب.، امیری، ا.، کاظمی، ح.، و رضایی، م.، ۱۴۰۱. مقایسه روش‌های زمین‌آمار و سنجش از دور در برآورد عملکرد دانه برنج (*Oryza sativa* L.) در استان گیلان. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۳): ۵۹۹-۵۷۹.

چکیده

به‌منظور مقایسه روش‌های مبتنی بر سنجش از دور و زمین‌آمار برای برآورد عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) اراضی کشت برنج استان گیلان، پژوهشی در سال‌های زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ انجام شد. جهت انجام عملیات میدانی، ۳۲۰ نمونه عملکرد دانه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه برنج از ۲۳۸ هزار هکتار اراضی برنج برداشت شد. در این تحقیق، از ۳۳ روش-مدل زمین‌آمار برای درون‌یابی مقدار عملکرد دانه استفاده شد و سپس دقت روش‌های درون‌یابی با کمک معیارهای آماری مختلف ارزیابی شد. در روش مبتنی بر سنجش از دور، از تصاویر سنجنده تصویربردار عملیاتی زمین (OLI) ماهواره لندست-۸ و تصاویر سنجنده تصویربردار ماهواره سنتینل-۲ استفاده شد. هشت شاخص گیاهی از تصاویر استخراج و ارتباط بین آن‌ها و متغیر عملکرد با استفاده از رابطه رگرسیونی استخراج و نقشه عملکرد با کمک تصاویر تهیه و ارزیابی شد. نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی بیان‌گر برتری روش-مدل کریجینگ معمولی - stable نسبت به دیگر مدل‌ها بود. در این مطالعه، شاخص RVI در بین شاخص‌های گیاهی بیش‌ترین دقت را در پیش‌بینی عملکرد اراضی برنج داشته است. مقایسه روش زمین‌آمار و روش مبتنی بر سنجش از دور بر اساس ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا در برآورد عملکرد دانه در سطح استان گیلان نشان داد که هر دو روش دقت قابل قبولی داشتند، امّا با توجه به توانایی سنجش از دور در تفکیک نقطه‌ای بازتاب نوری پدیده‌ها و پیش‌بینی عملکرد با تفکیک مکانی بالا، در این روش دقت بالاتری در تخمین عملکرد حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: سنتینل-۲، عملکرد واقعی، کریجینگ، لندست-۸

۱- دکتری زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۲- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳- استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده فنی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد لاهیجان، ایران.
۴- دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۵- استادیار، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: kamkar@ferdowsi.um.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2021.20308.0

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) دومین محصول زراعی از نظر سطح زیر کشت و تأمین‌کننده غذای بیش از نیمی از جمعیت جهان است (Rahmat et al., 2019). یک‌پنجم جمعیت جهان یا بیش از یک میلیارد خانواده در آسیا، آفریقا و آمریکا به‌عنوان منابع اصلی اشتغال و معیشت خود به نظام‌های تولید برنج وابسته هستند. همچنین برنج در مبارزه با گرسنگی و فقر جهانی در خط مقدم قرار دارد (Rahmat et al., 2019). بر اساس آمار سازمان خواربار جهانی (FAO[1]) ایران در سال ۲۰۱۸ دارای ۵۸۰ هزار هکتار سطح زیر کشت و ۱/۹۹ میلیون تن تولید برنج بوده است. واردات برنج در ایران در سال ۲۰۱۸ حدود ۱/۲ میلیون تن بوده است (FAO, 2018). این نتایج دلالت بر آن دارد که تولید داخلی کفایت تأمین نیاز کشور را نداشته و بخشی از نیاز برنج مصرفی از طریق واردات تأمین شده است.

با توجه به مطالب ذکر شده درباره گیاه برنج، نظارت بر تولید آن در سطح وسیع امری مهم است (Ma et al., 2019). مقایسه روش‌های مختلف بررسی عملکرد گیاهان زراعی در سطح وسیع نشان داد که روش‌های سنتی با انتخاب تصادفی اراضی، با توجه به وجود تغییرات جغرافیایی، اقلیمی و خاکی، اطلاعات مناسبی در مورد میزان عملکرد گیاهان زراعی در سطح وسیع در جهت تأمین امنیت غذایی ارائه نمی‌دهد (Ma et al., 2019; Lobell, 2013). در تعیین عملکرد محصولات مختلف، سنجش از دور نقش مهمی در ارزیابی مکانی و زمانی عوامل اقلیمی، خاک، عوامل زنده و روش‌های مدیریتی اثرگذار بر عملکرد دارد که مهم‌ترین مزیت آن پردازش داده‌های مکانی وسیع می‌باشد (Alizadeh Dehkkordi et al., 2020). سنجش از دور را می‌توان علم کسب اطلاعات از سطح زمین بدون تماس فیزیکی با آن نامید که از جمله استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. روش سنجش از دور عبارت است از اندازه‌گیری و ثبت انرژی بازتابی یا منتشر شده الکترومغناطیسی از سطح زمین و جو که در بین پدیده‌های مختلف دارای میزان متفاوتی است (Badsar, 2014). مزیت عمده تصاویر ماهواره‌ای قابلیت استفاده از آن به‌صورت رقومی است که می‌تواند به‌وسیله رایانه‌ها تجزیه و تحلیل شده و در زمان‌های مختلف در دسترس قرار گیرند (Goudarzi et al., 2006). یک راه مناسب بهره‌گیری از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای استخراج شاخص‌های گیاهی مناسب با منطقه و پوشش زمین است (Badsar, 2014). شاخص‌های گیاهی تبدیل‌های ریاضی هستند که بر اساس باندهای مختلف سنجنده تعریف شده و برای ارزیابی گیاهان در تصاویر چندطیفی ماهواره‌ای طراحی شده‌اند (Badsar, 2014). از جمله شاخص‌های گیاهی پرکاربرد می‌توان به NDVI[2] و TVI[3] اشاره نمود (Badsar, 2014). زارکو-تجادا و همکاران (Zarco-Tejada et al., 2005) مشاهده کردند که شاخص‌های LAI[4]، RDVI[5]، MTVI[6] و OSAVI[7] با استفاده از ماهواره IKONOS با وضوح مکانی چهار متر بهترین ارتباط را با عملکرد پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) در کالیفرنیا داشته‌اند. مو و همکاران (Mo et al., 2005) با استفاده از مدل‌سازی به پیش‌بینی مناسبی از عملکرد گیاهان زراعی چهارکربنی و سه‌کربنی، کارایی مصرف آب و کارایی تبخیر و تعرق با استفاده از NDVI حاصل از سنجنده NOAA-AVHRR[8] رسیدند. دنت و همکاران (Dent et al., 2008) گزارش کردند که ایجاد نقشه مناسب شاخص سطح برگ با تصاویر ماهواره‌ای به افزایش دقت برآورد عملکرد با استفاده از مدل CERES-Wheat[9] کمک می‌کند. (Shi & Xingguo 2011) از طریق برقراری ارتباط بین NDVI[10] (حاصل از تصویر ماهواره tera-MODIS با گستره دید ۲۳۳۰ کیلومتری) و حداکثر ظرفیت کاتالیزوری روبیسکو (Vcmax)، الگوی ظرفیت فتوسنتزی منطقه مورد مطالعه خود را به‌دست آوردند. محمدی احمدمحمودی و همکاران (Mohammadi Ahmad Mahmoudi et al., 2015) مشاهده کردند که شاخص

1- Food and Agriculture Organization
2- Normalized difference vegetation index
3- Transformed vegetation index
4- Leaf area index
5- Renormalized difference vegetation index
6- Modified triangular vegetation index
7- Optimized soil adjusted vegetative index
8- National oceanic and atmospheric administration's - advanced very high resolution radiometer
9- Crop environment resource synthesis
10- Normalized difference vegetation index

TVI تصویر سنجنده ETM+[2] مربوط به اواخر مرحله پنجه‌زنی گندم (*Triticum aestivum* L.)، عملکرد مزرعه را با دقت پیش‌بینی می‌کند.

زمین‌آمار یکی دیگر روش‌های بررسی تغییرات عملکرد در سطوح وسیع بر اساس الگوریتم عددی صفات پیوسته است. کریجینگ یکی از روش‌های زمین‌آمار برای درون‌یابی داده‌ها بر اساس واریانس مکانی است (Mohammadi Ahmad Mahmoudi et al., 2015). سامانه اطلاعات جغرافیایی در برنامه‌ریزی مکانی با تعیین پراکنش پدیده‌ها و روی هم‌گذاری نقشه‌ها و تفسیر داده‌های بوم‌شناختی، در مراحل مختلف برنامه‌ریزی کاربرد دارد (Baskent & Keles, 2005). بررسی تنوع زیستی علف‌های هرز در سامانه‌های زراعی تحت کشت گندم شهرستان گرگان (Ghasemi, 2011)، بررسی رابطه شوری با عملکرد گندم در مزرعه نمونه ارتش گرگان (Azhirabi et al., 2019)، بررسی رابطه عناصر غذایی خاک با عملکرد گندم (Rezaei Hossein Abad, 2013) برآورد خلاء عملکرد در حوضه گرگان با سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل SSM (Badsar, 2014) و پایش تولید زیست‌توده در مزارع گندم ارتش استان گلستان (Mohammadi Ahmad Mahmoudi et al., 2015) از جمله موارد کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی در علوم کشاورزی می‌باشند.

بنا بر مطالعات ذکر شده، سنجش از دور و روش زمین‌آمار رهیافت‌های کاربردی در زمینه بررسی عملکرد و متغیرهای گیاهی در سطح وسیع می‌باشند. با توجه به اهمیتی که تولید برنج در تأمین امنیت غذایی برنج کشور دارد، بررسی میزان عملکرد به‌دست آمده در سطح استان گیلان که دومین استان از نظر سطح زیر کشت برنج (۲۳۸ هزار هکتار) در کشور می‌باشد، می‌تواند اطلاعات مناسبی در پیشبرد اهدافی چون بررسی میزان خلاء عملکرد در این منطقه فراهم نماید؛ بنابراین این پژوهش با هدف بررسی عملکرد برنج با استفاده از دو روش زمین‌آمار و رهیافت سنجش از دور در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در سطح استان گیلان انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در سال‌های زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در اراضی شالیزاری استان گیلان انجام شد. استان گیلان دارای ۱۶ شهرستان با ارتفاع ۹۱- تا ۳۶۸۷ متر از سطح دریا می‌باشد که دشت‌های آبرفتی و مناطق کوهستانی از سمت شمال به جنوب امتداد یافته است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان گیلان). استان گیلان در مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۴۵ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این استان، بر اساس طبقه‌بندی کوپن-گیگر (بر اساس داده ۳۵ ساله) دارای اقلیم معتدل بسیار مرطوب می‌باشد (Raziei, 2017). محدوده زمانی کاشت تا برداشت برنج در این استان از اوایل فروردین (خانه‌گیری نشا) تا پایان شهریور (برداشت محصول) می‌باشد. وسعت اراضی شالیزاری استان حدود ۲۳۸ هزار هکتار بوده که در سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶، ارقام هاشمی، علی کاظمی، جمشیدجو، خزر بیش‌ترین سطح زیر کشت را داشتند (Agriculture- Jihad Organization in Guilan, 2016).

تعریف نقاط نمونه‌برداری

به‌منظور انجام این پژوهش ابتدا مختصات مکان شالیزارها در منطقه به‌وسیله دستگاه GPS مدل ۵۵۰ Garmin ثبت شد. سپس کمینه تعداد شالیزارهای مورد نیاز برای بررسی به‌صورت تصادفی و بر اساس روش تعیین تعداد نمونه کوکران در سطح استان تعیین و جامعه آماری (۳۲۰ مزرعه) انتخاب شد (Pourhadian et al., 2019). در زمان برداشت محصول به‌منظور تعیین عملکرد دانه، به شالیزارهای انتخابی مراجعه شد. نمونه‌گیری در مرحله رسیدن (تکمیل رشد دانه پیش از ریزش دانه با کد زادوکس[1]=۹۲) با همکاری ناظرین جهاد کشاورزی صورت گرفت. سپس نمونه‌های گیاهی به آزمایشگاه منتقل و پس از تعیین درصد رطوبت، میزان عملکرد دانه با رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد. مختصات جغرافیایی مزارع در شکل (۱) ارائه شده است. از بین نقاط نمونه‌برداری، ۷۰ درصد آن برای برآورد عملکرد دانه برنج با روش سنجش از دور و زمین‌آمار در سطح استان گیلان و ۳۰ درصد باقی‌مانده برای صحت‌سنجی روش‌های مذکور استفاده شد (Badsar, 2014).

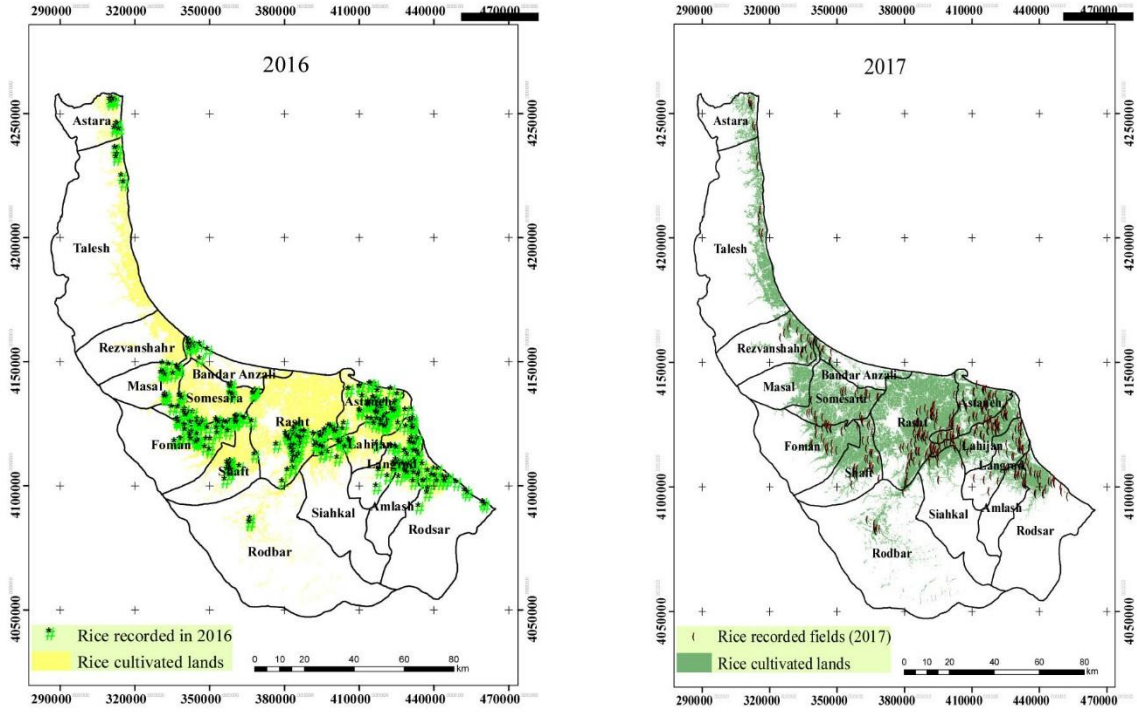
روش درون‌یابی

در این پژوهش، روش درون‌یابی کریجینگ به‌دلیل دقت بالا و در نظر گرفتن ساختار مکانی و همبستگی بالا در داده‌ها مورد استفاده

1- Zadoks

2- Enhanced thematic mapper plus

قرار گرفت (Mohammadi Ahmad Mahmoudi et al., 2015). بدین منظور، آزمون ران تست[1] جهت اطمینان از همگنی داده‌ها انجام نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از شاخص‌های مرکزی شامل میانه و میانگین و شـاخص‌های پراکندگی شـامل چولگی و کشـیدگی مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر چولگی و کشیدگی در سال ۱۳۹۵ به‌ترتیب معادل ۲/۹۴ و ۰/۰۲ و در سـال ۱۳۹۶ به‌ترتیب معادل ۲/۸۳ و ۰/۳۲ به‌دست آمد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی اراضی شالیزاری و مزارع نمونه‌برداری در استان گیلان در سال ۱۳۹۵ (الف) و ۱۳۹۶ (ب)

Fig. 1 - Geographical location of lands under rice cultivation and sampled farms in Guilan province in 2016 (a) and 2017 (b)

مبنای نرمال بودن داده‌ها به‌دست آمدن مقدار چولگی و کشیدگی در محدوده ۳+ تا ۳- بود (Badsar, 2014). به‌منظور بررسی ساختار مکانی داده‌ها نیم‌تغییرنما مورد بررسی قرار گرفت که ساختار ارتباط مکانی بین نمونه‌ها را نشان می‌دهد (Webster & Oliver, 2001). متغیرهای نیم‌تغییرنما شامل اثر قطعه‌ای[2] (خطاهای اندازه‌گیری یا منابع تغییر مکانی در فواصل کوچک‌تر)، دامنه یا شعاع تأثیر[3] (مؤلفه‌ای از مدل کوواریانس یا نیم‌تغییرنما که فاصله‌ای را نشان می‌دهد که فراتر از آن همبستگی خودکار بین متغیرها کم است یا اصلاً وجود ندارد) و آستانه یا سقف[4] (مقدار به‌دست آمده در مدل نیم‌تغییرنما در محور y در نقطه شعاع تأثیر) می‌باشند (Utset et al., 2000). برای بررسی ساختار مکانی داده‌های مورد استفاده، نسبت اثر قطعه‌ای به سقف در هر نیم-تغییرنما بررسی شد. همچنین مقدار عددی شعاع تأثیر[5] بر مبنای متوسط فاصله نقاط از هم و با استفاده از تابع نزدیک‌ترین مجاور[6]، محاسبه و استفاده شد (Badsar, 2014). تعداد گام و نوع شکل تخمین[7] نیز با آزمون و خطا بر اساس کم‌ترین ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)[8] با حد خطای ۳۰ درصد میانگین تعیین شد. سپس ایستگاه-های دارای خطای بالا مشخص و حذف شدند و بار دیگر میان‌یابی با تعیین شعاع تأثیر، تعداد گام و مناسب‌ترین شکل تخمین انجام شد.

1- RUN test
2- Nugget effect
3- Range
4- Sill
5- Lag size
6- Average nearest neighbor
7- Sector type
8- Root Mean Square Error

به‌منظور اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، توزیع فراوانی آن‌ها با کمک آماره‌های میانگین، حداقل، حداکثر، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی توسط نرم‌افزار آماری SAS و رویه proc univariate مورد بررسی قرار گرفت (Fatemi & Rezaei, 2006). پس از تأیید نرمال بودن داده‌ها، ۳۳ روش–مدلِ (سه روش کریجینگ معمولی، جهانی و ساده و ۱۱ مدل دایره‌ای[1]، کروی[2]، نمایی[3]، گوسی[4]، چهاروجهی کروی[5]، پنج‌وجهی کروی[6]، درجه دو منطقی[7]، ثابت[8]، اثر روزنه‌ای[9]، K-Bessel و J-Bessel) مورد ارزیابی قرار گرفتند که برای هر متغیر میزان خطای موجود در تخمین نقاط مجهول مورد بررسی قرار گرفت. جهت تشخیص مناسب‌ترین روش؛ میزان RMSE در هر روش محاسبه و ارزیابی شدند (Kazemi et al., 2012). به‌طور معمول، هر قدر مقدار RMSE کمتر باشد، صحت روش بیشتر است. از نظر تئوری هرگاه این معیار برابر صفر شود نمایانگر این است که مقدار تخمین زده شده یک کمیت، دقیقاً برابر مقدار واقعی آن است (Kazemi et al., 2012).

تصاویر ماهواره‌ای

در این پژوهش، از پنج تصویر چند طیفی سنجنده OLI[10] ماهواره لندست–۸ که دارای نه باند بوده و به تاریخ‌های ۲۹ خرداد، ۱۹ مرداد و ۳۱ مرداد در سال ۱۳۹۵ و تاریخ‌های یک مرداد و ۱۷ مرداد در سال ۱۳۹۶ تعلق داشتند، استفاده شد. تصاویر بر اساس درصد ابرناکی کمتر از دو درصد در محدوده زراعی برش داده شده استان انتخاب شدند. همچنین از تصاویر سنجنده MSI ماهواره سنتینل–۲ در تاریخ نهم تیر و ۲۲ شهریور در سال ۱۳۹۶ استفاده گردید. در این پژوهش، دقت حاصل از کاربرد تصاویر دو ماهواره لندست–۸ و سنتینل–۲ با قدرت تفکیک مکانی متفاوت در برآورد عملکرد دانه برنج مورد ارزیابی قرار گرفت. تصاویر دریافت شده نیاز به تصحیحات هندسی و اتمسفری نداشت. در این پژوهش، هشت شاخص گیاهی شامل TVI، RVI، SAVI، TSAVI، PVI، NDWI، NDVI و DVI مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱). باندهای مورد استفاده از هر سنجنده با ذکر محدوده طول موج در جدول ۲ ارائه گردید. باندهای مورد استفاده از هر سنجنده با ذکر محدوده طول موج در جدول ۳ ارائه شد. برای محاسبه شاخص‌های مذکور از نرم‌افزار EDRISI نسخه TERRSET 18.08 استفاده شد. سپس با کمک شاخص‌های گیاهی، نقشه عملکرد برنج تهیه و به‌منظور صحت‌سنجی نقشه عملکرد دانه برنج حاصل از شاخص‌های گیاهی، مقایسه عملکرد پیش‌بینی شده و عملکرد ثبت شده صورت گرفت.

پس از محاسبه شاخص‌های گیاهی، مقادیر متناظر این شاخص‌ها در محل نقاط نمونه‌گیری استخراج و ارتباط بین این شاخص‌ها با عملکرد دانه برنج بررسی شد و معنی‌داری این شاخص‌ها با کمک رگرسیون ساده خطی مورد ارزیابی قرار گرفت و شاخص‌های مطلوب برای ادامه فرآیند انتخاب شد. رابطه خطی بین مقادیر شاخص‌های گیاهی با عملکرد دانه برآورد گردید و در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.3 و با کمک رابطه ریاضی به‌دست آمده، عملکرد دانه از روی شاخص‌های گیاهی به‌دست آمده از تصاویر تخمین زده شدند. با استفاده از مقادیر به‌دست آمده عملکرد دانه به‌وسیله شاخص‌های مبتنی بر سنجش از دور و روش زمین‌آمار، نقشه‌های عملکرد واقعی محدوده به‌دست آمد. سپس بهترین نقشه تخمین عملکرد با کمک ریشه دوم میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین (R^2) انتخاب و ارائه شد. آزمون مورد استفاده برای بررسی معنی‌داری R^2، آزمون F در سطح احتمال پنج درصد بوده است. در این پژوهش از نرم‌افزارهای ArcGIS 10.3، Envi 5.1، EDRISI نسخه TERRSET 18.08 و نرم‌افزار آماری SAS 9.4 (SAS Institute, 2015) استفاده گردید.

نتایج و بحث

بررسی عملکرد واقعی با استفاده از فناوری سنجش از دور

روابط خطی بین شاخص‌های گیاهی و عملکرد برنج به همراه ضریب تبیین و ضریب تغییرات برای سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در جدول (۴ و ۵) نشان داده شده است. در سال ۱۳۹۵ بر اساس مقادیر به‌دست آمده جذر میانگین مربعات خطا (جدول ۴)، شاخص RVI به‌دست آمده

1- Circular
2- Spherical
3- Exponential
4- Gaussian
5- Tetraspherical
6- Pentaspherical
7- Rational Quadratic
8- stable
9- Hole effect
10- Operational Land Imager

از تصاویر ماهواره لندست–۸ در تاریخ ۱۹ مرداد دارای کم‌ترین مقدار و ضریب تبیین معنی‌دار در روابط به‌دست آمده بود. در سال ۱۳۹۶ نیز بر اساس مقادیر به‌دست آمده جذر میانگین مربعات خطا، شاخص RVI به‌دست آمده از تصاویر ماهواره لندست–۸ در تاریخ ۱۷ مرداد کم‌ترین مقدار (۲۱۸،۰۳) و ضریب تبیین معنی‌دار را نشان داد. شاخص RVI از نسبت نور مادون‌قرمز به نور قرمز به‌دست می‌آید که در سطح کاملاً صاف برابر صفر است که با رشد گیاه مقدار آن افزایش می‌یابد (Kim & Van Zyl, 2009). در این شاخص امواج الکترومغناطیسی منعکس شده تحت تأثیر ساختار هندسی تاج‌پوشش از جمله اندازه، شکل و آرایش اجزای تاج‌پوشش است (Koppe et al., 2013). در این پژوهش، به نظر می‌رسد شاخص RVI، با توجه به خصوصیات ذکر شده در مورد این شاخص، با توصیف بهتر رشد گیاه برنج دقت بالاتری در برآورد عملکرد برنج در محدوده مورد مطالعه داشته است. در مطالعات دیگر از شاخص RVI جهت بررسی متغیرهای گیاهی، خاک و اقلیم استفاده شد.

جدول ۱- روابط شاخص‌های گیاهی

Table 1- Vegatation Indices relationships.

	علامت Symbol	رابطه Formula	منبع Reference
شاخص گیاهی تبدیل شده Transformed vegetation index	TVI	$\sqrt{\frac{b_{NIR}-b_{RED}}{(b_{NIR}+b_{RED})+0\cdot5}}$	Mohammadi Ahmad Mahmoudi et al. (2015)
شاخص گیاهی نسبت Ratio vegetation index	RVI	$\frac{b_{NIR}}{b_{RED}}$	Mohammadi Ahmad Mahmoudi et al. (2015)
شاخص گیاهی خاک تنظیم شده Soil-adjusted vegetation index	SAVI	$\left[\frac{b_{NIR}-b_{RED}}{b_{NIR}+b_{RED}+L^*}\right]\times(1+L)$	Badsar (2014)
شاخص گیاهی تغییریافته منظم شده خاک transformed soil-adjusted vegetation index	TSAVI	$\frac{a\times(b_{NIR}-a\times b_{RED}-b)}{a\times b_{NIR}+b_{RED}-a\times b}$	Ren et al. (2018)
شاخص گیاهی عمودی Perpendicular vegetation index	PVI	$\frac{b_{NIR}-a\times b_{RED}-b}{\sqrt{1+a^2}}$	Ren et al. (2018)
شاخص تفاضل آبی نرمال شده Normalized difference water index	NDWI	$(b_{NIR}-b_{Green})/(b_{NIR}+b_{Green})$	Zolekar & Bhagat (2015)
شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی Normalized difference vegetation index	NDVI	$\frac{b_{NIR}-b_{RED}}{b_{NIR}+b_{RED}}$	Mohammadi Ahmad Mahmoudi et al. (2015)
شاخص تفاضل گیاه Difference vegetation index	DVI	$b_{NIR}-b_{RED}$	Mohammadi Ahmad Mahmoudi et al. (2015)

b_{RED}: باند قرمز، b_{NIR}: باند مادون‌قرمز نزدیک، b_{Green}: باند سبز، L: عامل تنظیم برای کاهش اثر خاک روی پوشش گیاهی می‌باشد که دارای دو مقدار ۰/۵ و ۱ می‌باشد. ۰/۵ برای تراکم پوشش گیاهی متوسط و ۱ برای مناطق با پوشش گیاهی کم‌تراکم. عامل تصحیح خاک ۰/۵ در نظر گرفته شد (Huete, 1988)

b_{RED}: Red band, b_{NIR}: Near infrared band, b_{Green}: Green band, L: Adjustment factor to reduce the effect of soil on vegetation, which has two values of 0.5 and 1. 0.5 for medium vegetation density and 1 for areas with low vegetation density. Soil adjustment factor was considered 0.5 (Huete, 1988).

جدول ۲- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای دریافت شده

Table 2- Details of received satellite images

ماهواره Satellite	سنجنده Sensor	تاریخ Date	مسیر Path	ردیف Row	درصد ابرناکی Cloud percent
لندست ۸ (Landsat 8)	OLI	۲۹ خرداد (June 18, 2016)	166	034	2.38
لندست ۸ (Landsat 8)	OLI	۱۹ مرداد (August 9, 2016)	166	034	0.24
لندست ۸ (Landsat 8)	OLI	۳۱ مرداد (August 21, 2016)	166	034	0
لندست ۸ (Landsat 8)	OLI	۱ مرداد (July 23, 2017)	166	034	0.02
لندست ۸ (Landsat 8)	OLI	۱۷ مرداد (August 8, 2017)	166	034	0
ماهواره Satellite		**تاریخ Date**	**سطح Platform**	**شماره ردیف Tile number**	**درصد ابرناکی Cloud percent**
سنتینل–۲ (Sentinel 2)	MSI	۹ تیر (June 30, 2017)	SENTINEL-2B	T39SUB	0
سنتینل–۲ (Sentinel 2)	MSI	۲۲ شهریور (September 13, 2017)	SENTINEL-2B	T39SUB	1.24

جدول ۳- مشخصات باندهای مورد استفاده در تصاویر ماهواره‌ای
Table 3- Characteristics of bands used in satellite imagery

باند Band	ماهواره Satellite	شماره باند Band number	طول موج Band number (µm)	منبع Reference	ماهواره Satellite (µm)	شماره باند Band number	طول موج Band number (µm)	منبع Reference
سبز Green	لندست ۸ (Landsat 8)	3	0.533-0.590	(a)	سنتینل-۲ (Sentinel 2)	3	0.533-0.590	(b)
قرمز Red	لندست ۸ (Landsat 8)	4	0.636-0.673		سنتینل-۲ (Sentinel 2)	4	0.636-0.673	
مادون‌قرمز Infrared	لندست ۸ (Landsat 8)	5	0.851-0.879		سنتینل-۲ (Sentinel 2)	8	0.851-0.879	

(a): https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/LSDS-1574_L8_Data_Users_Handbook.pdf
(b): https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook

سیال و همکاران (Siyal et al., 2015) در پاکستان با استفاده از شاخص RVI حاصل از تصاویر دوره هشت ساله سنجنده ETM + مقدار عملکرد برنج را در سال ۲۰۱۳ تخمین زدند. مدل رگرسیونی پیشنهادی آنان بین مقدار محصول برداشت شده و مقدار شاخص‌های RVI در اوج دوره سبزینگی گیاه با ضریب تبیین معنی‌دار برای تخمین عملکرد به‌کار گرفته شد. کاربرد شاخص RVI برای پیش‌بینی عملکرد برنج (Yaghouti et al., 2019; Wang et al., 2019)، رابطه معنی-دار شاخص RVI با محتوای آب پوشش گیاهی گندم (Kim et al., 2013)، همبستگی بالای بین تجمع نیتروژن برگ گندم و برنج با شاخص RVI (Zhu et al., 2008)، برآورد عملکرد وش پنبه با استفاده از شاخص RVI (Gutierrez et al., 2012)، همبستگی بالای شاخص RVI با عملکرد روغن پالم (Balasundram et al., 2013) و کاربرد شاخص RVI در بررسی رشد و عملکرد نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) با ضریب تبیین معنی‌دار (Simoes et al., 2005) گزارش شده است. رابطه رگرسیونی عملکرد ثبت شده و پیش‌بینی شده با کمک شاخص RVI در ۸۰ نقطه آزمون در سال ۱۳۹۵ و ۸۶ نقطه آزمون در سال ۱۳۹۶ نیز رابطه معنی‌دار بین شاخص RVI و عملکرد دانه برنج را نشان داد (شکل ۲). شکل ۳، عملکرد واقعی برآورد شده برای استان گیلان را بر اساس مدل منتخب نشان می‌دهد. در سال ۱۳۹۵ بر اساس شاخص RVI عملکرد واقعی در اراضی زیر کشت برنج دارای دامنه ۲۷۵۵ تا ۴۶۵۰ کیلوگرم بر هکتار بوده است که بیشترین آن در شهرستان آستارا (۴۱۲۵ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن در شهرستان شفت (۳۹۹۱ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (شکل ۳). همچنین در سال ۱۳۹۶ بر اساس مدل منتخب، عملکرد واقعی دارای دامنه ۳۲۷۰ تا ۴۷۱۴ کیلوگرم در هکتار بوده است که بیش‌ترین مقدار به شهرستان تالش (۴۳۱۶ کیلوگرم در هکتار) و کمترین مقدار به شهرستان شفت (۴۲۶۰ کیلوگرم در هکتار) تعلق داشت (شکل ۳).

بررسی عملکرد واقعی با استفاده از روش زمین‌آمار

بررسی ساختار مکانی داده‌ها: به‌منظور بررسی ساختار مکانی داده‌های مورد استفاده، ابتدا مناسب‌ترین مدل به داده‌ها برازش داده شد (شکل ۴) و سپس نسبت بین اثر قطعه‌ای به سقف مورد بررسی قرار گرفت. وقتی این نسبت کمتر از ۲۵ درصد باشد متغیر مورد نظر ساختار مکانی قوی دارد، اگر بین ۲۵ تا ۷۵ درصد باشد داده‌ها ساختار مکانی متوسط دارند و زمانی که بیشتر از ۷۵ درصد باشد ساختار مکانی ضعیفی دارند (Cambardella et al., 1994). نسبت اثر قطعه‌ای به سقف در متغیر عملکرد دانه (۶۹ و ۲۷ به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶) بیان‌گر همبستگی مکانی متوسط و مناسب این متغیر است (جدول ۶). مقدار کم‌تر نسبت اثر قطعه‌ای به سقف و دامنه تأثیر بالاتر در سال ۱۳۹۶ نسبت به سال ۱۳۹۵ نشان‌دهنده همبستگی مکانی بهتر داده‌ها در سال ۱۳۹۶ است (جدول ۶؛ شکل ۴). همچنین اثر قطعه‌ای پایین‌تر در سال ۱۳۹۶ نشان‌دهنده پایین‌تر بودن خطاهای اندازه‌گیری در منابع تغییر مکانی در فواصل کوچک‌تر نسبت به نقاط سال ۱۳۹۵ است (جدول ۶؛ شکل ۴).

جدول ٤- روابط خطی بین شاخص‌های گیاهی و عملکرد در سال ۱۳۹۵

Table 4- The linear relationships between the vegetation indices and yield in 2016

سال Year	ماهواره Satellite	تعداد نقاط No. of points	تاریخ تصویر Image acquiring date	شاخص Index	معادله Function	ضریب تبیین Coefficient of determination	جذر میانگین مربعات خطا RMSE (percent)	جذر میانگین مربعات خطا RMSE ($kg.ha^{-1}$)
2016	Landsat 8 لندست۸	309	۲۹ خرداد (June 18)	NDVI	1098.5x + 3619.1	0.06**	5.72	270.0456
		309	۲۹ خرداد (June 18)	NDWI	1135.1x + 3676.6	0.05**	5.71	270.6862
		309	۲۹ خرداد (June 18)	DVI	14.953x + 4036.6	0.07**	5.72	270.0139
		309	۲۹ خرداد (June 18)	TVI	2001.1x + 2160.7	0.06**	5.72	270.0135
		309	۲۹ خرداد (June 18)	PVI	1098.5x + 3619.1	0.01ns	5.70	271.3446
		309	۲۹ خرداد (June 18)	RVI	-962.43x + 4472.2	0.06**	5.72	269.9875
		309	۲۹ خرداد (June 18)	SAVI	1652.6x + 3619.8	0.06**	5.72	270.0503
		309	۲۹ خرداد (June 18)	TSAVI	13.044x + 3594.5	0.02*	5.69	271.9201
		309	۱۹ مرداد (August 9)	NDVI	2655.7x + 3154.3	0.36**	5.98	254.4204
		309	۱۹ مرداد (August 9)	NDWI	3142.4x + 3254.5	0.35**	5.98	254.3260
		309	۱۹ مرداد (August 9)	DVI	25.864x + 4049.2	0.34**	5.96	255.5671
	Landsat 8 لندست۸	309	۱۹ مرداد (August 9)	TVI	4765.2x - 306.44	0.36**	5.98	254.1094
		309	۱۹ مرداد (August 9)	PVI	-17.775x + 4111.3	0.04*	5.72	269.8164
		309	۱۹ مرداد (August 9)	RVI	-2244.4x + 5171.4	0.37**	5.99	253.7387
		309	۱۹ مرداد (August 9)	SAVI	3995.7x + 3154.8	0.36**	5.98	254.4223
		309	۱۹ مرداد (August 9)	TSAVI	34.342x + 2481.6	0.27**	5.90	258.9876
		309	۳۱ مرداد (August 21)	NDVI	1720.5x + 3588.5	0.14**	5.78	266.6810
		309	۳۱ مرداد (August 21)	NDWI	2516.7x + 3527.4	0.20**	5.82	263.8540
		309	۳۱ مرداد (August 21)	DVI	15.369x + 4101.6	0.12**	5.75	268.1043
	Landsat 8 لندست۸	309	۳۱ مرداد (August 21)	TVI	2774.4x + 1527.6	0.18**	5.87	261.2683
		309	۳۱ مرداد (August 21)	PVI	-14.447x + 4108.8	0.03**	5.68	272.5188
		309	۳۱ مرداد (August 21)	RVI	29.701x + 2700.8	0.18**	5.88	260.7151
		309	۳۱ مرداد (August 21)	SAVI	2323.4x + 3542.6	0.17**	5.86	261.6838
		309	۳۱ مرداد (August 21)	TSAVI	-1306.9x + 4718.3	0.18**	5.86	261.7527

*، **و ns: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ و غیر معنی دار.

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

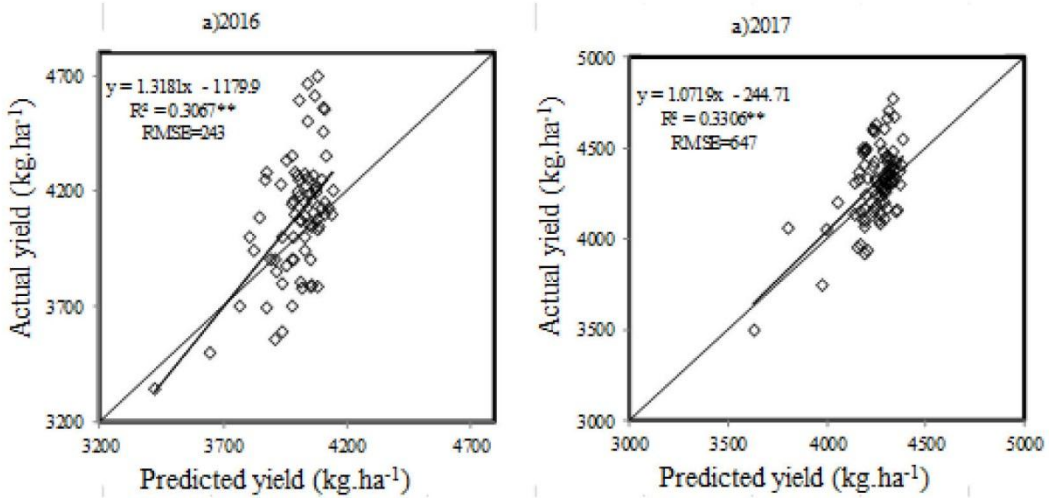
جدول ۵- روابط خطی بین شاخص‌های گیاهی و عملکرد در سال ۱۳۹۶

Table 5- The linear relationships between the vegetation indices and yield in 2017

سال Year	ماهواره Satellite	تعداد نقاط Number of points	تاریخ تصویر Image acquiring date	شاخص Index	معادله Function	ضریب تبیین Coefficient of determination	جذر میانگین مربعات خطا RMSE (percent)	جذر میانگین مربعات خطا RMSE ($kg.ha^{-1}$)
		350	۹ تیر (June 30)	NDVI	313.73x + 4045.9	0.04**	3.95	198.4866
		350	۹ تیر (June 30)	NDWI	462.64x + 4018.5	0.06**	4.00	195.7066
		350	۹ تیر (June 30)	DVI	9.6155x + 4332.2	0.02**	3.93	199.8453
2017	Sentinel-2	350	۹ تیر (June 30)	TVI	637.87x + 3566.9	0.04**	3.96	198.2976
	سنتینل-۲	350	۹ تیر (June 30)	PVI	-3.942x + 4240.6	0.001ns	3.92	200.4158
		350	۹ تیر (June 30)	RVI	-361.2x + 4329	0.05**	3.96	197.9668
		350	۹ تیر (June 30)	SAVI	474.06x + 4051.9	0.05**	3.96	197.8531
		350	۹ تیر (June 30)	TSAVI	-7.0839x + 4225.2	0.001ns	3.92	200.5732
		350	۲۲ شهریور (September 13)	NDVI	36.548x + 4217.9	0.001ns	3.92	200.46
		350	۲۲ شهریور (September 13)	NDWI	-5.656x + 4232.2	0.001ns	3.92	200.31
		350	۲۲ شهریور (September 13)	DVI	1.0101x + 4230.7	0.001ns	3.92	200.58
2017	Sentinel-2	350	۲۲ شهریور (September 13)	TVI	65.075x + 4170.9	0.001ns	3.92	200.4839
	سنتینل-۲	350	۲۲ شهریور (September 13)	PVI	7.5764x + 4189.2	0.03**	3.97	197.4
		350	۲۲ شهریور (September 13)	RVI	-30.266x + 4245.9	0.001ns	3.92	200.51
		350	۲۲ شهریور (September 13)	SAVI	148.71x + 4164.5	0.001ns	3.92	200.55
		350	۲۲ شهریور (September 13)	TSAVI	3.5276x + 4176.7	0.03**	3.99	196.26
		350	۱ مرداد (July 23)	NDVI	584.22x + 3893.5	0.15**	4.05	192.1951
		350	۱ مرداد (July 23)	NDWI	777.99x + 3877.4	0.15**	4.05	192.3069
		350	۱ مرداد (July 23)	DVI	2.3753x + 3859.1	0.18**	4.12	188.1027
2017	Landsat 8	350	۱ مرداد (July 23)	TVI	1155.4x + 3034.9	0.15**	4.06	191.8223
	لندست ۸	350	۱ مرداد (July 23)	PVI	3.2348x + 4062.4	0.10**	3.99	196.314
		350	۱ مرداد (July 23)	RVI	-622.18x + 4405.9	0.16**	4.07	191.2944
		350	۱ مرداد (July 23)	SAVI	878.31x + 3893.3	0.15**	4.05	192.1861
		350	۱ مرداد (July 23)	TSAVI	7.2577x + 3427	0.16**	4.13	187.1347
		350	۱۷ مرداد (August 8)	NDVI	1549.3x + 3761.1	0.32**	4.18	183.4421
		350	۱۷ مرداد (August 8)	NDWI	1951.4x + 3757.9	0.31**	4.19	183.0952
		350	۱۷ مرداد (August 8)	DVI	16.667x + 4274.2	0.32**	4.18	183.8923
2017	Landsat 8	350	۱۷ مرداد (August 8)	TVI	2731.9x + 1785.8	0.32**	4.19	183.2481
	لندست ۸	350	۱۷ مرداد (August 8)	PVI	-15.275x + 4314.5	0.08**	3.94	199.1917
		350	۱۷ مرداد (August 8)	RVI	-1254.3x + 4909.5	0.33**	4.19	183.0367
		350	۱۷ مرداد (August 8)	SAVI	2332.4x + 3761.2	0.32**	4.18	198.4866
		350	۱۷ مرداد (August 8)	TSAVI	22.443x + 3332.1	0.21**	4.13	195.7066

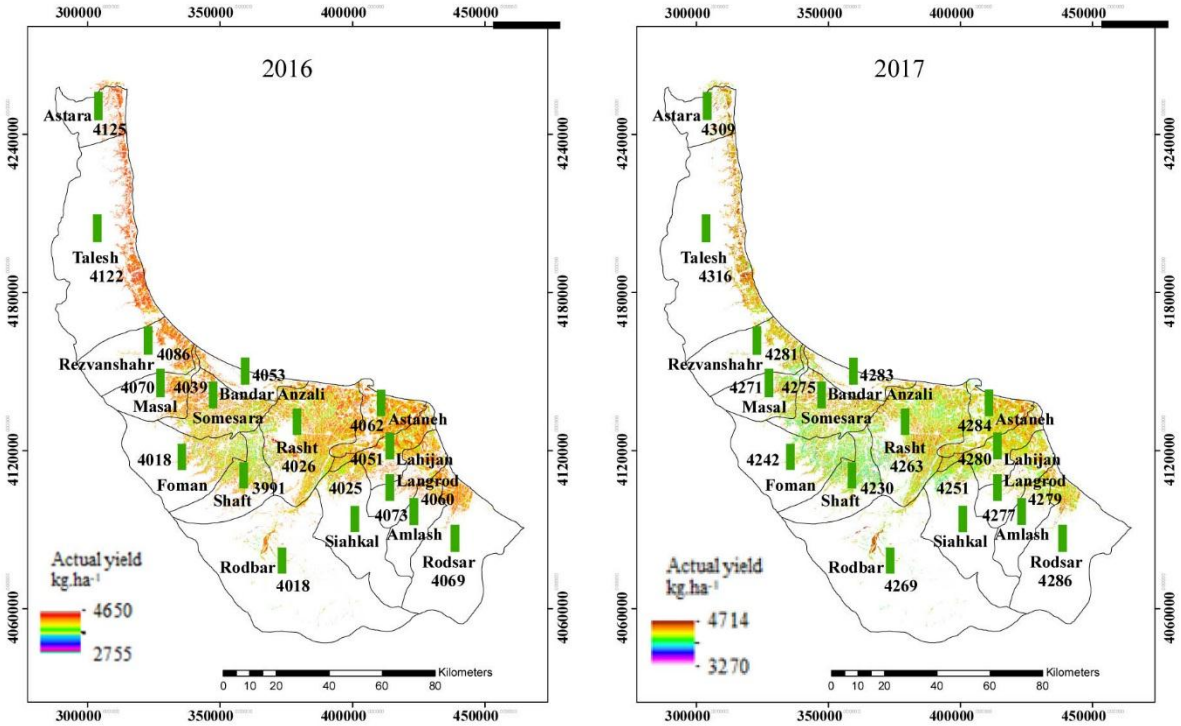
*، **و ns: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ و غیر معنی دار.

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



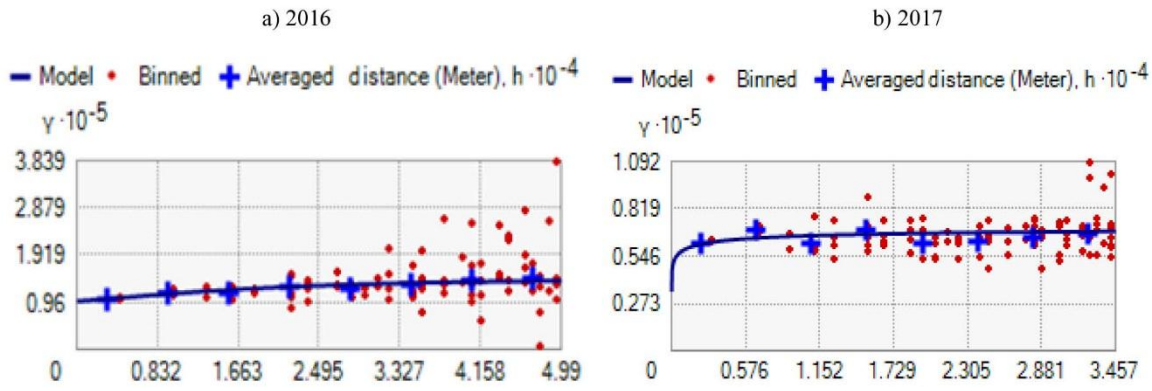
شکل ۲- رابطه رگرسیونی بین عملکرد دانه ثبت شده و پیش‌بینی شده الف) با کمک شاخص RVI در ۸۰ نقطه آزمون در سال ۱۳۹۵ و ب) با کمک شاخص RVI در ۸٦ نقطه آزمون در سال ۱۳۹٦

Fig. 2 - Regression relationship between recorded and predicted grain yield a) with the help of RVI index at 80 test points in 2016 and b) with the help of RVI index at 86 test points in 2017



شکل ۳- نقشه عملکرد واقعی استان گیلان بر اساس مدل منتخب مبتنی بر شاخص گیاهی RVI در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹٦

Fig. 3- Actual yield map of Guilan province based on the selected model based on the RVI in 2016 and 2017



شکل ٤- نیم‌تغییرنماهای تجربی و مدل برازش داده به آن‌ها با روش-مدلِ کریجینگ معمولی stable برای عملکرد دانه در الف) سال ۱۳۹۵ و ب) سال ۱۳۹٦

Fig. 4- Experimental semi-variograms and the model fitted to them by the ordinary kriging stable method-model for grain yield in a) 2016 and b) 2017

* خط آبی مدل نیم‌تغییرنما برازش داده شده نقاط، نقاط قرمز نقاط جمع‌آوری شده، علامت‌های مثبت معادل میانگین نقاط نزدیک به هم‌جهت جلوگیری از تداخل نتایج است.

* The blue line of the semi-variable model of the fitted points, the red dots represent the collected points, and the positive signs are equal to the average of the points close to each other to prevent the results from interfering.

جدول ٦- مؤلفه‌های نیم‌تغییرنماهای مورد استفاده در مطالعه برای بررسی ساختار مکانی داده‌های عملکرد برنج در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹٦

Table 6- Parameters of semi-variograms used in the study to investigate the spatial structure of rice yield data in 2016 and 2017

سال Year	مدل Model	اثر قطعه‌ای Nugget effect	سقف Sill	دامنه تأثیر Range	اثر قطعه‌ای به سقف Nugget Effect to Sill (percent)
2016	ثابت (Stable)	56744	39261	350	69
2017	ثابت (Stable)	39803	10692	20249	27

روابط خطی به‌دست آمده، ضریب تبیین و ضریب تغییرات مرتبط با ۳۳ روش-مدل درون‌یابی مورد مطالعه و عملکرد در سال ۱۳۹۵ در جدول ۷ نشان داده شد. در سال ۱۳۹۵ بر اساس کم‌ترین جذر میانگین مربعات خطا (۳۰۱/۵۵) و ضریب تبیین معنی‌دار، روش-مدل کریجینگ ساده -J-Bessel بهترین روش-مدل در درون‌یابی عملکرد دانه بود، امّا به‌دلیل عدم مشاهده روند مشخص از روش-مدل کریجینگ معمولی-Stable جهت درون‌یابی عملکرد استفاده شد (جدول ۷). همچنین در سال ۱۳۹۶ بر اساس کم‌ترین جذر میانگین مربعات خطا (۳۰۱/۵۵) و ضریب تبیین معنی‌دار، روش-مدل کریجینگ معمولی-Stable، بیش‌ترین دقت را در درون‌یابی عملکرد دانه برنج داشته است (جدول ۸).

نتایج این پژوهش برتری کریجینگ معمولی نسبت به سایر روش-های درون‌یابی شامل کریجینگ جهانی و کریجینگ ساده را نشان داد. در تحقیقات دیگر نیز کاربرد کریجینگ معمولی در درون‌یابی عملکرد برنج و خصوصیات خاک در جنوب چین (Liu et al., 2014) و کاربرد مطلوب کریجینگ معمولی در برآورد نوسانات عملکرد مزارع گندم (Nasiri Mahalati et al., 2016) گزارش شده است. این در حالی است که اژیرابی و همکاران (Azhirabi et al., 2019) در برآورد عملکرد گندم در مزرعه نمونه ارتش آق‌قلا، برتری مدل‌های کریجینگ جهانی نسبت به کریجینگ معمولی را گزارش نمودند. تسفاهونگن و همکاران (Tesfahunegn et al., 2011) علت برتری کریجینگ معمولی نسبت به سایر روش‌های درون‌یابی را ارائه بهترین نتایج جهت درون‌یابی فواصل نمونه‌گیری نشده و به حداقل رساندن اثر نقاط پرت روی نتایج درون‌یابی گزارش نمودند. رابطه رگرسیونی عملکرد ثبت شده و پیش‌بینی شده با مدل ثابت در روش کریجینگ معمولی ۸۰ نقطه تست در سال ۱۳۹۵ و ۸۶ نقطه تست در سال ۱۳۹۶ نیز رابطه معنی‌دار بین مقادیر درون‌یابی شده در روش کریجینگ و عملکرد دانه برنج را نشان داد (شکل ۵). شکل ۶ عملکرد واقعی برآورد شده برای استان گیلان را بر اساس روش-مدل منتخب نشان می‌دهد.

جدول ۷- نتایج ارزیابی ۳۳ روش-مدل مورد استفاده برای درون‌یابی متغیر عملکرد دانه برنج در استان گیلان [کریجینگ معمولی (OK)، ساده (SK) و جهانی (UK)] بر اساس جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) در سال ۱۳۹۵

Table 7- Results of evaluation of 33 model-methods used for interpolation of rice grain yield variable in Guilan province [Ordinary (OK), Simple (SK) and Universal (UK)] based on the root mean square error (RMSE) in 2016

سال Year	روش درون‌یابی Interpolation method	مدل Model	معادله Function	ضریب تبیین Coefficient of determination	جذر میانگین مربعات خطا RMSE (percent)	تعداد نقاط Number of points	جذر میانگین مربعات خطا RMSE (kg ha^{-1})
2016	OK	ثابت (Stable)	0.0980 * x + 3601.8723	0.057**	3.74	320	319.66
	OK	(J-Bessel)	0.0943 * x + 3608.9441	0.057**	3.77	320	323.93
	OK	(K-Bessel)	0.0501 * x + 3796.4241	0.042**	2.90	320	295.42
	OK	اثر روزنه‌ای (Hole Effect)	0.0944 * x + 3607.8357	0.058**	3.65	320	309.91
	OK	درجه دو منطقی (rotional quadric)	0.1083 * x + 3555.4296	0.055**	3.73	320	324.47
	OK	گوسی (Gaussian)	0.0980 * x + 3601.8723	0.057**	3.74	320	317.13
	OK	نمایی (Exponential)	0.0069 * x + 3959.7759	0.031**	2.70	320	299.93
	OK	کروی پنج وجهی (Pentaspherical)	0.0058 * x + 3964.7214	0.030**	2.69	320	299.78
	OK	کروی چهاروجهی (Tetraspherical)	0.0058 * x + 3964.6454	0.030**	2.69	320	300.54
	OK	کروی (Spherical)	0.0080 * x + 3956.6498	0.030**	2.68	320	301.12
	OK	دایره‌ای (Circular)	0.0081 * x + 3956.6430	0.030**	2.67	320	301.77
	SK	ثابت (Stable)	0.0311 * x + 3890.2568	0.095**	2.58	320	302.42
	SK	(J-Bessel)	0.0903 * x + 3657.0910	0.12**	2.65	320	301.05
	SK	(K-Bessel)	0.0280 * x + 3902.2152	0.094**	2.57	320	302.5
	SK	اثر روزنه‌ای (Hole Effect)	0.0525 * x + 3802.9399	0.11**	2.72	320	299.83
	SK	درجه دو منطقی (rotional quadric)	0.0290 * x + 3897.8376	0.086**	2.42	320	303.84
	SK	گوسی (Gaussian)	0.0311 * x + 3890.2568	0.095**	2.58	320	302.38
	SK	نمایی (Exponential)	0.0288 * x + 3898.4861	0.082**	2.44	320	304.52
	SK	کروی پنج وجهی (Pentaspherical)	0.0318 * x + 3886.5833	0.091**	2.58	320	302.98
	SK	کروی چهاروجهی (Tetraspherical)	0.0323 * x + 3884.5562	0.092**	2.59	320	302.88
	SK	کروی (Spherical)	0.0331 * x + 3881.4118	0.093**	2.60	320	302.74
	SK	دایره‌ای (Circular)	0.0345 * x + 3875.5539	0.094**	2.61	320	302.5
	UK	ثابت (Stable)	0.0432 * x + 3823.5528	0.045**	2.81	320	294.06
	UK	(J-Bessel)	0.0942 * x + 3609.2470	0.060**	3.77	320	323.65
	UK	(K-Bessel)	0.0438 * x + 3820.6934	0.044**	2.87	320	290.17
	UK	اثر روزنه‌ای (Hole Effect)	0.0893 * x + 3627.2377	0.058**	3.65	320	309.61
	UK	درجه دو منطقی (rotional quadric)	0.0084 * x + 3955.4801	0.030**	2.65	320	297.59

2016	UK	گوسی (Gaussian)	0.0979 * x + 3602.1247	0.057**	3.74	320	319.44
	UK	نمایی (Exponential)	0.0525 * x + 3785.6460	0.033**	2.75	320	296.58
	UK	کروی پنج وجهی (Pentaspherical)	0.0079 * x + 3957.5271	0.030**	2.65	320	297.89
	UK	کروی چهاروجهی (Tetraspherical)	0.0079 * x + 3957.5073	0.030**	2.65	320	298.084
	UK	کروی (Spherical)	0.0079 * x + 3957.5018	0.029**	2.65	320	298.24
	UK	دایره‌ای (Circular)	0.0080 * x + 3957.4544	0.029**	2.65	320	298.04

*، **و ns: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ و غیر معنی دار.

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

جدول ۸- نتایج ارزیابی ۳۳ روش-مدلِ مورد استفاده برای درون‌یابی متغیر عملکرد دانه برنج در استان گیلان [کریجینگ معمولی (OK)، ساده (SK) و جهانی (UK)] بر اساس جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) در سال ۱۳۹۶

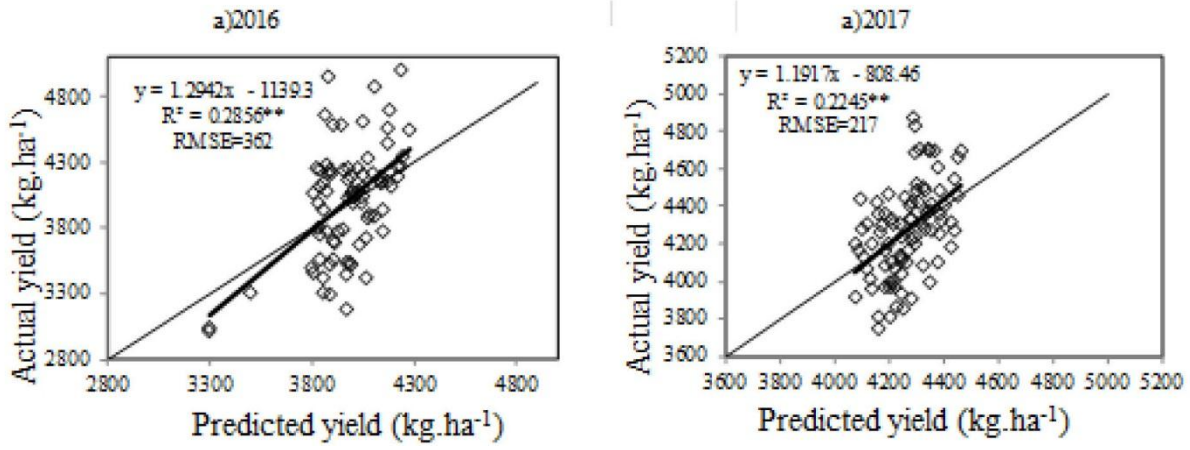
Table 8- Results of evaluation of 33 model-methods used for interpolation of rice grain yield variable in Guilan province [Ordinary (OK), Simple (SK) and Universal (UK)] based on the root mean square error (RMSE) in 2017

سال Year	روش درون‌یابی Interpolation method	مدل Model	معادله Function	ضریب تبیین Coefficient of Determination	جذر میانگین مربعات خطا RMSE (percent)	تعداد نقاط Number of points	جذر میانگین مربعات خطا RMSE ($kg.ha^{-1}$)
	OK	ثابت (Stable)	0.2064 * x + 3365.6888	0.127**	2.38	340	227.51
	OK	(J-Bessel)	0.2067 * x + 3369.1511	0.117**	2.40	340	222.76
	OK	(K-Bessel)	0.2119 * x + 3346.5929	0.138**	2.47	340	223.21
2017	OK	اثر روزنه‌ای (Hole Effect)	0.1744 * x + 3505.9224	0.118**	2.41	340	229.4
	OK	درجه دو منطقی (rotional quadric)	0.2083 * x + 3361.9908	0.12**	2.41	340	226.27
	OK	گوسی (Gaussian)	0.1997 * x + 3399.1626	0.117**	2.41	340	225.68
	OK	نمایی (Exponential)	0.2013 * x + 3389.1025	0.125**	2.43	340	218.82
	OK	کروی پنج وجهی (Pentaspherical)	0.1988 * x + 3402.1933	0.123**	2.42	340	218.54
	OK	کروی چهاروجهی (Tetraspherical)	0.2014 * x + 3391.9521	0.122**	2.41	340	218.66
	OK	کروی (Spherical)	0.2007 * x + 3394.6525	0.122**	2.41	340	218.88
	OK	دایره‌ای (Circular)	0.2015 * x + 3391.1550	0.121**	2.41	340	218.97
	SK	ثابت (Stable)	0.1049 * x + 3796.2375	0.123**	1.51	340	227.68
	SK	(J-Bessel)	0.1067 * x + 3789.1075	0.105**	1.23	340	230.95
	SK	(K-Bessel)	0.1180 * x + 3744.2340	0.121**	1.46	340	228.1
	SK	اثر روزنه‌ای (Hole Effect)	0.1063 * x + 3792.0311	0.105**	1.17	340	231.57
2017	SK	درجه دو منطقی (rotional quadric)	0.1265 * x + 3708.7952	0.103**	1.53	340	226.23
	SK	گوسی (Gaussian)	0.1137 * x + 3762.0492	0.101**	1.31	340	230.05
	SK	نمایی (Exponential)	0.1230 * x + 3724.2304	0.108**	1.46	340	227.64
	SK	کروی پنج وجهی (Pentaspherical)	0.1088 * x + 3782.6882	0.105**	1.37	340	229.06

	SK	کروی چهاروجهی (Tetraspherical)	0.1112 * x + 3772.0524	0.105**	1.36	340	229.19
	SK	کروی (Spherical)	0.1121 * x + 3768.3034	0.105**	1.35	340	229.34
	SK	دایره‌ای (Circular)	0.1110 * x + 3772.6714	0.104**	1.35	340	229.41
	UK	ثابت (Stable)	0.1744 * x + 3505.9224	0.118**	2.41	340	208.74
	UK	(J-Bessel)	0.1744 * x + 3505.9224	0.118**	2.41	340	208.74
	UK	(K-Bessel)	0.1744 * x + 3505.9224	0.118**	2.41	340	208.74
	UK	اثر روزنه‌ای (Hole Effect)	0.1744 * x + 3505.9224	0.118**	2.41	340	208.74
	UK	درجه دو منطقی (rotional quadric)	0.1744 * x + 3505.9224	0.118**	2.41	340	208.74
2017	UK	گوسی (Gaussian)	0.1744 * x + 3505.9224	0.118**	2.41	340	208.74
	UK	نمایی (Exponential)	0.1744 * x + 3505.9224	0.118**	2.41	340	208.74
	UK	کروی پنج وجهی (Pentaspherical)	0.1744 * x + 3505.9224	0.118**	2.41	340	208.74
	UK	کروی چهاروجهی (Tetraspherical)	0.1744 * x + 3505.9224	0.118**	2.41	340	208.74
	UK	کروی (Spherical)	0.1744 * x + 3505.9224	0.118**	2.41	340	208.74
	UK	دایره‌ای (Circular)	0.1744 * x + 3505.9224	0.118**	2.41	340	208.74

*، **و ns: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ و غیر معنی دار.

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

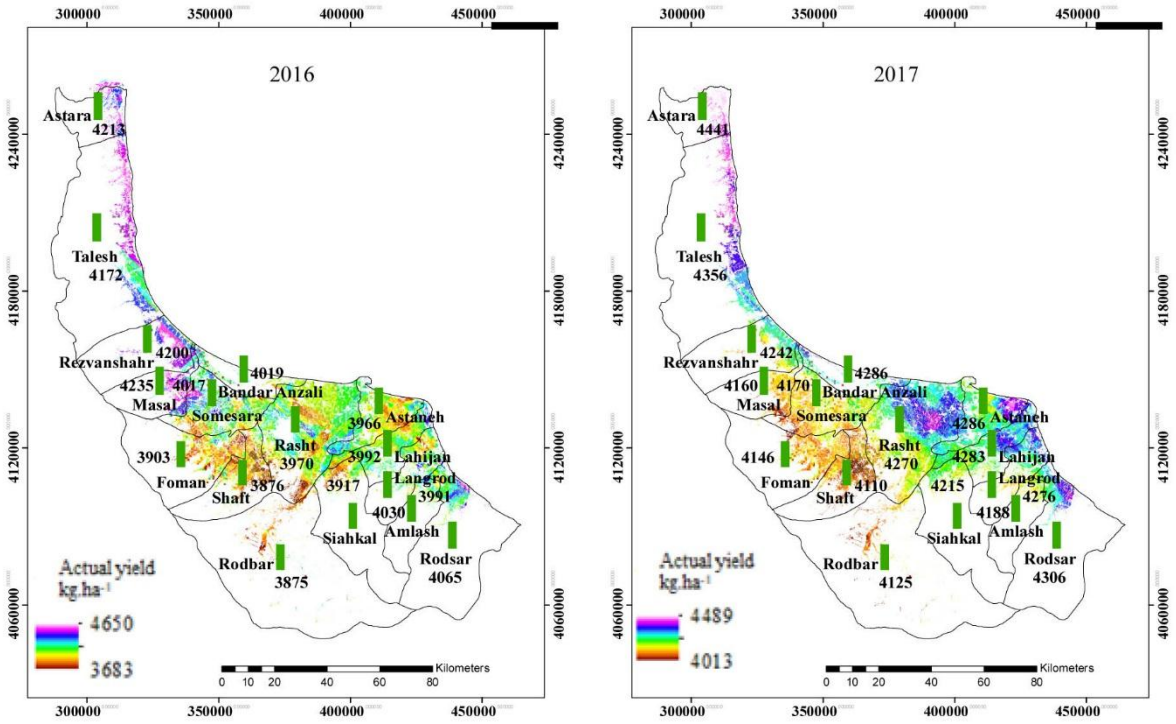


شکل ۵- رابطه رگرسیونی بین عملکرد ثبت شده و پیش‌بینی شده الف) با روش- مدلِ کریجینگ معمولی Stable در ۸۰ نقطه تست در سال ۱۳۹۵ و ب) با روش- مدلِ کریجینگ معمولی Stable در ۸٦ نقطه تست در سال ۱۳۹٦

Fig. 5- Regression relationship between recorded and predicted yield a) with the stable ordinary kriging method - model at 80 test points in 2016 and b) with the stable ordinary kriging method - model at 86 test points in 2017

در سال ۱۳۹۵ بر اساس نتایج درون‌یابی، عملکرد واقعی دارای دامنه ۳۶۸۳ تا ۴۶۵۰ کیلوگرم بر هکتار بوده است که بیشترین آن در شهرستان ماسال (۴۲۳۵ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن در شهرستان رودبار (۳۸۷۵ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (شکل ۶). دامنه عملکرد واقعی در سال ۱۳۹۶ بین ۴۰۱۳ تا ۴۴۸۹ کیلوگرم در هکتار تغییرات داشت که بیشترین آن در شهرستان آستارا (۴۴۴۱ کیلوگرم در هکتار)

و کمترین آن در شهرستان شفت (۴۱۱۰ کیلوگرم در هکتار) تعیین شد (شکل ۶).



شکل ٦- نقشه عملکرد واقعی استان بر اساس با روش- مدلِ کریجینگ معمولی Stable در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹٦

Fig. 6- Actual yield map of the province based on the stable ordinary kriging method - model in 2016 and 2017

مقایسه رهیافت‌های مبتنی بر سنجش از دور و زمین‌آمار و برآورد عملکرد واقعی

مقایسه روش‌های مبتنی بر زمین‌آمار و شاخص‌های گیاهی به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای در برآورد عملکرد واقعی دانه برنج نشان داد که بر اساس جذر میانگین مربعات خطا شبیه‌سازی و ضریب تبیین به‌دست آمده بین مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده عملکرد، شاخص RVI حاصل از تصاویر ماهواره‌ای ۱۹ مرداد در سال ۱۳۹۵ و ۱۷ مرداد در سال ۱۳۹۶، به بهترین شکل مقادیر عملکرد برنج محدوده مورد مطالعه را برآورد کرده است (جدول‌های ۴، ۵، ۷ و ۸). محمدی احمدمحمودی و همکاران (Mohammadi Ahmad Mahmoudi et al., 2015) در مقایسه روش زمین‌آمار و استفاده از داده‌های سنجش از دور به‌منظور پیش‌بینی عملکرد گندم در برخی از مراحل رشد در استان گلستان، در ارزیابی نقشه‌های عملکرد پیش‌بینی شده، برتری قاطع روش‌های مبتنی بر سنجش از دور را نسبت به زمین‌آمار نشان دادند. نتایج این پژوهش بیان‌گر قابلیت تصاویر ماهواره‌ای در پیش‌بینی عملکرد گندم در اواخر پنجه‌زنی با ۷۱۵ کیلوگرم در هکتار خطای برآورد بود. تفاوت به‌دست آمده در دقت دو روش زمین‌آمار و مدل-روش‌های مبتنی بر سنجش از دور می‌تواند به‌دلیل تفاوت اساس دو روش در برآورد متغیرها باشد. کریجینگ یک روش زمین‌آمار برای درون‌یابی داده‌ها بر اساس واریانس مکانی است که به هر دو معیار فاصله و میزان تغییرات در زمان پیش‌بینی مقدار مجهول توجه می‌کند (Khosravi et al., 2014). این در حالی است که در روش‌های مبتنی بر سنجش از دور عموماً شاخص‌های گیاهی برای ارزیابی یک یا چند متغیر خاص و بر مبنای ویژگی‌ها و رفتارهای طیفی پدیده‌ها توسعه داده می‌شوند. بسیاری از شاخص‌های گیاهی بر مبنای بازتاب در محدوده نور قرمز و مادون‌قرمز نزدیک قرار داشته و ترکیبی جبری از این دو باند هستند (Bannari et al., 2008; Elvidge & Chen, 1995). بر اساس روش مبتنی بر سنجش از دور، داده‌های باندهای طیفی مختلف می‌توانند درصد پوشش متغیرهایی مانند گیاهان، زیست‌توده و شاخص سطح برگ را در هر واحد سلول تصاویر و با دقت مطلوب پیش‌بینی نمایند (Sanaienejad et al., 2008).

در این پژوهش، از داده‌های نمونه‌گیری شده توسط ناظرین برنج

در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ استفاده شد که پراکنش نقاط نمونه-گیری‌شده در شکل ۱ نشان داده شده است. یکی از دلایل کاهش دقت روش کریجینگ در پیش‌بینی عملکرد دانه در محدوده مورد مطالعه می‌تواند تعداد نقاط نمونه ناکافی و بر اساس پراکنش نامناسب باشد که سبب می‌شود تا روش کریجینگ تغییرات عملکرد اراضی را با دقت کم‌تری پیش‌بینی نماید. ون‌گرونیگن و همکاران (Van Groenigen et al., 1999) گزارش کردند که الگوی مکانی نمونه‌گیری در روش زمین‌آمار می‌تواند یکی از دلایل مهم در به حداقل‌رسانی واریانس روش درون‌یابی کریجینگ باشد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اجرای نمونه‌گیری در سطح استان با استفاده از الگوی مشخص با به‌کارگیری روش‌هایی مانند اجرای الگوی fishnet در ArcGIS در محدوده کاربری تخصیص یافته به کشت برنج، می‌تواند سبب افزایش دقت درون‌یابی با روش زمین‌آمار گردد.

نتیجه‌گیری

رهیافت‌های زمین‌آمار و مبتنی بر سنجش از دور از روش‌های پرکاربرد در پیش‌بینی عملکرد در یک محدوده می‌باشند که می‌توانند نتایج کاربردی و مفیدی از موجودیت عملکرد در یک منطقه جهت اتخاذ سیاست‌گذاری کلان در تولید را فراهم نمایند. نتایج نشان داد که پایش عملکرد در سطح استان گیلان، می‌تواند اطلاعات مفیدی در جهت پیش‌بینی میزان عملکرد در کل استان را فراهم نماید. در مقایسه روش زمین‌آمار و روش-مدل‌های مبتنی بر سنجش از دور در پیش‌بینی عملکرد مزارع مشاهده شد که روش مبتنی بر سنجش از دور بر اساس نمونه‌گیری‌های انجام شده دقت بالاتری داشته است. روش زمین‌آمار و سنجش از دور دو روش متفاوت در برآورد یک متغیر در سطح بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده نقطه‌ای می‌باشد. روش زمین‌آمار روند تغییرات متغیر را بر اساس معادلات ریاضی پیش‌بینی می‌کند. این روند می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله تغییر آب و هوا، خصوصیات خاک مانند ماده آلی و حاصلخیزی و خصوصیات توپوگرافی قرار گیرد. همچنین استفاده از روش زمین‌آمار جهت اجرای یک درون‌یابی مطلوب نیازمند نمونه‌گیری بسیار منظم می‌باشد که اغلب با توجه به کمبود امکانات امکان‌پذیر نمی‌باشد. روش سنجش از دور را می‌توان از این حیث مورد توجه قرار داد. زیرا روش سنجش از دور با توجه بر مبتنی بر انعکاس امواج الکترومغناطیس بودن، دارای مزایایی از جمله امکان برآورد متغیرها در مناطق با دسترسی دشوار و عدم تأثیرپذیری از تغییرات محیطی می‌باشد. مزیت این دو رویه در مطالعات آگرواکولوژیک در این است که امکان تعمیم نتایج به شکل رسترهای پیوسته را در مقیاس وسیع فراهم می‌کنند و در نتیجه، استفاده از این اطلاعات را در مدل‌های مکان‌مند تصمیم‌سازی[1] ممکن می‌سازند. این روش‌ها به‌ویژه در شرایط که هدف مقایسه نسبت‌ها و یا استفاده از شاخص‌های نسبی باشد در مقایسه با شرایطی که هدف تعیین مطلق مقادیر یک کمیت باشد بسیار کارآمد هستند و می‌توانند در حوزه مطالعات آگرواکولوژیک راهگشا باشند.

پیش‌بینی پیش از موعد برداشت بر اساس اطلاعات مستخرج از این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از تصویر/تصاویر به‌دست آمده در ماه‌های خرداد و مرداد و سنجنده OLI ماهواره لندست-۸ در استان گیلان می‌تواند به‌عنوان مبنای پیش‌بینی‌های عملکرد این گیاه در سال‌های آتی مدنظر قرار گیرد. چنین مطالعاتی در استان گیلان، با توجه به سهم استان گیلان در تأمین برنج کشور، نقش مؤثری در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در خصوص عرضه و تقاضای برنج در سطوح کلان خواهد داشت. همچنین نتایج نشان داد که نمونه‌گیری انجام شده در محدوده مورد مطالعه بر اساس الگوی مکانی منظم (سیستماتیک) موجب افزایش دقت روش‌های زمین‌آمار در تخمین عملکرد منطقه‌ای خواهد شد. نتایج این طرح می‌تواند اطلاعات پایه مناسبی برای مطالعات دیگر از جمله بررسی میزان خلاء عملکرد، دلایل خلاء عملکرد، بررسی ارتباط تناسب اراضی با میزان عملکرد به‌دست آمده و پیش‌بینی و برآورد عملکرد در بازه زمانی مختلف را فراهم نماید.

References

Alizadeh Dehkordi, P., Nehbandani, A.R, Hassanpour-bourkheili, S., and Kamkar, B., 2020. Yield gap analysis using remote sensing and modeling approaches: Wheat in the Northwest of Iran. International Journal of Plant Production 1-10. https://doi.org/10.1007/s42106-020-00095-4

Azhirabi, R., Kamkar, B., and Abdi, O., 2019. Comparison of geostatistical interpolation models (kriging) to estimate soil

1- Spatial Decision Support Systems (SDSSs)

salinity and wheat yield (A case study: Army field of Aq Qala. Crop Production 12(1): 1-16. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22069/EJCP.2019.6955.1495

Badsar, M., 2014. Yield gap estimation in wheat fields using GIS, RS and SSM model (A case study: Qaresso basin, Gorgan distinct). M.Sc. Thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural, Iran. 95 p. (In Persian)

Balasundram, S.K., Memarian, H., and Khosla, R., 2013. Estimating oil palm yields using vegetation indices derived from Quickbird. Life Science Journal 10(4): 851-860

Bannari, A., Staenz, K., Haboudane, D., and Khurshid, K., 2006. Sensitivity analysis of chlorophyll indices to soil optical properties using ground-reflectance data. In: 2006 IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing (pp. 120-123). https://doi.org/10.1109/IGARSS.2006.36.

Baskent, E.Z., and Keles, S., 2005. Spatial forest planning: A review. Ecological Modeling 188(2-4): 145-173. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.01.059

Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F., and Koropaka, A.E., 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal 58: 1501-1511. https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x

Dente, L., Satalino, G., Mattia, F., and Rinaldi, M., 2008. Assimilation of leaf area index derived from ASAR and MERIS data into CERES-Wheat model to map wheat yield. Remote Sensing of Environment 112(4): 1395-1407. https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.05.023

Elvidge, C.D., and Chen, Z., 1995. Comparison of broad-band and narrow-band red and near-infrared vegetation indices. Remote Sensing of Environment 54(1): 38-48. https://doi.org/10.1016/0034-4257(95)00132-K

FAO. 2018. Food and Agricultural Organization of the United Nations (sited in: http://www,fao.org/index_en.htm/, 1/1/2020.

Fatemi, B., and Rezaei, Y., 2006. Basic of Remote Sensing. Azade publication. 257 p. (In Persian)

Ghasemi, M., 2011. Investigating Weed biodiversity in wheat fields of Gorgan County. M.Sc. Thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. 114 p. (In Persian with English Summary)

Goudarzi, M., Farahpour, M., and Mosavi, A.R., 2006. Land cover and rangeland classification map using Land sat satellite image (TM) (Case study) Namrood watershed. Rangeland and Desert Research 13(3): 265-277. (In Persian with English Summary)

Gutierrez, M., Norton, R., Thorp, K.R., and Wang, G., 2012. Association of spectral reflectance indices with plant growth and lint yield in upland cotton. Crop Science 52(2): 849-857. https://doi.org/10.2135/cropsci2011.04.0222

Huete, A.R., 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment 25: 295–309. https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X

Kazemi, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kamkar, B., Shataei, S., and Sadeghi, S., 2012. Evaluation of geostatistical methods for estimating and zoning of macronutrients in agricultural lands of Golestan province. Water Soil Science. 22(1): 201-218. (In Persian with English Summary)

Khosravi, R., Hemami, M.R. and Malekian, M., 2014. Comparison of geostatistical methods to determine the best bioclimatic data interpolation method for modeling species distribution in Central Iran. Iranian Journal of Applied Ecology 3(8): 55-68. (In Persian with English Summary) 20.1001.1.24763128.1393.3.8.5.5

Kim, Y., Jackson, T., Bindlish, R., Hong, S., Jung, G., and Lee, K., 2013. Retrieval of wheat growth parameters with radar vegetation indices. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters 11(4): 808-812. https://doi.org/10.1109/LGRS.2013.2279255

Kim, Y., and Van Zyl, J., 2009. A time-series approach to estimate soil moisture using polarimetric radar data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 47: 2519-2527. https://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2014944

Koppe, W., Gnyp, M., Hutt, C., Yao, Y., Miao, Y., Chen, X., and Bareth, G., 2013. Rice monitoring with multitemporal and dualpolarimetric TerraSAR-X data.International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 21: 568-576. https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.07.016

Liu, Z., Zhou, W., Shen, J., He, P., Lei, Q., and Liang, G., 2014. A simple assessment on spatial variability of rice yield and selected soil chemical properties of paddy fields in South China. Geoderma 235: 39-47. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.06.027

Lobell, D.B., 2013. The use of satellite data for crop yield gap analysis. Field Crops Research 143: 56-64. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.08.008

Ma, J.W., Nguyen, C.H., Lee, K., and Heo, J., 2019. Regional-scale rice-yield estimation using stacked auto-encoder with climatic and MODIS data: A case study of South Korea. International Journal of Remote Sensing 40(1): 51-71. https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1488291

Mo, X., Liu, S., Lin, Z., Xu, Y., Xiang, Y., and McVicar, T.R., 2005. Prediction of crop yield, water consumption and water use efficiency with a SVAT-crop growth model using remotely sensed data on the North China Plain. Ecological Modelling 183(2): 301-322. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.07.032

Mohammadi Ahmad Mahmoudi, E., Kamkar, B., and Abdi, O., 2015. Comparison of geostatistical- and remote sensing data-based methods in wheat yield prediction in some of growing stages (A case study: Nemooneh filed, Golestan province). Crop Production 8(2): 51-76. (In Persian with English Summary). 20.1001.1.2008739.1394.8.2.3.5

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A.R., and Jahani, M., 2016. Estimating within field variability of wheat yield using spatial variables: An approach to precision agriculture. Journal of Agroecology 8(3): 329-345. (In Persian with English Summary) https://doi.org/10.22067/jag.v8i3.34502

Pourhadian, H., Kamkar, B., Soltani, A., and Mokhtarpour, H., 2019. Evaluation of forage maize yield gap using an integrated crop simulation model-satellite imagery method (Case study: Four watershed basins in Golestan Province). Archives of Agronomy and Soil Science 65(2): 253-268. https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1493579

Rahmat, S.R., Firdaus, R.R., Shaharudin, S.M., and Ling, L.Y., 2019. Leading key players and support system in Malaysian paddy production chain. Cogent Food and Agriculture 5(1): 1708682. https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1708682

Raziei, T., 2017. Köppen-Geiger climate classification of Iran and investigation of its changes during 20th century. Earth and Space Physics 43: 419-439. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22059/JESPHYS.2017.58916

Ren, H., Zhou, G., and Zhang, F., 2018. Using negative soil adjustment factor in soil-adjusted vegetation index (SAVI) for aboveground living biomass estimation in arid grasslands. Remote Sensing of Environment 209: 439-445. https://doi.org/10.3390/s21062115

Rezaei Hossein Abad, A.R., 2013. An Investigation on the relationship between soil nutrients and wheat yield using Geographic Information Systems (GIS). M.Sc. Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. 71 p. (In Persian with English Summary)

Sanaienejad, S.H., Shah Tahmasbi, A.R., Sadr Abadi Haghighi, R., and Kelarestani, K.A., 2008. Study of spectral reflection on wheat fields in Mashhad using MODIS data. Journal of Water and Soil Science 12(45):11-19. (In Persian with English Summary) 20.1001.1.24763594.1387.12.45.2.9

SAS Institute., 2015. Base SAS 9.4 procedures guide. SAS Institute. www.sas.com

Shi, H., and Xingguo, M., 2011. Interpreting spatial heterogeneity of crop yield with a process model and remote sensing. Ecological Modeling 222(14): 2530-2541. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.11.011

Simoes, M.D.S., Rocha, J.V., and Lamparelli, R.A.C., 2005. Spectral variables, growth analysis and yield of sugarcane. Scientia Agricola 62(3): 199-207. https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000300001

Siyal, A.A., Dempewolf, J., and Becker-Reshef, I., 2015. Rice yield estimation using Landsat ETM+ Data. Journal of Applied Remote Sensing 9: 1-16. https://doi.org/10.1117/1.JRS.9.095986

Tesfahunegn, G.B., Tamene, L., and Vlek, P.L.G., 2011. Catchment-scale spatial variability of soil properties and implications on site-specific soil management in northern Ethiopia. Soil Tillage Research 117: 124–139. https://doi.org/10.1016/j.still.2011.09.005

Utset, A., Lopez, T., and Diaz, M., 2000. A comparison of soil maps, kriging and a combined method for spatially prediction bulk density and field capacity of Ferralsols in the Havana-Matanaz Plain. Geoderma 96(3): 199-213. https://doi.org/10.1016/S0016-7061(99)00055-5

Wang, J., Dai, Q., Shang, J., Jin, X., Sun, Q., Zhou, G., and Dai, Q., 2019. Field-scale rice yield estimation using Sentinel-1A Synthetic Aperture Radar (SAR) data in coastal saline region of Jiangsu province, China. Remote Sensing 11(19): 2274. https://doi.org/10.3390/rs11192274

Webster, R., and Oliver, M., 2001. Geostatistics for Environmental Scientists. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, 271 p.

Yaghouti, H., Pazira, E., Amiri, E., and Masihabadi, M.H., 2019. The feasibility of using vegetation indices and soil texture to predict rice yield. Polish Journal of Environmental Studies 28(4). DOI: https://doi.org/10.15244/pjoes/81088

Zarco-Tejada, P.J., Ustin, S.L., and Whiting, M.L., 2005. Temporal and spatial relationships between within-field yield variability in cotton and high-spatial hyperspectral remote sensing imagery. Agronomy Journal 97(3): 641-653. https://doi.org/10.2134/agronj2003.0257

Zhu, Y., Yao, X., Tian, Y., Liu, X., and Cao, W., 2008. Analysis of common canopy vegetation indices for indicating leaf nitrogen accumulations in wheat and rice. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 10(1): 1-10. https://doi.org/10.1016/j.jag.2007.02.006

Zolekar, R.B., and Bhagat, V.S., 2015. Multi-criteria land suitability analysis for agriculture in hilly zone: Remote sensing and GIS approach. Computers and Electronics in Agriculture 118: 300-321. https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.09.016

Contents

Evaluation of Density, Dry Weight and Biodiversity of Weeds in Row Intercropping of Lettuce (*Lactuca sativa* var. capitata L.) and Alyssum (*Lobularia maritima* (L.) Desv.) 379
M.H. Hatefi Farajian, A. Koocheki and M. Nassiri Mahallati

The Ecological Footprint of Students for the Campus of Ferdowsi University of Mashhad (FUM) 399
A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati and M. Javadi

Study on Tillage Systems and Residue Management Application on Yield and Yield Components of Wheat (*Triticum aestivum* L.) in Mashhad Condition 415
E. Ebrahimian, A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati, S. Khorramdel and A. Beheshti

Assessing the Energy Components and the Environmental Impacts of the Different Rice (*Oryza sativa* L.) Production Systems using Life Cycle Assessment (LCA) Method in Mazandaran 429
Z. Saber, M.A. Esmaeili, H. Pirdashti, A. Motevali and A. Nabavi-Pelesaraei

Evaluation of the Efficiency of Animal Manures in the Production of Thyme (*Thymus daenensis* L.) 449
A. Ghanbari Odivi, S. Fallah, Z. Lorigooini and M. Karimi

Agronomic and Economic Evaluation of Intercropping Systems of Barley (*Hordeum vulgare*) with Two Medicinal Plants, Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) and Garlic (*Allium sativum*) 467
Y. Esmaeilian, M. Eshghizadeh and A. Tavassoli

Effects of Nitroxin Biofertilizer on Morpho-Physiological Characteristics of Blackseed (*Nigella sativa* L.) Ecotypes under Drought Stress 485
Z. Saydi, N. Abbasi, M.J. Zarea and B. Zarei

Application of Multivariate Statistical Techniques for Determining of Affecting Factors in Water Use Efficiency of Maize (*Zea mays* L.) under Conditions of Simultaneous Application of Nitrogen and Ecofriendly Inputs 509
M. Jahan, M.B. Amiri, M. Salehabadi, N. Naseri and S. Abbasi

The Effect of Mycorrhizal Fungus, Humic Acid and Vermicompost on Biochemical and Yield Properties of *Silybum marianum* 531
F. Nikkhah Naeeni, A. Ladan Moghadam, P. Moradi, V. Abdoosi and M. Rezaei

Study of Agro-Morphological and Phytochemical Traits of Purple Perilla (*Perilla frutescens* var. Crispa) Grown in Three Locations 549
M. Eidvazaee, A. Alizadeh, S. Nejadebrahimi, A. Sahraroo, M.H. Mirjalili and J. Hadian

Evaluation of Biochar Application with Organic and Biological Fertilizers on the Quantity and Quality of Peppermint (*Mentha piperita* L.) Essential Oil in Ecological Agriculture 561
F. Zaefarian, V. Akbarpour, M. Kaveh and M. Habibi

Comparison of Geostatistical Method and Remote Sensing in Estimating Rice (*Oryza sativa* L.) Grain Yield in Guilan Province 579
P. Aalaee Bazkiaei, B. Kamkar, E. Amiri, H. Kazemi and M. Rezaei

Journal of Agroecology (Quarterly)

Vol. 14 No. 3 Fall 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

Prof. Mohammad Pessarakli, Research Professor, School of Plant Sciences, the University of Arizona

Dr. Surur Khorramdel, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Adel Dabagh Mohammadi Nasab, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

Prof. Mehdi Rastgoo, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Parviz Rezvani Moghaddam, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Ahmad Zare Fazabadi, Agricultural Research Institute of Khorasan Razavi

Prof. Saeed Zehtab Salmasi, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

Dr. Hamid Shahandeh Research Soil Scientist, Soil and Crop Sciences Department, Texas A & M University

Prof. Reza Ghorbani, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Alireza Koocheki, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Mohammad Galavi, Faculty of Agriculture, Zabol University

Prof. Mehdi Nassiri Mahallati, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Publisher: Ferdowsi University of Mashhad Press
Address: Journal of Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad,
P.O. Box: 91775-1163, Mashhad, Iran
Tel: +98-51– 38804654
Fax: +98–51–38787430
Email: agroecology@um.ac.ir
Web site: http://agry.um.ac.ir

Ferdowsi University of Mashhad

Journal of Agroecology (Quarterly)

Vol. 14 No. 3

Fall 2022

ISSN: 2008-7713

Contents

Evaluation of Density, Dry Weight and Biodiversity of Weeds in Row Intercropping of Lettuce (*Lactuca sativa* var. capitata L.) and Alyssum (*Lobularia maritima* (L.) Desv.) 379
M.H. Hatefi Farajian, A. Koocheki and M. Nassiri Mahallati

The Ecological Footprint of Students for the Campus of Ferdowsi University of Mashhad (FUM) 399
A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati and M. Javadi

Study on Tillage Systems and Residue Management Application on Yield and Yield Components of Wheat (*Triticum aestivum* L.) in Mashhad Condition 415
E. Ebrahimian, A. Koocheki, M. Nassiri Mahallati, S. Khorramdel and A. Beheshti

Assessing the Energy Components and the Environmental Impacts of the Different Rice (*Oryza sativa* L.) Production Systems using Life Cycle Assessment (LCA) Method in Mazandaran 429
Z. Saber, M.A. Esmaeili, H. Pirdashti, A. Motevali and A. Nabavi-Pelesaraei

Evaluation of the Efficiency of Animal Manures in the Production of Thyme (*Thymus daenensis* L.) 449
A. Ghanbari Odivi, S. Fallah, Z. Lorigooini and M. Karimi

Agronomic and Economic Evaluation of Intercropping Systems of Barley (*Hordeum vulgare*) with Two Medicinal Plants, Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) and Garlic (*Allium sativum*) 467
Y. Esmaeilian, M. Esfahizadeh and A. Tavassoli

Effects of Nitroxin Biofertilizer on Morpho-Physiological Characteristics of Blackseed (*Nigella sativa* L.) Ecotypes under Drought Stress 485
Z. Sayedi, N. Abbasi, M.J. Zarea and B. Zarei

Application of Multivariate Statistical Techniques for Determining of Affecting Factors in Water Use Efficiency of Maize (*Zea mays* L.) under Conditions of Simultaneous Application of Nitrogen and Ecofriendly Inputs 505
M. Jahan, M.B. Amiri, M. Salehabadi, N. Naseri and S. Abbasi

The Effect of Mycorrhizal Fungus, Humic Acid and Vermicompost on Biochemical and Yield Properties of *Silybum marianum* 531
F. Nikkhah Naeeni, A. Ladan Moghadam, P. Moradi, V. Abdoosi and M. Rezaei

Study of Agro-Morphological and Phytochemical Traits of Purple Perilla (*Perilla frutescens* var. Crispa) Grown in Three Locations 549
M. Eidvazeer, A. Alizadeh, S. Nejadebrahimi, A. Sabzalian, M.H. Mirjalili and J. Hadian

Evaluation of Biochar Application with Organic and Biological Fertilizers on the Quantity and Quality of Peppermint (*Mentha piperita* L.) Essential Oil in Ecological Agriculture 561
F. Zaefarian, V. Akbarpour, M. Kaveh and M. Habibi

Comparison of Geostatistical Method and Remote Sensing in Estimating Rice (*Oryza sativa* L.) Grain Yield in Guilan Province 579
P. Aalaee Bazkiaei, B. Kamkar, E. Amiri, H. Kazemi and M. Rezaei