



عنوان مقالات

- اثر مصرف تلفیقی مقادیر مختلف بیوجار و کاربرد خاکی گوگرد معمولی و محلول پاشی نانوگوگرد بر عملکرد و اجزاء عملکرد و برخی خصوصیات فیتوشیمیایی مرزه (*Satureja hortensis* L.) ۴۳۳
وحید محمدزاده کاخکی، محمد حسین امینی فرد و محمد بهزاد امیری
- ارزیابی بقایای گیاهان برنج (*Oryza sativa* L.)، لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.)، شوید (*Anethum graveolens* L.) و بادمجان (*Solanum melongena* L.) بر ویژگی‌های خاک در زراعت بدون نهاده شیمیایی ذرت (*Zea mays* L.) ۴۴۱
عین‌اله حسامی و محسن جهان
- بررسی شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) با نخود (*Cicer arietinum* L.)، عدس (*Lens culinaris* Medik.) و خلر (*Lathyrus sativus* L.) ۴۶۵
امین یاری، فرزاد مندی، علیرضا باقری و حمید چقازردی
- فرا تحلیل اثر مقادیر مختلف کودهای دامی، شیمیایی (نیترژن) و زیستی بر برخی صفات کمی و کیفی آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) ۴۸۰
حوا محمودی اصل، محمود مختاری، رضا صدرآبادی حقیقی و مهدی الهی ترشیزی
- بررسی عملکرد و اجزاء عملکرد اکوتیپ‌های مختلف زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) تحت تأثیر تنش خشکی ۴۹۵
وحید بدرافشان، فرزاد پاک‌نژاد، حمید رضا فنایی، داود حبیبی و مرتضی سیاوشی
- ارزیابی خشک‌سالی کشاورزی با استفاده از داده‌های سنجش ازدور (مطالعه موردی: شهرستان تویسرکان) ۵۱۵
ماتده مالمیر، کامران شایسته و ایمان پژوهان
- پاسخ خصوصیات زراعی و عملکرد گیاه سیر (*Allium sativum* L.) به سطوح مختلف تراکم کاشت و تغذیه ۵۳۵
هادی خاوری و مسعود رفیعی
- ارزیابی زراعی- بوم‌شناختی اراضی شهرستان بهشهر جهت کشت عدس (*Lens culinaris* Medik.) ۵۵۵
کریم ریاحی، حسین کاظمی، افشین سلطانی و فردین صادق زاده
- تأثیر بقایای گیاهی گندم و ورمی کمپوست بر ویژگی‌های کیفی علوفه ذرت (*Zea mays* L.) و حاصلخیزی خاک ۵۷۱
حسنعلی یوراسماعیل، مهدی دهمرده و احمد قنبری

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

- ۴۲۳ اثر مصرف تلفیقی مقادیر مختلف بیوجار و کاربرد خاکی گوگرد معمولی و محلول پاشی نانوگوگرد بر عملکرد و اجزاء عملکرد و برخی خصوصیات فیتوشیمیایی مرزه (*Satureja hortensis* L.)
وحید محمدزاده کاخکی، محمد حسین امینی فرد و محمد بهزاد امیری
- ۴۴۱ ارزیابی بقایای گیاهان برنج (*Oryza sativa* L.)، لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.)، شوید (*Anethum graveolens* L.) و بادمجان (*Solanum melongena* L.) بر ویژگی های خاک در زراعت بدون نهاده شیمیایی ذرت (*Zea mays* L.)
عین اله حسامی و محسن جهان
- ۴۶۵ بررسی شاخص های سودمندی کشت مخلوط گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) با نخود (*Cicer arietinum* L.)، عدس (*Lens culinaris* Medik.) و خلر (*Lathyrus sativus* L.)
امین یاری، فرزاد مندنی، علیرضا باقری و حمید چقازردی
- ۴۸۰ فراتحلیل اثر مقادیر مختلف کودهای دامی، شیمیایی (نیتروژن) و زیستی بر برخی صفات کمی و کیفی آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.)
حوا محمودی اصل، محمود مختاری، رضا صدرآبادی حقیقی و مهدی الهی ترشیزی
- ۴۹۵ بررسی عملکرد و اجزاء عملکرد اکوتیپ های مختلف زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) تحت تأثیر تنش خشکی
وحید بذرافشان، فرزاد پاک نژاد، حمید رضا فنایی، داود حبیبی و مرتضی سیاوشی
- ۵۱۵ ارزیابی خشک سالی کشاورزی با استفاده از داده های سنجش ازدور (مطالعه موردی: شهرستان تویسرکان)
مائده المیر، کامران شایسته و ایمان پژوهان
- ۵۳۵ پاسخ خصوصیات زراعی و عملکرد گیاه سیر (*Allium sativum* L.) به سطوح مختلف تراکم کاشت و تغذیه
هادی خاوری و مسعود رفیعی
- ۵۵۵ ارزیابی زراعی - بوم شناختی اراضی شهرستان بهشهر جهت کشت عدس (*Lens culinaris* Medik.)
کریم ریاحی، حسین کاظمی، افشین سلطانی و فردین صادق زاده
- ۵۷۱ تأثیر بقایای گیاهی گندم و ورمی کمپوست بر ویژگی های کیفی علوفه ذرت (*Zea mays* L.) و حاصلخیزی خاک
حسنعلی پوراسماعیل، مهدی دهمرده و احمد قنبری



Effect of Simultaneous Use of Different Amounts of Biochar and Soil Application of Common Sulfur and Spraying of Nanosulfur on Yield and Yield Components and Some Phytochemical Characteristics of Savory (*Satureja hortensis* L.)

Vahid Mohammadzadeh Kakhki¹, Mohammad Hossein Aminifard² and Mohammad Behzad Amiri^{3*}

- 1- M.Sc. Graduate, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
 - 2- Associate Professor, Department of Special Plants, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
 - 3- Associate Professor, Department of Plant Production, University of Gonabad, Gonabad, Iran.
- (* - Corresponding author's Email: amiri@gonabad.ac.ir)

Received: 30-05-2023
Revised: 26-07-2024
Accepted: 01-09-2024
Available Online: 01-09-2024

How to cite this article:

Mohammadzadeh Kakhki, V., Aminifard, M. H., & Amiri, M. B. (2024). Effect of simultaneous use of different amounts of biochar and soil application of common sulfur and spraying of nanosulfur on yield and yield components and some phytochemical characteristics of savory (*Satureja hortensis* L.). *Journal of Agroecology*, 16(3), 421- 438. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/agry.2024.82686.1155>

Introduction

Savory (*Satureja hortensis* L.) is an annual aromatic medicinal plant belonging to the Lamiaceae family. Its essential oil is used widely in medicine, food, health industries, and therapeutic processes. Additionally, the essential oil is an important part of traditional medicine to treat muscle pains, indigestion and diarrhea and infection diseases. Also, the relatively high vitamin C and vitamin A content of savory may contribute to long-term health by boosting the natural state of the human immune system. Biochar is a solid material formed by high-temperature charring of biomass under anaerobic conditions. It has a large specific surface area, high porosity, and abundant nutrients, such as nitrogen, potassium, and calcium. As a result of these properties, applying biochar as an organic soil amendment has been considered as an option to improve agricultural systems. The great potential of biochar application has also been directly reflected in plant growth and crop productivity. Biochar can potentially remediate salt-affected soils through salt sorption. Specifically, biochar sorption of Na^+ in the soil solution can both reduce plant Na uptake and increase the relative uptake of Ca^{2+} and Mg^{2+} . More broadly, biochar can generally enhance plant growth by improving soil properties, such as cation-exchange capacity (CEC), water retention capacity, and bulk density. Biochar can reduce fertilizer and water use by increasing the soil CEC and water-holding capacity (WHC). Using sulfur (especially in soil with low sulfur content) improves soil properties and increases plant growth and yield. The biochemical oxidation of elemental sulfur produces sulfuric acid (H_2SO_4), which decreases soil pH and solubilizes CaCO_3 in alkaline soils to make soil conditions more favorable for plant growth. Sulfur is a part of an enzyme necessary for nitrogen absorption. Its deficiency can significantly hinder nitrogen metabolism, as sulfur and nitrogen are required to form amino acids essential for protein synthesis. Sulfur is also present in fatty acids and vitamins, playing a key role in crops' quality, taste, and aroma. Nano-fertilization is an agricultural technique that enhances



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

 <https://doi.org/10.22067/agry.2021.82686.1155>

crop growth, improves nutrient efficiency, and reduces fertilizer waste and costs. It promotes better crop development by providing more surface area for various metabolic reactions, thereby increasing the rate of photosynthesis and overall crop productivity while preventing biotic and abiotic stress.

Material and Methods

To evaluate the combined application of ecological inputs, specifically biochar and sulfur nutritional treatments, on the medicinal plant savory (*Satureja hortensis* L.), a split-plot experiment based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications was conducted over the 2020-2021 and 2021-2022 growing seasons at the Research Field of the University of Gonabad, Iran. The data were analyzed using composite analysis. Different biochar levels (5, 10, and 20 t.ha⁻¹, plus a control) and sulfur nutritional treatments (common sulfur, nano-sulfur, and control) were assigned to the main and subplots, respectively.

Results and Discussion

The results of this study showed that the highest and lowest seed number per m² and flowering shoot weight were obtained in treatments of 20 t.ha⁻¹ biochar and spraying of nanosulfur (with 27777 seeds per m² and 25.67 g flowering shoot, respectively) and non-application of biochar and control (with 8024 seeds per m² and 6.24 g flowering shoot, respectively). The results of triple interaction effects of different amounts of biochar, nutritional treatments, and cropping year showed that the highest seed yield (10.74 g.m²) and biological yield (46.91 g.m²) were observed in the first cropping year and treatments of simultaneous application of 20 t.ha⁻¹ biochar and spraying of nanosulfur. The interaction effects of biochar and nutritional treatments showed that the highest oil was obtained in the treatment of 10 t.ha⁻¹ biochar and soil application of common sulfur. The total phenol, flavonoid content, and antioxidant activity decreased with the simultaneous application of biochar and sulfur nutritional treatments. The highest levels of these traits were observed when no biochar was applied in combination with the nutritional treatments.

Conclusion

In general, according to the findings of this research, the simultaneous application of high amounts of biochar (levels of 10 and 20 t.ha⁻¹) and sulfur nutritional treatments, especially spraying of nano-sulfur, led to improved yield and yield components, but the qualitative characteristics of savory were reduced due to the combined use of these ecological inputs.

Acknowledgments

This research was financially supported by the University of Birjand, Iran.

Keywords: Biochar, Ecofriendly input, Flowering branch, Medicinal plant, Nano-fertilizer, Total phenol

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۴۳۸-۴۲۱

اثر مصرف تلفیقی مقادیر مختلف بیوچار و کاربرد خاکی گوگرد معمولی و محلول پاشی
نانوگوگرد بر عملکرد و اجزاء عملکرد و برخی خصوصیات فیتوشیمیایی مرزه (*Satureja hortensis* L.)

وحید محمدزاده کاخکی^۱، محمد حسین امینی فرد^۲ و محمد بهزاد امیری^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۱

چکیده

استفاده بی‌رویه از نهاده‌های شیمیایی مخاطرات زیادی برای سلامت انسان و دام به همراه داشته و آلودگی‌های زیست‌محیطی بسیاری در پی داشته است و از این رو، ضرورت استفاده از نهاده‌های بوم‌سازگار و جایگزین کودهای شیمیایی بیش از هر زمان دیگری احساس می‌شود. به منظور بررسی کاربرد همزمان نهاده‌های اکولوژیک بیوچار و تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی در گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.)، آزمایشی طی دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی گناباد، بر پایه طرح کرت‌های خردشده با سه تکرار انجام و داده‌ها به صورت تجزیه مرکب آنالیز شد. سه سطح کود آلی بیوچار (شامل ۵، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار) و شاهد (عدم استفاده از بیوچار)، در کرت‌های اصلی، و کاربرد خاکی گوگرد، محلول پاشی نانوگوگرد و شاهد (عدم استفاده از گوگرد) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. صفات مورد مطالعه شامل تعداد بذر در بوته، وزن سرشاخه گلدار، عملکرد بذر، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، میزان اسانس، فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی بود که در قالب یک چین برداشت شدند. نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین و کمترین تعداد بذر در مترمربع و وزن سرشاخه گلدار به ترتیب در تیمارهای مصرف ۲۰ تن در هکتار بیوچار و محلول پاشی نانوگوگرد (به ترتیب با ۲۷۷۷۷ بذر در مترمربع و ۲۵/۶۷ گرم سرشاخه گلدار) و عدم کاربرد بیوچار و شاهد (به ترتیب با ۸۰۲۴ بذر در مترمربع و ۶/۲۴ گرم سرشاخه گلدار) به دست آمد. نتایج اثرات متقابل سه گانه مقادیر مختلف بیوچار، تیمارهای تغذیه‌ای و سال زراعی نشان داد که بیشترین عملکرد بذر (۱۰/۷۴ گرم در مترمربع) و عملکرد بیولوژیک (۴۶/۹۱ گرم در مترمربع) زمانی حاصل شد که در سال زراعی اول به طور همزمان ۲۰ تن در هکتار بیوچار و محلول پاشی نانوگوگرد مورد استفاده قرار گرفت. نتایج اثرات متقابل مقادیر مصرفی بیوچار و تیمارهای تغذیه‌ای نشان داد که بیشترین میزان اسانس در تیمار کاربرد همزمان ۱۰ تن در هکتار بیوچار و مصرف خاکی گوگرد معمولی به دست آمد. میزان فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی تحت تأثیر استفاده همزمان مقادیر بیوچار و تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی کاهش یافت، به طوری که بیشترین میزان این صفات زمانی حاصل شد که از هیچ مقدار زغال زیستی به صورت توأم با تیمارهای تغذیه‌ای استفاده نگردید. به طور کلی، با توجه به یافته‌های این پژوهش، کاربرد همزمان مقادیر بالای بیوچار (سطوح ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار) و تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی به ویژه محلول پاشی نانوگوگرد منجر به بهبود عملکرد و اجزاء عملکرد مرزه شد، ولی ویژگی‌های کیفی این گیاه در صورت عدم استفاده از نهاده‌های خارجی از وضعیت بهتری برخوردار بود.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۲- دانشیار، گروه باغبانی و مرکز پژوهشی گیاهان ویژه منطقه، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۳- دانشیار، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران.

(*)- نویسنده مسئول: (Email: amiri@gonabad.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/agry.2024.82686.1155>

واژه‌های کلیدی: زغال زیستی، سرشاخه گلدار، فنل کل، گیاه دارویی، نانوکود، نهاده بوم‌سازگار

مقدمه

کود آلی بیوپار در راستای نیل به اهداف کشاورزی پایدار عمل کرده و روشی ایده‌آل برای بازیافت ضایعات و پسماندهای مختلف کشاورزی محسوب می‌شود و ضمن در اختیار گذاشتن مواد غذایی، کیفیت خاک را افزایش و سمیت نمک در گیاهان را کاهش می‌دهد. بیوپار، یک ماده جامد غنی از کربن است که از طریق فرآیند پیرولیز (فرآیند تجزیه حرارتی کنترل‌شده) در شرایط بدون اکسیژن تولید می‌شود و قابلیت ماندگاری زیادی در خاک دارد و از مزایایی همچون تخلخل زیاد و ظرفیت تبادل کاتیونی بالا برخوردار است و می‌تواند سمیت نمک در خاک‌های خشک و نیمه‌خشک را کاهش دهد و این کود، همچنین در تثبیت آلاینده‌های آلی و معدنی نیز نقش مهمی ایفا می‌کند (Ghassemi-Golezani & Rahimzadeh, 2022). کاربرد بیوپار در خاک، با توجه به افزایش حضور گروه‌های عاملی کربوکسیل، فنولیک و هیدروکسیل که دارای اکسیژن‌های سطحی هستند، قادر است آلاینده‌گی حاصل از عناصر سنگین را کاهش و موجب بهبود وضعیت رشدی گیاه شود (Enaime et al., 2020). هزینه کود بیوپار نسبتاً پایین بوده و به‌دلیل عاری بودن از بذور علف‌های هرز و برخورداری از عناصر غذایی، خرید آن مقرون‌به‌صرفه است. در یک پژوهش، کاربرد همزمان بیوپار و سوپرچاد بر خصوصیات کیفی مرزه رشینگری (*Satureja rechingeri* Jamzad.) بررسی و بیشترین میزان کارواکرول، گاما-تریپنین و لینالول در تیمار کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوپار و ۶۰ میلی‌گرم سوپرچاد به‌ازای هر بوته مشاهده شد (Beiranvandi et al., 2020). در پژوهشی دیگر، اثر مقادیر مختلف بیوپار بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد گیاه دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) در شرایط تنش خشکی بررسی و گزارش شد که کاربرد بیوپار منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک و میزان کلروفیل a نسبت به شاهد شد و به‌طور کلی، استفاده از این نهاده آلی در تخفیف اثرهای منفی ناشی از تنش خشکی مفید بود (Emami, 2022). مهدی‌زاده و همکاران (Mehdizadeh et al., 2019) پس از بررسی اثر بیوپار بر خصوصیات رشدی و نسبت پتاسیم به سدیم مرزه تابستانه تحت تنش شوری به این نتیجه رسیدند که بیشترین ارتفاع

بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد گره، قطر ساقه، وزن تر و خشک ساقه و وزن تر و خشک برگ در تیمار کاربرد دو درصد وزنی خاک هر گلدان بیوپار بدون شوری مشاهده شد و بیوپار با جذب یون‌های نمک سبب بهبود صفات رشدی در تیمارهای شوری گردید. در پژوهشی دیگر، کاربرد سه درصد وزنی خاک هر گلدان بیوپار منجر به تولید بیشترین عملکرد اقتصادی، میزان اسانس و کارواکرول مرزه خوزستانی (*Satureja khuzistanica* Jamzad.) در شرایط شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر شد (Eghlima et al., 2024).

گوگرد نقش مهمی در فرآیندهای متابولیسمی گیاه دارد و برای سنتز پروتئین‌های گیاهی، اسیدهای آمینه و برخی ویتامین‌ها و آنزیم‌ها ضروری است. اکثر کودهای گوگردی حاوی نیتروژن هم هستند که این مسئله نشان‌دهنده ارتباط نزدیک این دو عنصر با یکدیگر و فعالیت تعدادی از آنزیم‌های فعال در جذب نیتروژن به وجود گوگرد وابسته است و گوگرد به‌طور قابل توجهی بر کیفیت و طعم و عطر محصولات زراعی اثر می‌گذارد (Narayan et al., 2022). استفاده از نانوکودها یکی از مؤثرترین روش‌های بهبود رشد گیاهان و افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و کاهش ضایعات کشاورزی است و هزینه‌های تولید محصولات زراعی در نتیجه استفاده بی‌رویه کودهای شیمیایی را به‌شدت کاهش می‌دهد. نانوکود گوگرد از طریق بهبود فعالیت‌های متابولیسمی گیاه، میزان فتوسنتز و در نتیجه، عملکرد کمی و کیفی گیاه را افزایش داده و اثرات مخرب تنش‌های زنده و غیرزنده روی محصول را به حداقل می‌رساند (Shankar et al., 2020). در پژوهشی الموسوی و جمیل (Almousswi & Jameel, 2022) گزارش کردند که استفاده از گوگرد معمولی و محلول‌پاشی نانگوگرد کلیه صفات مورد مطالعه (نظیر ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن خشک) در گیاه دارویی تره کوهی (*Allium ampeloprasum* L.) را نسبت به شاهد افزایش داد که البته از این نظر کاربرد نانگوگرد نسبت به گوگرد معمولی نقش مؤثرتری در بهبود خصوصیات کمی و کیفی گیاه ایفا کرد. کاربرد همزمان هشت میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک آهن و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گوگرد منجر به تولید بیشترین میزان فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی در مرزه تابستانه شد (Zahedifar & Najafian, 2015). در پژوهشی دیگر،

۴۵ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۰۶۰ متر از سطح دریا، بر پایه طرح کرت های خردشده با سه تکرار انجام و داده ها به صورت تجزیه مرکب شد. در هر دو سال زراعی، سه سطح کود آلی بیوپار (شامل ۵، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار) و شاهد (عدم استفاده از بیوپار)، در کرت های اصلی و کاربرد خاکی گوگرد، محلول پاشی نانو گوگرد و شاهد (عدم استفاده از گوگرد) در کرت های فرعی قرار گرفته و اعمال شدند. ابعاد کرت های اصلی ۲ × ۶ متر و ابعاد کرت های فرعی ۲ × ۲ متر در نظر گرفته شد. اطلاعات هواشناسی منطقه مورد پژوهش به تفکیک سال های زراعی در جدول ۱ آورده شده است.

قبل از شروع آزمایش های مزرعه ای، به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک نمونه برداری انجام گرفت. نتایج مربوط به خصوصیات خاک و همچنین بیوپار استفاده شده در جدول ۲ آورده شده است.

به منظور حفظ پایداری خاک، جهت آماده سازی زمین، تنها عملیات دیسک زنی با تأکید بر خاکورزی حداقل در نظر گرفته شد و کلیه مراحل بعدی توسط کارگر و با بیل دستی انجام شد. با توجه به کودی بودن ماهیت تیمارها و جلوگیری از اختلاط تیمارها با هم، برای هر بلوک آزمایشی یک لوله آبیاری و پساب جداگانه در نظر گرفته شد.

بذرهای مرزه با منشاء توده ای گناباد از مزارع شهرستان گناباد تهیه و نیمه اردیبهشت ماه سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در ردیف هایی به فاصله ۳۵ سانتی متر و با فاصله روی ردیف ۳۵ سانتی متر از یکدیگر (Mohammadpour et al., 2013) کشت شدند. مقادیر مختلف کود آلی بیوپار بسته به تیمار مورد نظر، قبل از کاشت به خاک کرت های مربوطه اضافه گردید. برای اعمال خاکی گوگرد، میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار (Shahrusvand et al., 2019) گوگرد به خاک کرت های مربوطه افزوده شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت به روش نشتی انجام شد و آبیاری های بعدی به فاصله هر هفت روز یکبار اعمال گردید. محلول پاشی نانو گوگرد طی دو مرحله و در مرحله چهار تا شش برگی و مرحله قبل از گل دهی انجام شد. برای رسیدن به تراکم مطلوب (هشت بوته در مترمربع) (Mohammadpour et al., 2013)، پس از رسیدن گیاه به مرحله چهار برگی، عملیات تنک انجام گرفت. به منظور کنترل علف های هرز، سه نوبت وجین دستی به ترتیب ۳۰، ۴۵ و ۶۰ روز پس از کاشت انجام شد. برای آماده سازی زمین و در طول دوره رشد، هیچ گونه علف کش، آفت کش و قارچ کش شیمیایی

بیشترین عملکرد اسانس گیاه دارویی نعناع وحشی (*Mentha arvensis* L. زمانی حاصل شد که از کاربرد همزمان کودهای شیمیایی (NPK) (۴۰:۶۰:۱۵۰)، ۲۵ کیلوگرم در هکتار روی و ۲۵ کیلوگرم در هکتار گوگرد استفاده شد (Deepak et al., 2019).

مرزه گیاه دارویی یک ساله و متعلق به خانواده نعنائیان^۱ و بزرگترین تولیدکننده آن کشور چین است. از برگ های این گیاه برای تهیه دمنوش استفاده شده و اسانس آن در صنایع عطرسازی کاربرد فراوان دارد و از این گیاه به عنوان طعم دهنده غذا و برای مصارف دارویی نظیر رفع مشکلات گوارشی و درمان بیماری های عفونی و گرفتگی عضلات، استفاده شده (Sanbongi et al., 2003) و به دلیل وجود ترکیبات آنتی اکسیدانی دارای خاصیت ضدباکتریایی و ضد میکروبی بوده و آرام بخش است. این گیاه همچنین در صنایع غذایی و تولید نوشیدنی کاربردهای گسترده اقتصادی دارد و از این رو، توجه به کشت و کار آن در طی ۳۰-۲۰ سال گذشته با رشد روزافزونی همراه بوده است (Rodov et al., 2010) که البته نکته حائز اهمیت در تولید این گیاه دارویی ارزشمند با توجه به مصارف دارویی متعددی که دارد، توجه به تولید محصول سالم و با کیفیت و عاری از کودها و سموم شیمیایی این گیاه و جایگزینی این نهاده های مخرب با نهاده هایی نظیر زغال زیستی (بیوپار)، گوگرد معمولی و نانو گوگرد می باشد.

نظر به اهمیت مرزه به عنوان یک گیاه دارویی ارزشمند و کاربردهای متعدد آن در صنایع مختلف دارویی، غذایی و آرایشی بهداشتی و از آنجا که مطالعات چندانی در خصوص مصرف همزمان نهاده های اکولوژیک نظیر زغال زیستی، گوگرد معمولی و نانو گوگرد در تولید و پرورش این گیاه مهم صورت نپذیرفته است، این پژوهش با هدف بررسی اثر کاربرد همزمان مقادیر مختلف بیوپار و کاربرد خاکی گوگرد معمولی و محلول پاشی نانو گوگرد بر برخی خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی مرزه در شرایط گناباد انجام گرفت.

مواد و روش ها

این پژوهش در دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه آموزشی تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی گناباد با عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۸ درجه و

استفاده نشد.

به‌منظور تجزیه واریانس و تحلیل آماری داده‌های آزمایش از نرم افزار SAS 9.1 استفاده شد. مقایسه کلیه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد و توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام گردید.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد

تعداد بذر در مترمربع و وزن سرشاخه گلدار به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر اثرات ساده و متقابل مقادیر مختلف بیوپار و تیمارهای تغذیه‌ای قرار گرفت (جدول ۳). بر اساس نتایج اثرات متقابل بیوپار و تیمارهای تغذیه‌ای، بیشترین و کمترین تعداد بذر در مترمربع و وزن سرشاخه گلدار به‌ترتیب در تیمارهای مصرف ۲۰ تن در هکتار بیوپار و محلول‌پاشی نانوگوگرد (به‌ترتیب با ۲۷۷۷۷ بذر در مترمربع و ۲۵/۶۷ گرم سرشاخه گلدار) و عدم کاربرد بیوپار و شاهد (به‌ترتیب با ۸۰۲۴ بذر در مترمربع و ۶/۲۴ گرم سرشاخه گلدار) به‌دست آمد (جدول ۴). در کلیه مقادیر بیوپار مصرفی، کاربرد خاکی گوگرد معمولی و محلول‌پاشی نانوگوگرد منجر به افزایش تعداد بذر در مترمربع نسبت به شاهد شدند، به‌عنوان مثال، در شرایط مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوپار، هر یک از تیمارهای کاربرد خاکی گوگرد و محلول‌پاشی نانوگوگرد به‌ترتیب افزایش ۹ و ۱۷ درصدی تعداد بذر در مترمربع در مقایسه با شاهد را در پی داشتند (جدول ۴).

در هر دو سال زراعی، در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی، تعداد پنج بوته از هر کرت آزمایشی (سطح ۰/۶۲۵ مترمربع) به‌طور تصادفی انتخاب و در یک چین صفاتی نظیر تعداد بذر در بوته و وزن سرشاخه گلدار اندازه‌گیری شد. در پایان فصل رشد (شهریورماه هر سال زراعی) و با زرد شدن بوته‌ها، به‌منظور تعیین عملکرد بذر و بیولوژیک، پس از حذف اثر حاشیه‌ای، بوته‌های کل کرت‌های آزمایشی در قالب یک چین برداشت و وزن بذر و کل اندام هوایی آن‌ها اندازه‌گیری شد. شاخص برداشت از نسبت عملکرد بذر به عملکرد بیولوژیک ضرب در صد به‌دست آمد. لازم به ذکر است که در پایان برداشت (در قالب یک چین)، مقدار ۱۰۰ گرم از بوته‌های هر کرت آزمایشی برای تعیین ویژگی‌های کیفی (درصد اسانس، میزان فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی)، به آزمایشگاه ارسال شد. به‌منظور حفظ کمیت و کیفیت مواد مؤثره گیاه، نمونه‌های برداشت شده در سایه و در درجه حرارت محیط خشک شدند و سپس در آزمایشگاه توسط دستگاه سوکسله عصاره‌گیری (عصاره متانولی) شد. به‌منظور تعیین محتوای ترکیبات فنولی از روش فولین سیوکوبو کالتیو استفاده شد (Ordone, 2008). محتوای فلاونوئید کل با استفاده از روش رنگ‌سنجی تعیین گردید (Chang, 2002). میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از روش به دام‌اندازی رادیکال دی‌فنیل پیکریل هیدرازیل تعیین شد (Shimada et al., 1992).

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی منطقه مورد پژوهش

Table 1- Meteorological information of research area

	سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹						سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰					
	Cropping year of 2020-2021						Cropping year of 2021-2022					
	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September
بارندگی Rainfall (mm)	0	49.5	0.5	0.5	0	0	1.1	22.7	0	0	0	0
متوسط دما ماهیانه Mean temperature in month (°C)	19.2	23.5	30.5	30.9	29.7	26.8	19.1	24	27.1	23.6	29.5	24.5
حداکثر دمای ماهیانه Maximum temperature in month (°C)	26.4	36.5	42.4	42.8	39.7	38.8	34.1	36.3	40.9	42.2	42.1	37
حداقل دمای ماهیانه Minimum temperature in month (°C)	3.3	13	18.9	17.2	16.7	15.4	3	11.4	13.6	19.7	16.6	13.6
میزان تبخیر و تعرق Evaporation and transpiration (mm)	259.4	282.1	460.3	434.2	404.2	348.1	233.2	313.2	409.6	479.3	429.1	327.3

جدول ۲- خصوصیات عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک محل آزمایش و بیوپچار مورد استفاده
Table 2- Soil characteristics (depth of 0 to 30 cm) of experimental farm and used biochar

خاک Soil		خصوصیات بیوپچار مورد استفاده Characteristics of used biochar	
بافت Texture	لومی-شنی Loamy-sandy	شاخص واکنش pH	7.7
		هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	1.20
		ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (cmol.kg ⁻¹)	19.5
		رطوبت Moisture (%)	<1
		نیتروژن N (%)	0.41
		فسفر P (mg.kg ⁻¹)	5380
		پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)	2360
		آهن Fe (mg.kg ⁻¹)	230
		روی Zn (mg.kg ⁻¹)	580
		منیزیم Mg (mg.kg ⁻¹)	210
پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)	103	کلسیم Ca (mg.kg ⁻¹)	4300
		منگنز Mn (mg.kg ⁻¹)	106
		گوگرد S (mg.kg ⁻¹)	2670
فسفر P (mg.kg ⁻¹)	8	سدیم Na (mg.kg ⁻¹)	4.7
		کربن C (%)	54
		هیدروژن H (%)	1.98
نیتروژن N (%)	0.019	اکسیژن O (%)	21.43
		ثبات Stability (°c)	540
		ظرفیت جذب سدیم Na-SC (mg.g ⁻¹)	38
کربن آلی Organic C (%)	0.19		
شاخص واکنش pH	8.2		
هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	4.3		

زراعی اول و به ترتیب ۳۶، ۵۲ و ۶۳ درصد در سال زراعی دوم نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۵). همان طور که در جدول اثرات متقابل سه گانه مقادیر مختلف بیوپچار، تیمارهای تغذیه ای و سال زراعی مشاهده می شود، بیشترین تعداد بذر در مترمربع، زمانی به دست آمد که در هر دو سال زراعی مورد مطالعه، به طور همزمان از

نتایج اثرات متقابل مقادیر مختلف بیوپچار و سال زراعی خاکی از آن بود که در هر دو سال زراعی مورد مطالعه، کلیه مقادیر مصرفی بیوپچار سبب افزایش معنی دار تعداد بذر در مترمربع نسبت به شاهد شدند، به این ترتیب که هر یک از سطوح ۵، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوپچار، تعداد بذر در مترمربع را به ترتیب ۳۶، ۵۴ و ۶۳ درصد در سال

۲۰ تن در هکتار بیوپار و محلول‌پاشی نانوگوگرد (به‌ترتیب با ۲۸۵۷۹ و ۲۶۹۷۶ بذر در مترمربع در سال‌های زراعی اول و دوم) استفاده شد و در سال زراعی اول، کاربرد خاکی گوگرد معمولی نیز از این نظر تفاوت معنی‌داری با تیمارهای مذکور نداشت و مقدار قابل‌توجهی بذر در مترمربع (۲۷۱۱۷ بذر در مترمربع) تولید کرد (جدول ۶). اکثر ترکیب‌های مختلف مقادیر بیوپار و تیمارهای تغذیه‌ای دارای اثر مثبت بر تعداد بذر در مترمربع بود، ولی بیشترین تأثیرگذاری این نهاده‌های بوم‌سازگار بر تعداد بذر در مترمربع، زمانی حاصل شد که به‌طور همزمان از ۲۰ تن در هکتار بیوپار و محلول‌پاشی نانوگوگرد استفاده گردید (جدول ۶).

اثرات ساده و متقابل مقادیر مختلف بیوپار و تیمارهای تغذیه‌ای و سال زراعی بر عملکرد بذر، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۳). کاربرد همزمان ۲۰ تن در هکتار بیوپار و محلول‌پاشی نانوگوگرد منجر به تولید بیشترین عملکرد بذر (۱۰/۴۴ گرم در مترمربع) و عملکرد بیولوژیک (۴۶/۴۸ گرم در مترمربع) نسبت به سایر تیمارها شد (جدول ۴). در شرایط کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوپار، هر یک از تیمارهای کاربرد خاکی گوگرد و محلول‌پاشی نانوگوگرد به‌ترتیب افزایش هفت و چهار درصدی شاخص برداشت نسبت به شاهد را سبب شدند (جدول ۴). محلول‌پاشی نانوگوگرد در سطوح ۵ و ۱۰ تن در هکتار بیوپار نیز به‌ترتیب افزایش پنج و هفت درصدی شاخص برداشت نسبت به شاهد را در پی داشت (جدول ۴). در کلیه مقادیر مصرفی بیوپار، عملکرد بذر و بیولوژیک در شرایط کاربرد خاکی گوگرد معمولی و محلول‌پاشی نانوگوگرد بیشتر از شاهد بود، به‌عنوان مثال در شرایط مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوپار، کاربرد خاکی گوگرد معمولی و محلول‌پاشی نانوگوگرد عملکرد بذر را به‌ترتیب ۱۱ و ۲۲ درصد و عملکرد بیولوژیک را به‌ترتیب ۱۰ و ۱۶ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۴). در سال زراعی اول، اثرات مثبت محلول‌پاشی نانوگوگرد بر عملکرد بذر زمانی بیشتر بروز یافت که همزمان با کاربرد ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوپار مورد استفاده قرار گرفت، به‌طوری‌که محلول‌پاشی نانوگوگرد در شرایط مصرف ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوپار عملکرد بذر را به‌ترتیب ۳۲ و ۴۹ درصد در مقایسه با محلول‌پاشی این نهاده در بستر کاشت ۵ تن در هکتار بیوپار افزایش داد (جدول ۴). در سال زراعی دوم، در کلیه سطوح بیوپار مورد مطالعه، کاربرد گوگرد معمولی و محلول‌پاشی نانوگوگرد

منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد بذر نسبت به شاهد شد، به‌عنوان مثال محلول‌پاشی نانوگوگرد در بستر کاشت ۱۰ تن در هکتار بیوپار، افزایش ۲۲ درصدی عملکرد بذر نسبت به شاهد را سبب شد (جدول ۴). نتایج اثرات متقابل مقادیر مختلف بیوپار و سال زراعی نشان داد که در هر دو سال زراعی مورد مطالعه با افزایش مقادیر مصرفی بیوپار، عملکرد بذر و بیولوژیک افزایش یافت، به این ترتیب که با مصرف هر یک از مقادیر ۵، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوپار عملکرد بذر به‌ترتیب ۴۳، ۶۲ و ۷۲ درصد در سال زراعی اول و به‌ترتیب ۴۳، ۶۱ و ۷۲ درصد در سال زراعی دوم و عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب ۴۴، ۵۹ و ۶۵ درصد در سال زراعی اول و به‌ترتیب ۴۸، ۶۰ و ۶۶ درصد در سال زراعی دوم در مقایسه با شاهد افزایش پیدا کردند (جدول ۵). محلول‌پاشی نانوگوگرد در شرایط کاربرد ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوپار، شاخص برداشت را به نسبت محلول‌پاشی این نهاده در بستر کاشت ۵ تن در هکتار بیوپار بیشتر افزایش داد، به این ترتیب که میزان شاخص برداشت در تیمارهای کاربرد همزمان ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوپار و محلول‌پاشی نانوگوگرد به‌ترتیب ۹ و ۱۹ درصد بیشتر از مقدار این صفت در تیمار کاربرد همزمان ۵ تن در هکتار بیوپار و محلول‌پاشی نانوگوگرد بود (جدول ۴). در هر دو سال زراعی مورد مطالعه، بیشترین شاخص برداشت در شرایط کاربرد ۲۰ تن در هکتار بیوپار (به‌ترتیب با ۲۲/۷۱ و ۲۱/۹۸ درصد شاخص برداشت در سال زراعی اول و دوم) حاصل شد (جدول ۵). نتایج اثرات متقابل سه‌گانه مقادیر مختلف بیوپار، تیمارهای تغذیه‌ای و سال زراعی نشان داد که بیشترین عملکرد بذر (۱۰/۷۴ گرم در مترمربع) و عملکرد بیولوژیک (۴۶/۹۱ گرم در مترمربع) زمانی به‌دست آمد که در سال زراعی اول به‌طور همزمان ۲۰ تن در هکتار بیوپار و محلول‌پاشی نانوگوگرد مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۶). در سال زراعی دوم، نتایج مقایسه مقادیر مختلف بیوپار و تیمارهای تغذیه‌ای حاکی از آن بود که هر دو کاربرد خاکی گوگرد معمولی و محلول‌پاشی نانوگوگرد در مقایسه با شاهد و کلیه مقادیر مصرفی بیوپار نسبت به عدم‌کاربرد این نهاده عملکرد بذر و عملکرد بیولوژیک بیشتری تولید کردند (جدول ۶). بیشترین شاخص برداشت در سال زراعی اول و دوم متعلق به تیمارهای مصرف ۲۰ تن در هکتار بیوپار و کاربرد خاکی گوگرد معمولی و همچنین محلول‌پاشی نانوگوگرد بود (جدول ۶).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی خصوصیات کمی و کیفی مرزه تحت تأثیر مقادیر مختلف بیوجار، کاربرد خاکی گوگرد معمولی و محلول پاشی نانو گوگرد
Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of some quantitative and qualitative characteristics of savory affected by different amounts of biochar, soil application of common sulfur and spraying of nano-sulfur

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	تعداد بذر در مترمربع Seed number per m ²	وزن سرشاخه Flowering shoot weight	عملکرد بذر Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	اسانس Essential oil	فنل کل Total phenol	کل Total flavonoid	فعالیت آنتی اکسیدانی Antioxidant activity
سال Year (Y)	1	21211756**	1.62**	2.39**	6.55**	9.56**	0.01**	1.75**	120.12**	645.42**
خطای یک First error	4	15361265	15.41	0.54	9.30	1.18	0.13	0.97	55.04	56.09
بیوجار Biochar (B)	3	904013543**	705.15**	158.21**	2618.16**	102.66**	0.19**	39.07**	7018.82**	276.94**
B × Y	3	1250293**	0.07 ^{ns}	0.18**	1.25*	0.98*	0.0001 ^{ns}	0.02 ^{ns}	1.05 ^{ns}	0.001 ^{ns}
تیمار تغذیه‌ای Nutritional treatment (N)	2	77146966**	58.82**	14.29**	159.78**	32.58**	0.01**	2.06**	866.66**	37.08**
خطای دو Second error	12	2364	0.14	0.0002	0.44	0.28	0.0008	0.01	2.96	1.24
B × N	6	952852**	7.47**	0.13**	7.96**	5.94**	0.01**	0.50**	125.59**	18.44**
N × Y	2	286882**	0.04 ^{ns}	0.02**	1.28 ^{ns}	1.004*	0.00004 ^{ns}	0.04*	0.16 ^{ns}	0.001 ^{ns}
B × N × Y	6	1454025**	0.07 ^{ns}	0.02**	1.12*	1.37**	0.00003 ^{ns}	0.01 ^{ns}	4.31*	0.001 ^{ns}
خطای کل Total error	32	307	0.15	0.0003	0.44	0.22	0.00006	0.01	1.50	0.19
درصد ضریب تغییرات CV (%)	-	0.09	2.67	0.31	2.20	2.48	0.41	1.09	1.35	0.72

***، ** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌دار
ns، * و ** are significant at the 0.01 and 0.05 of probability level and non-significant, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل مقادیر مختلف بیوجار، کاربرد خاکي گاوگرد معمولي و محلول پاشي نانو گاوگرد بر برخي خصوصيات کمي و کيفي مرزه
Table 4- Mean comparison of interaction effects of different amounts of biochar, soil application of common sulfur and spraying of nano-sulfur on some quantitative and qualitative characteristics of savory

تعداد بذر Seed number (m ²)	وزن سوسپانده گلدار Flowering shoot weight (g.m ⁻²)	عملکرد بذر Seed yield (g.m ⁻²)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (g.m ⁻²)	شاخص برداشت Harvest index	اسانس Essential oil (%)	فنل کل Total phenol (mg.g ⁻¹ fresh weight)	فلاونوئید کل Total flavonoid (mg.g ⁻¹ fresh weight)	فعالیت آنتی اکسیدانی Antioxidant activity (%)
عدم کاربرد بیوجار Non-application of biochar								
گاوگرد معمولی Common sulfur	9534 ^a	7.12 ^h	2.57 ^h	15.24 ⁱ	16.89 ^e	12.10 ^b	119.17 ^a	69.32 ^a
نانو گاوگرد Nano-sulfur	11539 ^j	8.66 ^g	3.30 ^j	16.06 ⁱ	20.54 ^e	12.45 ^{ab}	109.50 ^e	47.46 ^{ab}
شاهد Control	8024 ⁱ	6.24 ^h	2.11 ⁱ	13.22 ^j	15.98 ^{ef}	12.71 ^a	112.83 ^b	65.61 ^{ac}
۵ تن در هکتار بیوجار 5 t.ha ⁻¹ biochar								
گاوگرد معمولی Common sulfur	15304 ^b	13.36 ^f	4.66 ^h	28.08 ^g	16.61 ^{ef}	11.36 ^e	100.17 ^d	61.03 ^{ce}
نانو گاوگرد Nano-sulfur	16884 ^g	13.52 ^f	5.34 ^g	29.64 ^f	18.18 ^d	11.52 ^e	85.83 ^f	58.45 ^{eg}
شاهد Control	13199 ^j	12.44 ^f	3.89 ^j	24.56 ^h	15.85 ^f	11.46 ^e	99.16 ^{de}	63.70 ^{bd}
۱۰ تن در هکتار بیوجار 10 t.ha ⁻¹ biochar								
گاوگرد معمولی Common sulfur	20605 ^e	16.72 ^d	6.89 ^e	36.84 ^d	18.71 ^d	10.48 ^d	96.50 ^e	57.26 ^{eh}
نانو گاوگرد Nano-sulfur	22595 ^d	18.42 ^e	7.86 ^d	39.38 ^c	19.96 ^c	11.43 ^e	76.33 ^g	56.07 ^{fh}
شاهد Control	18848 ^f	15.36 ^e	6.15 ^f	33.08 ^e	18.58 ^d	10.61 ^d	85.00 ^f	59.57 ^{df}
۲۰ تن در هکتار بیوجار 20 t.ha ⁻¹ biochar								
گاوگرد معمولی Common sulfur	26279 ^b	21.03 ^b	9.51 ^b	41.26 ^b	23.05 ^a	8.60 ^f	65.33 ⁱ	54.11 ^{gh}
نانو گاوگرد Nano-sulfur	27777 ^a	25.67 ^a	10.44 ^a	46.48 ^a	22.46 ^a	9.48 ^e	62.83 ⁱ	52.85 ^h
شاهد Control	24381 ^c	19.92 ^b	8.63 ^c	40.08 ^{bc}	21.53 ^b	8.70 ^f	70.83 ^h	55.61 ^{fh}

* در هر ستون، میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی داری ندارند.
* In each column, means followed by the same letters are not significantly different (p≤0.05).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل مقادیر مختلف بیوچار و سال زراعی بر برخی خصوصیات کمی مرزه
 Table 5- Mean comparison of interaction effects of different amounts of biochar and cropping year on some quantitative characteristics of savory

شاخص برداشت Harvest index	عملکرد بیولوژیک Biological yield (g.m ⁻²)	عملکرد بذری Seed yield (g.m ⁻²)	تعداد بذری Seed number (m ⁻²)
سال زراعی اول First cropping year			
عدم کاربرد بیوچار Non-application of biochar	15.24 ^d	2.73 ^d	9958 ^{d*}
۵ تن در هکتار بیوچار 5 t.ha ⁻¹ biochar	27.33 ^c	4.75 ^c	15514 ^c
۱۰ تن در هکتار بیوچار 10 t.ha ⁻¹ biochar	36.87 ^b	7.24 ^b	21499 ^b
۲۰ تن در هکتار بیوچار 20 t.ha ⁻¹ biochar	43.06 ^a	9.78 ^a	26857 ^a
سال زراعی دوم Second cropping year			
عدم کاربرد بیوچار Non-application of biochar	14.43 ^d	2.59 ^d	9440 ^d
۵ تن در هکتار بیوچار 5 t.ha ⁻¹ biochar	27.52 ^c	4.51 ^c	14744 ^c
۱۰ تن در هکتار بیوچار 10 t.ha ⁻¹ biochar	36.00 ^b	6.69 ^b	19867 ^b
۲۰ تن در هکتار بیوچار 20 t.ha ⁻¹ biochar	42.15 ^a	9.26 ^a	25435 ^a

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.
 * In each column, means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.05$).

مدیریت آبیاری بر عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه دارویی زنیان (*Trachyspermum ammi* L.) نشان داد که بیشترین مقدار ارتفاع بوته، وزن تر و خشک بوته، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در شرایط کاربرد ۴۵ تن در هکتار بیوچار به‌دست آمد (Khasheisiuki, et al., 2019). در پژوهشی دیگر، بیشترین عملکرد بیولوژیک و میزان کلروفیل a گیاه دارویی سرخارگل در شرایط تنش خشکی در تیمار استفاده از کود آلی بیوچار مشاهده شد (Emami, 2022). عملکرد دانه، وزن ۱۰۰ دانه و تعداد شاخه اصلی و فرعی گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) تحت تأثیر کاربرد بیوچار افزایش یافت (Bitarafan et al., 2019). کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار در مزرعه نعنافللی (*Mentha piperita* L.) منجر به تولید بیشترین وزن تر برگ، وزن ساقه و وزن تر کل شد و میزان محتوای نیتروژن را نسبت به شاهد افزایش داد و کاربرد همزمان بیوچار با میکوریزا و ورمی‌کمپوست تولید بیشترین میزان فسفر را در پی داشت (Zaefarian et al., 2019).

همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد بذری و عملکرد بیولوژیک با صفاتی همچون تعداد بذری در بوته (به‌ترتیب با ضریب همبستگی $r = 0.99^{**}$ و $r = 0.97^{**}$ با عملکرد بذری و عملکرد بیولوژیک) و وزن سرشاخه گلدار (به‌ترتیب با ضریب همبستگی $r = 0.97^{**}$ و $r = 0.97^{**}$ با عملکرد بذری و عملکرد بیولوژیک) (جدول ۷)، احتمالاً سبب شده نهاده‌های اکولوژیک زغال زیستی و تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی مؤثر بر این صفات (جدول ۴، ۵ و ۶)، در بهبود عملکرد بذری و عملکرد بیولوژیک نیز نقش ایفا کنند و این موضوع از لحاظ مدیریتی نشان‌دهنده اهمیت نهاده‌های مؤثر بر اجزاء عملکرد و تأثیر آن‌ها و عملکرد اقتصادی مرزه است.

به نظر می‌رسد که کود آلی بیوچار به‌دلیل تخلخل بالا و سطح ویژه زیاد احتمالاً از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب (Al Baquy et al., 2023) و کاهش چگالی ظاهری خاک (Javeed et al., 2023) سبب شده است تا آب و مواد غذایی بیشتری در اختیار ریشه قرار گیرد و در نتیجه، عملکرد و اجزاء عملکرد در شرایط استفاده از این نهاده بهبود یافته است. تأثیر کاربرد بیوچار و سطوح مختلف

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه مقادیر مختلف بیوجار، کاربرد خاکی گوگرد معمولی و محلول‌پاشی نانوگوگرد و سال زراعی بر برخی خصوصیات کمی و کیفی مرزه
Table 6- Mean comparison of triple interaction effects of different amounts of biochar, soil application of common sulfur and spraying of nano-sulfur and cropping year on some quantitative and qualitative of savory

Cropping year, on some quantitative and qualitative of savori																						
	تعداد بذر Seed number (m ⁻²)	عملکرد بذر Seed yield (g.m ⁻²)	عملکرد Biological yield (g.m ⁻²)	شاخص برداشت Harvest index (%)	فلاونوئید کل Total flavonoid (mg.g ⁻¹ fresh weight)	تعداد بذر Seed number (m ⁻²)	عملکرد بذر Seed yield (g.m ⁻²)	عملکرد Biological yield (g.m ⁻²)	شاخص برداشت Harvest index (%)	فلاونوئید کل Total flavonoid (mg.g ⁻¹ fresh weight)	سال زراعی دوم Second cropping year											
												سال زراعی اول First cropping year										
عمودی Common sulfur	عدم بیوجار Non biochar	9869 ^{mn*}	2.67 ⁿ	15.76 ^k	16.95 ^{jk}	118.33 ^a	9200 ^{no}	2.48 ^{no}	14.72 ^{kl}	16.83 ^{jk}	120.00 ^a											
	۵ تن در هکتار بیوجار 5 t.ha ⁻¹ biochar	15496 ⁱ	4.72 ^k	28.56 ⁱ	16.54 ^{kl}	99.33 ^{de}	15112 ^{ij}	4.60 ^k	27.60 ⁱ	16.68 ^{kl}	101.00 ^d											
	۱۰ تن در هکتار بیوجار 10 t.ha ⁻¹ biochar	21451 ^{ef}	7.17 ^g	37.36 ^{ef}	19.21 ^h	95.00 ^e	19760 ^{fg}	6.61 ^h	36.32 ^f	18.22 ⁱ	98.00 ^{de}											
	۲۰ تن در هکتار بیوجار 20 t.ha ⁻¹ biochar	27117 ^{ab}	9.81 ^b	41.64 ^b	23.57 ^a	63.66 ^{kl}	25440 ^{bc}	9.20 ^c	40.87 ^{bc}	22.53 ^{bc}	67.00 ^{jk}											
	عدم بیوجار Non biochar	11797 ^{k-m}	3.37 ^m	16.37 ^k	20.63 ^{ef}	108.00 ^e	11280 ^{lm}	3.22 ^m	15.76 ^k	20.45 ^{ef}	111.00 ^{bc}											
نانو-سولفور Nano-sulfur	۵ تن در هکتار بیوجار 5 t.ha ⁻¹ biochar	17608 ^h	5.57 ⁱ	28.56 ⁱ	19.70 ^{ch}	84.66 ^f	16160 ^{hi}	5.12 ^j	30.72 ^h	16.66 ^{kl}	87.00 ^f											
	۱۰ تن در هکتار بیوجار 10 t.ha ⁻¹ biochar	23269 ^{de}	8.10 ^e	39.89 ^{b-d}	20.31 ^{fg}	74.66 ^{gh}	21920 ^e	7.62 ^f	38.88 ^{de}	19.61 ^{ch}	78.00 ^g											
	۲۰ تن در هکتار بیوجار 20 t.ha ⁻¹ biochar	28579 ^a	10.74 ^a	46.91 ^a	22.90 ^{ab}	61.66 ^l	26976 ^{ab}	10.14 ^b	46.06 ^a	22.01 ^{b-d}	64.00 ^{kl}											
	عدم بیوجار Non biochar	8208 ^{no}	2.16 ^{op}	13.61 ^{lm}	15.93 ^{kl}	111.67 ^{bc}	7840 ^o	2.06 ^p	12.82 ^m	16.02 ^{kl}	114.00 ^b											
کنترل Control	۵ تن در هکتار بیوجار 5 t.ha ⁻¹ biochar	13437 ^{jk}	3.96 ^l	24.88 ^j	15.95 ^{kl}	96.33 ^e	12960 ^{kl}	3.82 ^j	24.24 ^j	15.75 ^l	102.00 ^d											
	۱۰ تن در هکتار بیوجار 10 t.ha ⁻¹ biochar	19776 ^{fg}	6.46 ^h	33.36 ^g	19.36 ^{gh}	85.00 ^f	17920 ^{gh}	5.84 ⁱ	32.80 ^g	17.80 ^{ji}	85.00 ^f											
	۲۰ تن در هکتار بیوجار 20 t.ha ⁻¹ biochar	24875 ^{cd}	8.80 ^d	40.64 ^{b-d}	21.66 ^{cd}	69.66 ^{ji}	23888 ^{cd}	8.45 ^d	39.52 ^{cd}	21.39 ^{de}	72.00 ^{hi}											
	عدم بیوجار Non biochar	8208 ^{no}	2.16 ^{op}	13.61 ^{lm}	15.93 ^{kl}	111.67 ^{bc}	7840 ^o	2.06 ^p	12.82 ^m	16.02 ^{kl}	114.00 ^b											

* در هر صفت، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
* In each trait, means followed by the same letters are not significantly different (p≤0.05).

جدول ۷- ضرایب همبستگی صفات مورد مطالعه در مرزه تحت تأثیر مقادیر مختلف بیوجار و کاربرد خاکی گوگرد معمولی و محلول پاشی نانوگوگرد

Table 7- Correlation coefficients of studied traits in savory affected by different amounts of biochar and soil application of common sulfur and spraying of nano-sulfur

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
تعداد بذر در بوته (۱) Seed number per plant (1)	1								
وزن سرشاخه گلدار (۲) Flowering shoot weight (2)	0.98**	1							
عملکرد بذر (۳) Seed yield (3)	0.99**	0.97**	1						
عملکرد بیولوژیک (۴) Biological yield (4)	0.97**	0.97**	0.97**	1					
شاخص برداشت (۵) Harvest index (5)	0.79**	0.73**	0.81**	0.66**	1				
اسانس (۶) Essential oil (6)	0.25*	0.26*	0.17	0.28*	-0.02	1			
فنل کل (۷) Total phenol (7)	-0.84**	-0.81**	-0.86**	-0.82**	-0.70**	0.07	1		
فلاونوئید کل (۸) Total flavonoid (8)	-0.92**	-0.91**	-0.94**	-0.92**	-0.74**	-0.01	0.84**	1	
فعالیت آنتی اکسیدانی (۹) Antioxidant activity (9)	-0.78**	-0.74**	-0.79**	-0.79**	-0.58**	0.07	0.76**	0.83**	1

** و *: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

** and *: are significant at the 0.01 and 0.05 of probability level, respectively.

(Saad-Allah, 2020). نانوکود گوگرد به دلیل ویژگی‌های خاص اندازه ذرات کوانتومی و سطح ویژه بالا، نسبت به گوگرد معمولی مزیت‌های بیشتری دارد (Turganbay et al., 2019). در یک پژوهش، کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد منجر به افزایش قابل توجه ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، وزن ۱۰۰ دانه و عملکرد بذر ماش (Vigna radiate L.) در مقایسه با شاهد شد (Murshed et al., 2021). در پژوهشی دیگر، بیشترین ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد گل در بوته و عملکرد گل گیاه دارویی آرنیکای چامیسو (Arnica chamissonis Less. ssp. foliosa) در تیمار ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود گوگردی بنتونیتی به دست آمد (Asadi et al., 2019). در یک پژوهش، الموسوی و جمیل (Almousswi & Jameel, 2022) گزارش کردند که استفاده از گوگرد معمولی و محلول پاشی نانوگوگرد کلیه صفات مورد مطالعه (نظیر ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن خشک) در گیاه دارویی تره کوهی را نسبت به شاهد افزایش داد که البته از این نظر کاربرد نانوگوگرد نسبت به گوگرد معمولی نقش مؤثرتری در بهبود خصوصیات کمی و کیفی گیاه ایفا کرد. بهبود ویژگی‌های کمی و عملکرد باقلا (Vicia faba L.) نیز تحت تأثیر کودهای گوگردی

در پژوهشی دیگر، اگر چه بین سطوح مختلف بیوجار از لحاظ نقش این کود در تقلیل اثرات منفی تنش خشکی در برخی صفات گیاه دارویی گل گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) تفاوت معنی داری وجود نداشت، ولی به طور کلی کاربرد بیوجار در بهبود اکثر شاخص‌های فیزیولوژیکی و کیفی این گیاه مؤثر بود (Taghizadehtabari et al., 2021). به نظر می‌رسد که استفاده از تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی احتمالاً به دلیل نقش گوگرد در تشکیل بسیاری از اسید آمینه‌های ضروری و ساخت پروتئین‌ها (Al-Obeidi & Al-Obeidi, 2023) و همچنین ضرورت وجود آن برای ساخت کلروفیل و بسیاری از ویتامین‌ها (Narayan et al., 2022)، توانسته است اثرات مثبتی بر عملکرد و اجزاء عملکرد مرزه بر جای گذارد. همچنین ثابت شده است که استفاده از گوگرد به شکل نانوکود، برای رشد گیاه و کیفیت محصولات کشاورزی بسیار مفید است و در عین حال، از اثرات سمی آفت کش‌ها و هورمون‌ها و افزودنی‌های رشد جلوگیری می‌کند (Shankar et al., 2020) و نکته حائز اهمیت اینکه نانوکود گوگرد برخلاف بسیاری از فلزات و نانوذرات دیگر، موادی بوم‌سازگار و ایمن و غیرسمی برای محیط زیست هستند (Ragab &

گزارش شده است (Hameed & Hasan, 2022).

خصوصیات فیتوشیمیایی

اثرات مقادیر مختلف بیوپچار و تیمار تغذیه‌ای و برهم‌کنش آن‌ها به‌طور معنی‌داری بر میزان اسانس تأثیر داشت (جدول ۳). بیشترین میزان اسانس (۲/۱۲ درصد) در تیمار ۱۰ تن در هکتار بیوپچار به‌دست آمد (جدول ۸). کاربرد ۵ و ۲۰ تن در هکتار بیوپچار نیز به‌ترتیب افزایش چهار و یک درصدی میزان اسانس را نسبت به شاهد سبب شدند (جدول ۸). نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش مقادیر مصرفی بیوپچار از میزان فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کاسته شد، به‌طوری‌که هر یک از سطوح ۵، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار بیوپچار میزان فنل کل را به‌ترتیب ۸، ۵ و ۲۸ درصد، میزان فلاونوئید کل را به‌ترتیب ۱۶، ۲۵ و ۴۲ درصد و میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی را به‌ترتیب ۹، ۱۵ و ۲۰ درصد در مقایسه با شاهد کاهش دادند. بیشترین میزان فنل کل (۱۱/۲۲ درصد) در تیمار محلول‌پاشی نانوگوگرد و بیشترین میزان فلاونوئید کل (۹۵/۲۹ درصد) در تیمار کاربرد خاکی

گوگرد معمولی مشاهده شد (جدول ۸). اعمال تیمار تغذیه‌ای گوگردی کاهش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی را نسبت به شاهد سبب شد، به‌طوری‌که مقدار این صفت در شرایط کاربرد گوگرد معمولی و نانوگوگرد به‌ترتیب یک و چهار درصد کمتر از شاهد بود (جدول ۸). نتایج اثرات متقابل مقادیر مصرفی بیوپچار و تیمارهای تغذیه‌ای نشان داد که با افزایش مقادیر بیوپچار تا سطح ۱۰ تن در هکتار، اثرات مثبت گوگرد معمولی و نانوگوگرد در بهبود میزان اسانس محسوس‌تر بود، به‌طوری‌که بیشترین میزان اسانس در تیمار کاربرد همزمان ۱۰ تن در هکتار بیوپچار و مصرف خاکی گوگرد معمولی به‌دست آمد و افزایش بیشتر مقدار بیوپچار (تا سطح ۲۰ تن در هکتار)، کاهش میزان اسانس در تیمارهای تغذیه‌ای مذکور را به همراه داشت (جدول ۴). میزان فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی تحت تأثیر استفاده همزمان مقادیر بیوپچار و تیمارهای تغذیه‌ای گوگردی کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین میزان این صفات زمانی حاصل شد که از هیچ مقدار زغال زیستی به‌صورت توأم با تیمارهای تغذیه‌ای استفاده نگردید (جدول ۴).

جدول ۸- مقایسه میانگین برخی ویژگی‌های فیتوشیمیایی مرزه تحت تأثیر مقادیر بیوپچار و کاربرد خاکی گوگرد معمولی و محلول‌پاشی نانوگوگرد

Table 8- Mean comparison of some phytochemical characteristics of savory affected by amounts of biochar and application of common sulfur and spraying of nano-sulfur

مقادیر بیوپچار Amounts of biochar (t.ha ⁻¹)	اسانس Essential oil (%)	فنل کل Total phenol (mg.g ⁻¹ fresh weight)	فلاونوئید کل Total flavonoid (mg.g ⁻¹ fresh weight)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity (%)
0	1.89 ^{d*}	12.42 ^a	113.83 ^a	67.46 ^a
5	1.96 ^b	11.45 ^b	95.05 ^b	61.06 ^b
10	2.12 ^a	10.84 ^c	85.94 ^c	57.63 ^c
20	1.91 ^c	8.92 ^d	66.33 ^d	54.19 ^d
تیمار تغذیه‌ای Nutrient treatment				
گوگرد معمولی Common sulfur	1.96 ^b	10.63 ^c	95.29 ^a	60.43 ^b
نانوگوگرد Nano-sulfur	1.95 ^c	11.22 ^a	83.62 ^c	58.70 ^c
شاهد Control	1.99 ^a	10.87 ^b	91.95 ^b	61.12 ^a
سال زراعی Cropping year				
اول First	1.96 ^b	10.75 ^b	89.00 ^b	57.09 ^b
دوم Second	1.98 ^a	11.06 ^a	91.58 ^a	63.08 ^a

* در هر سال زراعی، در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.

* In each cropping year, in each column, means followed by the same letters are not significantly different ($p \leq 0.05$).

2022). محلول پاشی نانوگوگرد در مزرعه آفتابگردان، منجر به تولید بیشترین ماده خشک، عملکرد دانه و میزان روغن شد و میزان گوگرد خاک را نیز به میزان قابل توجهی افزایش داد (Subramanian et al., 2022).

نتیجه گیری

به طور کلی، نتایج آزمایش نشان داد که مقادیر مختلف بیوپار و تیمارهای تغذیه ای گوگردی و برهم کنش آن ها دارای اثر مثبت بر عملکرد و اجزاء عملکرد مرزه بود. در هر دو سال زراعی با افزایش مقادیر مصرفی بیوپار تعداد دانه در بوته، وزن سرشاخه گلدار، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت به طور معنی داری در مقایسه با شاهد افزایش یافت، به طوری که بیشترین مقدار صفات یاد شده در هر دو سال زراعی در تیمار ۲۰ تن در هکتار بیوپار مشاهده شد. در بین تیمارهای تغذیه ای گوگردی، محلول پاشی نانوگوگرد منجر به تولید بیشترین مقدار صفات مربوط به عملکرد و اجزاء عملکرد نسبت به سایر تیمارها شد که البته از این نظر کاربرد گوگرد معمولی نیز در بهبود صفات مذکور مؤثر بود. نتایج اثرات متقابل مقادیر مختلف بیوپار و تیمارهای تغذیه ای گوگردی نشان داد که بیشترین مقدار تعداد بذر در مترمربع (۲۷۷۷۷ بذر در مترمربع)، وزن سرشاخه گلدار (۲۵/۶۷ گرم در مترمربع)، عملکرد بذر (۱۰/۴۴ گرم در مترمربع) و عملکرد بیولوژیک (۴۶/۴۸ گرم در مترمربع) متعلق به تیمار مصرف تلفیقی ۲۰ تن در هکتار بیوپار و محلول پاشی نانوگوگرد بود. همچنین در هر دو سال زراعی، کاربرد همزمان گوگرد معمولی یا نانوگوگرد با بیوپار و به ویژه مقادیر بالاتر زغال زیستی، اثرات مثبت بیشتری بر عملکرد و اجزاء عملکرد مرزه در مقایسه با کاربرد جداگانه تیمارهای تغذیه ای داشت. از نظر تأثیر بیوپار و تیمارهای تغذیه ای گوگردی و برهم کنش آن ها بر ویژگی های فیتوشیمیایی مرزه، نتیجه در صفات کیفی مختلف متفاوت بود، به عنوان مثال کاربرد همزمان ۱۰ تن در هکتار بیوپار و مصرف گوگرد معمولی منجر به تولید بیشترین میزان اسانس در هر دو سال زراعی شد، درحالی که در سایر صفات کیفی مورد مطالعه (میزان فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی اکسیدانی) استفاده تلفیقی از تیمارهای کودی دارای اثر منفی بر مقدار صفات بود. به طور کلی، با توجه به یافته های این پژوهش، به نظر می رسد که با مصرف تلفیقی مقادیر بهینه زغال زیستی و تیمارهای تغذیه ای

نتایج اثرات متقابل سه گانه مقادیر مختلف بیوپار، تیمارهای تغذیه ای و سال زراعی نشان داد که در هر دو سال زراعی مورد مطالعه، بیشترین میزان فلاونوئید کل (به ترتیب با ۱۱۸/۳۳ و ۱۲۰ گرم بر گرم وزن تر) متعلق به تیمار عدم مصرف بیوپار و کاربرد خاکی گوگرد معمولی بود (جدول ۶). همان طور که در جدول ۷ مشاهده می شود، همبستگی بین اکثر خصوصیات فیتوشیمیایی و صفات کمی گیاه منفی بود و از این رو، با توجه به اثرگذاری مثبت مقادیر مختلف بیوپار و تیمارهای تغذیه ای بر عملکرد و اجزاء عملکرد مرزه، نقصان ویژگی های فیتوشیمیایی گیاه در شرایط استفاده از این نهاده ها منطقی به نظر می رسد.

به نظر می رسد که بیوپار احتمالاً از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و تأمین مواد غذایی قابل جذب (Gaudutis et al., 2023) و تیمارهای تغذیه ای گوگردی احتمالاً به دلیل نقش گوگرد در ساختمان بسیاری از متابولیت های ثانویه گیاهی (Gohain et al., 2019) منجر به بهبود میزان اسانس مرزه شده اند و با توجه به اینکه ثابت شده است که میزان مواد مؤثره گیاهان دارویی عمدتاً در شرایط تنش بیشتر از شرایط عادی است، کاهش میزان فنل کل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی اکسیدانی تحت تأثیر نهاده های اکولوژیک مورد مطالعه، منطقی به نظر می رسد. در یک پژوهش، پس از بررسی برهم کنش بیوپار و سوپرچاد بر ترکیب های تشکیل دهنده اسانس مرزه رشینگری در شرایط تنش خشکی، گزارش شد که بیشترین مقدار کارواکرول در تیمار کاربرد همزمان بیوپار و ۶۰ میلی گرم سوپرچاد در شرایط تنش شدید رطوبتی به دست آمد (Beiranvandi et al., 2020). کاربرد بیوپار در مزرعه گیاه دارویی شویید (*Anethum graveolens* L. در شرایطی که گیاه در معرض تنش شوری قرار داشت، افزایش مقدار لیمونن، کارون، آپینول و دیلاپینول و همچنین بهبود میزان فعالیت آنتی اکسیدانی را سبب شد (Ghassemi-Golezani & Rahimzadeh, 2022). در پژوهشی دیگر، بیشترین میزان روغن، پروتئین و عملکرد دانه کنجد در شرایط کاربرد همزمان گوگرد (۸ تن در هکتار) و کود گاوی (۲۰ تن در هکتار) به دست آمد (Saeidinezhad et al., 2019). کاربرد همزمان کودهای گوگردی و کودهای حاوی عناصر روی و بور، بیشترین عملکرد اقتصادی و بهترین کیفیت از نظر مقدار آلپسین در گیاه دارویی سیر (*Allium sativum* L.) را سبب شد (Zare Pak Ziaberi & Majidian,

گوگردی به‌ویژه نانوگوگرد می‌توان عملکرد و اجزاء عملکرد مرزه را
 بهبود بخشید و به‌منظور حفظ و افزایش کیفیت محصول تولیدی نیاز
 است که از نهاده‌های بوم‌سازگار و مکمل دیگری استفاده نمود.

References

1. Al Baquy, M.A., Nkon, J.N., Alam, M., & Masud, M.M. (2023). Biochar application to soils to improve the management of irrigation water. *Sustainable Agriculture Reviews book Series*, 61, 273-291. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26983-7_12
2. Almousswi, Z.A., & Jameel, D.A. (2022). The effect of foliar fertilization with normal and nano sulfur and the interaction between them in some vegetative characteristics, plant pigments content and dryweight of the shoot system of two varieties of leek plans *Allium ampeloprasum* L. *Iranian Journal of Ichthyology*, 9(1), 397-405.
3. Al-Obeidi, M.M.H., & Al-Obeidi, H.S.H. (2023). Effect of organic fertilizer spraying from various sources and agricultural sulfur in the growth and harvest of garlic. Fifth International Conference for Agricultural and Environments Sciences. 1158, 042067. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1158/4/042067>
4. Asadi, M., Hadian, J., Ebrahimi, S. N., & Karimzadeh, G. (2019). Effect of different levels of sulfur on growth, quality characteristics and yield of *Arnica chamissonis* Less. ssp. *foliosa*. *Journal of Horticulture Science*, 33(2), 219-232. (In Persian with English summary) <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.71858>
5. Bakhshian, M., Naderi, M.R., Javanmard, H.R., & Bahreininejad, B. (2022). The growth of summer savory (*Satureja hortensis*) affected by fertilization and plant growth regulators in temperature stress. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 43, 102371. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102371>
6. Beiranvandi, M., Akbari, N., Ahmadi, A., Mumivand, H., & Nazarian, F. (2020). Interaction of biochar and superabsorbent on the composition of *Satureja rechingeri* Jamzad. essential oil under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 36(5), 780-793. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2020.342067.2732>
7. Bitarafan, Z., Asghari, H.R., Hasanloo, T., Gholami, A., & Moradi, F. (2019). Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) landraces response to biochar application under deficit irrigation. *Journal of Agroecology*, 11(2), 403-415. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.67531>
8. Chang, Y.L. (2002). Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 50, 3713-3717. <https://doi.org/10.1021/jf020071c>
9. Deepak, B. R., Padma, M., Prabhakarand, B. N., & Vijaya, D. (2019). Effect of NPK, zinc and sulphur levels on oil yield of Japanese mint (*Mentha arvensis* L.) var. Kosi. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(4), 3412-3415.
10. Eghlima, G., Mohammadi, M., Mirjalili, M.H., & Ghorbanpour, M. (2024). Exploring the potential impact of biochar amendments in promoting redox reactions, agro-morphological, and phytochemical characteristics in *Satureja khuzistanica* Jamzad Under Salt Stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24(1), 190-202. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01566-z>
11. Emami, T. (2022). Effect of biochar and salicylic acid on physiological traits and yield of echinacea (*Echinacea purpurea* L.) under non-stress and drought stress conditions. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 4(1), 229-243. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2022.320762.1172>
12. Enaime, G., Bacaoui, A., Yaacoubi, A., & Lubken, M. (2020). Biochar for wastewater treatment conversion technologies and application. *Applied Sciences*, 10(10), 3492-3501. <https://doi.org/10.3390/app10103492>
13. Feizi, K., Amirinejad, A., & Ghobadi, M. (2021). The effects of biochar and salicylic acid on reducing pb-induced stress in basil crop (*Ocimum basilicum* L.). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(2), 539-547. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.313282.668795>
14. Gaudutis, A., Jotautiene, E., Mieldazys, R., Bivainis, V., & Jasinskas, A. (2023). Sustainable use of biochar, poultry and cattle manure for the production of organic granular fertilizers. *Agronomy*, 13, 1426. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051426>
15. Ghaderi, J., Davoodi, M.H., & Khavazi, K. (2021). Effect of elemental sulfur and *Thiobacillus* bacteria on yield and some quality characteristics of canola. *Iranian Journal of Soil Research*, 35(3), 235-252. <https://doi.org/10.22092/ijsr.2021.354082.595>

16. Ghassemi-Golezani, K., & Rahimzadeh, S. (2022). The biochar-based nanocomposites influence the quantity, quality and antioxidant activity. *Scientific Reports*, 12, 21903. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26578-0>
17. Gohain, B.P., Rose, T.J., Liu, L., Barkla, B.J., Raymond, C.A., & King, G.J. (2019). Remobilization and fate of Sulphur in mustard. *Annals of Botany*, 124(3), 471-480. <https://doi.org/10.1093/aob/mcz101>
18. Hameed, D.B., & Hasan, A.E. (2022). Effect of sulfur and *Rhizobium leguminosarum* on available of some nutrients and the growth of broad bean plants. *Annals of Forest Research*, 65(1), 4827-4834.
19. Javeed, H.M.R. Ali, M., Zamir, M.S.I., Qamar, R., Kanwal, S., Andleeb, H., Qammar, N., Jhangir, K., Elkelish, A., Mubeen, M., Sarwar, M.A., Khalid, S., Zain, M., Nawaz, F., Mubeen, Kh., Bukhari, M.A., Zakir, A., Farooq, M.A., & Masood, N. (2023). Biochar and arbuscular mycorrhizae fungi to improve soil organic matter and fertility. pp 331-354 in E. Lichfous (Ed.). Sustainable Agriculture Reviews Book Series. Springer Press. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26983-7_15
20. Katar, N. (2022). Determining of effect of different planting densities on yield and quality in summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Journal of Biological Diversity and Conservation*, 15(1), 30-37. <https://doi.org/10.46309/biodicon.2022.957099>
21. KhasheiSiuki, A., Shahidi, A., Yaghoubzadeh, M., & Dastorani, M. (2019). Effect of biochar application and irrigation management on yield and yield components medicinal plant (*Trachyspermum ammi* L.). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 13(2), 319-328. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/20.1001.1.20087942.1398.13.2.5.3>.
22. Mehdizadeh, L., Moghaddam, M., & Lakzian, A. (2019). Effect of biochar on growth characteristics and sodium to potassium ratio of summer savory under NaCl stress. *Environmental Stresses in Crop Science*, 12(2), 595-606. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22077/escs.2019.1419.1308>
23. Mohammadpour, M., Ghasemnejad, A., Lebaschy, M.H., Abbaszadeh, B., & Azadbakht, M. (2013). Effects of sowing date and plant density on morphological characteristics and yield of summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 29(3), 621-634. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2013.4046>
24. Murshed, M.D.F., Syfullah, K., Zonayet, M.D., Bashar, M.D.A., Jahan, A., & Sayeed, K.A. (2021). Effect of nitrogen and sulfur on the growth and yield of mungbean. *Asian Journal of Plant and Soil Sciences*, 6(1), 187-194.
25. Narayan, O.P., Kumar, P., Yadav, B., Dua, M., & Johri, A.K. (2022). Sulfur nutrition and its role in plant growth and development. *Plant Signaling and Behavior*, 7, 2030082. <https://doi.org/10.1080/15592324.2022.2030082>.
26. Ordone, A.A.L. (2008). Antioxidant activities of *Sechium edule* Swartz extracts. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 97, 452-458. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.024>
27. Ragab, G.A., & Saad-Allah, K.M. (2020). Green synthesis of sulfur nanoparticles using *Ocimum basilicum* leaves and its prospective effect on manganese-stressed *Helianthus annuus* (L.) seedlings. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 191, 110242. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110242>.
28. Rodov, V., Vinokur, Y., Gogia, N., & Chkhikvishvili, I. (2010). Hydrophilic and lipophilic antioxidant capacities of Georgian spices for meat and their possible health implications. *Georgian Med News*, 179, 61-6.
29. Saeidinezhad, M., Behdani, M.A., Sayyari, M.H., & Mahmoudi, S. (2019). The effect of sulfur and manure on quantitative and qualitative characteristics of sesame varieties (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Agroecology*, 11(3), 845-857. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22067/jag.v11i3.71128>
30. Sanbongi, C., Takano, H., Osakabe, N., Sasa, N., Natsume, M., Yanagisawa, R., Inoue, K.I., Kato, Y., Osawa, T., & Yoshikawa, T. (2003). Rosmarinic acid inhibits lung injury induced by diesel exhaust particles. *Free Radical Biology and Medicine*, 34(8), 1060-1069. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(03\)00040-6](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(03)00040-6)
31. Shahrusvand, S., Eisvand, H.R., Firozabadi, F.N., & Feizian, M. (2019). Effect of sulphur and vermicompost application on agronomic traits of hubbit cultivar of soybean (*Glycine max* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*, 51(3), 447-460. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.30495/jcep.2019.669715>
32. Shankar, S., Jaiswal, L., & Rhim, J.W. (2020). New insight into sulfur nanoparticles: synthesis and applications. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(20), 2329-2356. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1780880>
33. Shimada, K., Fujikawa, K., Yahara, K., & Nakamura, T. (1992). Antioxidative properties of xanthin on autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40, 945-948. <https://doi.org/10.1021/jf00018a005>

34. Subramanian, K.S., Rajeswari, R., Yuvaraj, M., Pradeep, D., Guna, M., & Yoganathan, G. (2022). Synthesis and characterization of nano-sulfur and its impact on growth, yield, and quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Communications in Soil Science and Plant Analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(20), 2700-2709. <https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2072867>
35. Taghizadehtabari, Z., Asghari, H., Abbasdokht, H., & Babakhanzadeh, E. (2021). Effects of biochar and salicylic acid on some characteristics of (*Borago officinalis* L.) in water deficit condition. *Journal of Plant Production*, 28(1), 93-113. (In Persian). <https://doi.org/10.22069/jopp.2021.17250.2599>
36. Turganbay, S., Aidarova, S.B., Turganbay, G., Tileuberdi, Y., & Chen, S.L. (2019). Synthesis and characterization of sulfur nanoparticles with WSP/surfactants mixtures. *International Journal of Biological Chemistry*, 12, 146-152. <https://doi.org/10.26577/ijbch-2019-1-i19>.
37. Zaefarian, F., Akbarpour, V., Habibi, M., & Kaveh, M. (2019). Impact of biochar and biofertilizers on photosynthetic pigments, yield, and nutrient content of peppermint. *Journal of Crops Improvement*, 21(4), 407-422. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22059/jci.2019.279035.2194>
38. Zahedifar, M., & Najafian, S.H. (2015). Combined effect of soil applied iron and sulfur fertilisers on monoterpene content and antioxidant activity of *Satureja hortensis* L. extract. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 38(3), 361-374.
39. Zare Pak Ziaberi, S.S., & Majidian, M. (2022). Effects of zinc, boron, and sulfur on quantitative and qualitative characteristic of *Allium sativum* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 38(4), 592-607. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2022.358786.3174>



Evaluation of the Residues of Rice (*Oryza sativa* L.), Black-Eyed Pea (*Vigna unguiculata* L.), Dill (*Anethum graveolens* L.), and Aubergine (*Solanum melongena* L.) on Characteristics of Soil, in Cultivation without Chemical Inputs Corn (*Zea mays* L.)

Einollah Hesami^{1*} and Mohsen Jahan²

1- Assistant Professor, Department of Agriculture and Plant Breeding, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran

2- Professor, Department of Agriculture and Plant Breeding, Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(*- Corresponding author's Email: a.hesami@iau-shoushtar.ac.ir)

How to cite this article:

Received: 16-09-2023
Revised: 26-11-2023
Accepted: 12-12-2023
Available Online: 12-12-2023

Hesami, E., & Jahan, M. (2024). Evaluation of the residues of rice (*Oryza sativa* L.), Black-eyed pea (*Vigna unguiculata* L.), dill (*Anethum graveolens* L.), and Aubergine (*Solanum melongena* L.) on characteristics of soil, in cultivation without chemical inputs corn (*Zea mays* L.). *Journal of Agroecology*, 16(3), 439-461. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/AGRY.2023.84230.1165>

Introduction

Pre-cultivated plants are types of plants that, after harvesting the economic part, the plant residuals are returned to the soil to increase the organic matter and to improve the next plant's productivity. The use of plant residues can improve biological health by reducing the chemical inputs used in agriculture. Due to the fact that in dry areas such as North Khuzestan, the role of pre-cultivated plants and the effect of their residues on growth and performance have been studied less, this research can be done in different humidity conditions before planting the main plant, and the effects of plant residues and their role on the qualitative characteristics and organic matter of the soil and the performance of plants such as corn are promising and help farmers and researchers.

Material and Methods

This experiment was conducted in two neighboring farms. In each year, two experiments were conducted in a randomized complete block design with four replications in two years and two locations. Before planting corn in two fields, cultivation treatments and mixing residues of four plant species, including rice, cowpea, dill, eggplant, and fallow, were used as experimental treatments. After harvesting the pre-cultivation plant, investigate the effect of plant residues on some soil characteristics over time. In order to determine the amount of moisture stored in the soil, in two stages before planting and in the middle of the corn growing season, the percentage of soil moisture by



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/AGRY.2023.84230.1165>

weight was calculated. To determine the organic carbon content in the soil before planting and during the mid-growth stage of the corn plant, organic carbon was oxidized using potassium dichromate in the presence of concentrated sulfuric acid, followed by titration with semi-normal ammonium ferrous sulfate in the presence of the ortho phenanthroline reagent (Walkley, 1934). Additionally, soil nitrogen was measured in the laboratory using the Kjeldahl method (Pag et al., 1982).

Results and Discussion

In both farms, the stability of the soil grains in the second year was higher than in the first year, which is due to the placement of organic materials of plant residues in the structure of the soil grains (Koocheki et al., 2020). Soil stability increased in both farms in the second year, with the difference that the soil stability increased by 64% in WET Planting and 50% in dry Planting. In the first and second years, respectively, there was a 35 and 29% increase in soil moisture compared to the control. The results of this research showed that the positive effect of plant residues in improving the organic matter of the soil after corn cultivation in wet Planting was much higher than that of dry Planting. The rice residues increased the soil organic matter by 51 and 47% in wet Planting and dry Planting. The results of the measurement data before corn cultivation showed a significant increase in the amount of nitrogen in the soil in the second year, and this increase was 55% higher in the field with the method of wet Planting cultivation. The results of the measured data after corn cultivation in the second year showed that the amount of nitrogen in the soil increased, and the intensity of the increase in the field using the wet Planting method was 44% more than the field using the dry method.

Conclusion

The results of this experiment showed that the apparent specific weight of the soil in the second year, influenced by the use of plant residues, decreased over time. The preservation of plant residues has caused an increase in the amount of nitrogen in the soil, and in wet planting conditions, the intensity of its increase has been 44% more than in DRY Planting conditions. Also, by using plant residues of dill and beans, the amount of phosphorus in the soil increased.

Keywords: Phosphorus, Plant residues, Potassium, Organic matter, Yield

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۴۶۱-۴۳۹

ارزیابی بقایای گیاهان برنج (*Oryza sativa* L.)، لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.)،
شوید (*Anethum graveolens* L.) و بادمجان (*Solanum melongena* L.) بر ویژگی های
خاک در زراعت بدون نهاده شیمیایی ذرت (*Zea mays* L.)

عین اله حسامی^{۱*} و محسن جهان^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۱

چکیده

در نظام های تولید پایدار و کشاورزی ارگانیک، انتخاب گیاهانی به عنوان پیش کشت سازگار و استفاده از بقایای گیاهی آن ها برای رسیدن به هدف اصلی سلامت و حفظ خاک اهمیت دارد. بدین منظور، کار تحقیقاتی حاضر در دو سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰ و ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در مرکز تحقیقات گیاهان گرمسیری شهرستان شوشتر به صورت تجزیه مرکب در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام شد. در این تحقیق دو مزرعه به صورت جداگانه با روش کشت هیرم کاری و خشک کاری و کشت گیاهان پیش کشت شامل لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.)، شوید (*Anethum graveolens* L.)، بادمجان (*Solanum melongena* L.) و شاهد (آیش) به عنوان تیمارهای آزمایشی ارزیابی شدند. نتایج نشان داد مقدار نیتروژن آلی و کربن خاک با کاربرد بقایای گیاهان لوبیا، برنج، شوید و بادمجان به ترتیب ۴۰، ۵۰ و ۵۰ درصد و کربن آلی ۴۷، ۵۱، ۴۷ و ۴۳ درصد نسبت به شاهد بود. همچنین حداکثر نسبت کربن به نیتروژن خاک با کاربرد بقایای برنج نسبت به شاهد ۲۱/۸ درصد افزایش نشان داد. میزان pH خاک با کاربرد بقایای گیاهان لوبیا، برنج، شوید و بادمجان به ترتیب کاهش ۵، ۴، ۴ و ۴ درصد نسبت به شاهد را نشان داد. مقدار پتاسیم خاک در اثر کاربرد بقایای لوبیا، برنج، شوید و بادمجان به ترتیب ۳۴، ۲۱، ۲۵ و ۲۴ درصد افزایش و کاربرد بقایای گیاهان شوید و لوبیا باعث افزایش معنی دار فسفر خاک به ترتیب ۵۶ و ۸۶ درصد در مقایسه با شاهد شد. همچنین بقایای گیاهی فوق الذکر به ترتیب باعث افزایش ۲۴، ۲۷، ۲۵ و ۲۵ درصد ماده آلی خاک شد. از طرفی، کاربرد بقایای گیاه لوبیا نقش مفیدتری نسبت به سایر گیاهان در افزایش درصد رطوبت خاک به میزان ۴۴/۷ درصد داشت. پایداری خاکدانه خاک با استفاده از بقایای لوبیا باعث افزایش ۶۰ برابری نسبت به شاهد شد. با توجه به نتایج تجزیه صفات مذکور، عملکرد دانه در مزارع به روش کشت هیرم کاری و خشک کاری ذرت در حضور بقایای لوبیا به ترتیب ۳۲/۰۹ و ۳۲/۰۷ درصدی نسبت به شاهد افزایش داشت. بنابراین، روش کشت هیرم کاری و حفظ بقایای گیاهی به خصوص گیاه لوبیا چشم بلبلی (گیاهان خانواده بقولات) که در تناوب کشت شهرستان شوشتر مشاهده می شود، می تواند باعث افزایش مواد آلی، عناصر معدنی خاک و حفظ ظرفیت نگهداری آب شود که در نهایت، نقش مهمی در بهبود و حفظ کیفیت و پایداری خاک و افزایش عملکرد بهینه در مزارع ذرت دارد.

واژه های کلیدی: بقایای گیاهی، پتاسیم، عملکرد، فسفر، ماده آلی، نیتروژن

۱- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

۲- استاد، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(*)- نویسنده مسئول (Email: a.hesami@iau-shoushtar.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/AGRY.2023.84230.1165>

مقدمه

کشاورزی رایج به شیوه‌های مختلفی تولیدات آینده را تحت تأثیر سوء قرار می‌دهد و با استفاده از نهاده‌های ناسازگار با شرایط بوم-شناختی باعث تغییر و تخریب محیط‌زیست در درازمدت می‌شوند. ورود نهاده‌های ناسازگار مانند علفکش‌ها و نهاده‌های شیمیایی علاوه بر تحمیل هزینه‌های اضافی، اثرات جبران‌ناپذیری بر محیط‌زیست و سلامت عمومی دارد (Nassiri Mahallati et al., 2001). از سوی دیگر، به گزارش کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2007)، تناوب‌های زراعی رایج و ناقص در کشور به دلیل طول دوره زمانی کوتاه، میزان پوشش ناکافی زمین، عدم جذب کافی عناصر غذایی به خصوص نیتروژن توسط گیاه و تأثیر بر فشردگی خاک و ساختمان خاک نامناسب کارایی قابل قبولی ندارند. گیاهان پیش‌کشت به گونه‌هایی از گیاهان گفته می‌شود که بعد از برداشت بخش اقتصادی، دیگر بقایای گیاه به خاک برگردانده می‌شوند و هدف از برگرداندن بقایای آن‌ها به خاک افزایش مواد آلی خاک، حفظ یا افزایش قابلیت دسترسی سایر گیاهان به خاک حاصلخیز و پایدار، جلوگیری از فرسایش و در مواردی نیز هدف، کاهش عوامل بیماری‌زای خاک و تراکم علف‌های هرز است (Hesami et al., 2020).

اهمیت گیاهان پیش‌کشت زمانی دوچندان می‌شود که بقایای حاصل از آن‌ها به خاک برگردانده و سبب فعالیت ریز موجودات خاکری و تغییر در خرد اقلیم‌های موجود در خاک می‌شود که بعد از دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت و بلندمدت خصوصیات کیفی خاک تغییر و در ادامه این تغییرات، رشد و عملکرد بهینه گیاه‌زراعی و افزایش سلامت خاک را متأثر خواهد کرد (Mesgarbashi et al., 2013). مخلوط کردن بقایای گیاهان با خاک مزرعه، وزن مخصوص ظاهری کاهش و پایداری خاک را افزایش می‌دهد (Katsvairo et al., 2002). گزارش شده است که مخلوط کاه برنج با خاک بر افزایش جذب نیتروژن توسط گیاهان مؤثر و در یک دوره طولانی‌مدت، جذب نیتروژن و کارایی کود نیتروژن را افزایش داد (Eagle et al., 2001). بازگرداندن بقایای گیاهی به خاک به‌ویژه در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک در افزایش ذخیره رطوبت خاک مؤثر می‌باشد که با افزایش رطوبت خاک، افزایش مواد آلی خاک را می‌توان مشاهده کرد، در صورتی که در خاک‌های دارای رطوبت کم کاهش تجزیه بقایای

گیاهی و کاهش دستیابی به توازن مناسب مواد آلی خاک مشاهده خواهد شد (Hesami et al., 2018). بنابراین، امروزه استفاده بیش از حد از فرآورده‌های مصنوعی ساخت بشر مانند کودهای شیمیایی به منظور افزایش محصول در واحد سطح زمین‌های کشاورزی سبب برهم‌خوردن توازن اکولوژیکی در محیط‌زیست شده و خطرات جدی برای سلامت محیط‌زیست فراهم کرده است. این در حالی است که استفاده از کودهای آلی و بقایای گیاهی مناسب در کشاورزی ارگانیک، علاوه بر حاصلخیزی خاک سبب کاهش تأثیرات منفی حاصل از کاربرد بیش از اندازه کودهای شیمیایی و مصنوعی ساخت بشر می‌شود (Mishra et al., 2004).

استان خوزستان با وجود برخورداری از خاک‌های فقیر از مواد آلی و کمبود آب به خصوص در سال‌های کم‌بارش، از نظر میزان تولید و سطح زیرکشت ذرت در سال‌های مختلف حائز رتبه‌های اول و دوم در بین سایر استان‌های ایران بوده است. با وجود اهمیت غلات در خوزستان و فقر مواد آلی خاک، از اثرات حفظ بقایای گیاهی به منظور افزایش عملکرد ذرت، کمتر استفاده می‌شود و هنوز سوزاندن بقایا و خروج ۱۰۰ درصد بقایای گیاهان از زمین به صورت مرسوم و همیشگی است (Jahan et al., 2021).

با توجه به اینکه در مناطق خشکی مانند شمال خوزستان، نقش گیاهان پیش‌کشت و تأثیر بقایای آن‌ها بر رشد و عملکرد کمتر مورد بررسی قرار گرفته است، انجام این تحقیق می‌تواند در روش کشت هیرم‌کاری و خشک‌کاری قبل از کشت گیاه اصلی و اثرات بقایای گیاهی و نقش آن‌ها بر خصوصیات کیفی و ماده‌آلی خاک و عملکرد گیاه ذرت امیدوارکننده باشد و به کشاورزان و محققان کمک کند. بنابراین، اثرات بقایای گیاهان پیش‌کشت را در دو نوع روش کشت هیرم‌کاری و خشک‌کاری بر عملکرد ذرت، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در دو سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰ جهت کشت گیاهان پیش‌کشت و گیاه ذرت در دو مزرعه مرکز تحقیقات گیاهان گرمسیری دانشگاه شوشتر که در شش کیلومتری شوشتر با عرض جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه و طول جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه و ارتفاع ۶۵ متر از دریا واقع شده است، انجام

گردید. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. در هر دو سال زراعی مورد بررسی و در دو مزرعه به‌روش کشت هیرم‌کاری و خشک‌کاری، زمان کاشت و برداشت ذرت و گیاهان پیش‌کشت طبق **جدول ۱** انجام شد و برای تیمارهای پیش-کشت و در پایان دوره رشدونمو آن‌ها، بقایا با خاک مخلوط شد (چهار

جدول ۱- زمان کشت و برداشت و میزان بقایای گیاهان پیش‌کشت و ذرت دانه‌ای در دو مزرعه طی دو سال آزمایش

Table 1- Time of planting and harvesting and the amount of pre-planted and corn plant residues in two fields during the two years of the experiment

گیاهان Plants	زمان کشت Planting time		میزان بقایای گیاهان پیش کشت The amount of pre-planted plant residues (g.m- ²)				زمان برداشت و برگشت بقایا به خاک Harvesting time and returning the residues to the soil	توضیحات Description
	سال اول First year	سال دوم Second year	مزرعه ۲ Farm 2		مزرعه ۱ Farm 1			
			سال اول First year	سال دوم Second year	سال اول First year	سال دوم Second year		
برنج Rice	تیرماه 1399 Aug. 2020	-	1021.29	-	999.21	-	آبان ماه Nov.	برداشت دانه Harvest seed
لوبیاچشم‌بلبلی Black-eyed pea	اسفندماه 1399 April 2020	1400 2021	712.45	723.11	691.42	697.03	تیر ماه July	"برداشت نیام Harvest pod
شوید Dill	بهمن ماه 1399 March 2020	1400 2021	449.15	417.12	434.78	414.25	تیر ماه July	برداشت برگ Harvest leaf
بادمجان Aubergine	بهمن‌ماه 1399 March 2020	1400 2021	641.11	621.16	631.13	602.13	تیر ماه July	برداشت میوه Harvest fruit
ذرت Corn	مردادماه 1400 Aug. 2021	1401 2022	-	-	-	-	آبان ماه Oct.	بالا و بقایای هوایی و زیرزمینی از خاک خارج Cobs and aerial and underground residues from outside soil

شدند، سپس نمونه‌ها جهت توزین و خشک کردن به آزمایشگاه منتقل و عملکرد محاسبه شد. مابقی بوته‌های ذرت در هر دو مزرعه کاملاً به کمک نیروی انسانی به همراه کلیه بقایای هوایی و زیرزمینی گیاه از خاک مزارع خارج شدند.

بعد از برداشت گیاه پیش‌کشت (**جدول ۱**) و برای بررسی تأثیر بقایای گیاهی گیاهان پیش‌کشت بر برخی خصوصیات خاک دو مزرعه در هر دو سال زراعی کشت ذرت، در دو مرحله زمانی پیش از کاشت و اواسط رشد ذرت، از هر کرت تیمار آزمایشی از چهار نقطه، نمونه خاک از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری جمع‌آوری و در نهایت، یک نمونه به‌عنوان نمونه اصلی استحصال شد. از نمونه خاک هر تیمار، صفات

مزرعه‌های مورد آزمایش در فصول زراعی زمستان و تابستان زیرکشت گیاهان پیش‌کشت و ذرت دانه‌ای بودند. بعد از برداشت گیاهان پیش‌کشت، صد درصد بقایای گیاهی آن‌ها بلافاصله ۱۰۰ در خاک مزرعه مخلوط شد، در تیمار آیش اجازه کشت و یا رشد گیاهی داده نشد. عملیات کشت ذرت (*Zea mays* L.) رقم سینگل کراس ۷۰۴، در یک مزرعه به‌روش کشت هیرم‌کاری و مزرعه دیگر به‌روش خشک‌کاری با دستگاه ردیف‌کار انجام شد. مراحل مدیریت دوره داشت مانند آبیاری براساس نیاز آبی گیاه ذرت انجام گرفت. جهت محاسبه عملکرد ذرت در زمان مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، از مساحت دو مترمربع از وسط هر کرت آزمایشی، بوته‌های ذرت کف‌بر

میزان درصد رطوبت وزنی، شاخص پایداری خاکدانه‌ها، میزان کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، نسبت کربن به نیتروژن، pH و هدایت الکتریکی خاک اندازه‌گیری و محاسبه شد. ضمناً قبل از هر کشت گیاه پیش‌کشت و از قبل شروع آزمایش در هر دو مزرعه، برخی از مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دو مزرعه آزمایشی اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

درصد رطوبت وزنی خاک: پیش از کشت و در اواسط دوره رشد ذرت با استفاده از معادله ۱، درصد رطوبت وزنی خاک اندازه‌گیری شد.

$$\% \theta = \frac{W_w - W_s}{W_s} \times 100 \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن، W_w : وزن خاک مرطوب، W_s : وزن خاک خشک و θ : درصد وزنی آب خاک است.

شاخص پایداری خاکدانه‌ها: این شاخص پیش از کشت و در اواسط دوره رشد ذرت، پس از قرار دادن نمونه‌های خاک بر روی یک ردیف الک (الک‌ها با اندازه‌های ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ میلی‌متر از بالا به پایین) که در آب با سرعت و زمان مشخص، بالا و پایین برده می‌شدند، با استفاده از معادله ۲ تعیین شد.

$$WD = \sum w_i x_i \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن، x_i : میانگین قطر خاکدانه‌های باقی‌مانده روی هر الک (میلی‌متر) و w_i : نسبت وزنی خاکدانه‌ها در هر الک به وزن کل نمونه خاک است (Zaeri et al., 2014).

کربن آلی خاک: پیش از کشت و در اواسط دوره رشد ذرت، اکسیداسیون کربن آلی توسط دی‌کرومات‌پتاسیم در مجاورت اسیدسولفوریک غلیظ صورت گرفت و سپس، توسط آمونیم-فروسولفات نیم نرمال در مجاورت معرف ارتوفانترولین با روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد.

نیتروژن خاک: پیش از کشت ذرت و در اواسط دوره رشد ذرت، به‌روش کج‌لدا نیتروژن خاک اندازه‌گیری شد (Pagh et al., 1982). **میزان فسفر خاک:** پیش از کاشت و در اواسط رشد گیاه ذرت، فسفر خاک با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (Pagh et al., 1982).

پتاسیم خاک: پتاسیم خاک پیش از کشت ذرت و در اواسط دوره رشد ذرت، با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد (Pagh et al., 1982).

نسبت کربن به نیتروژن: نسبت کربن به نیتروژن پیش از کشت ذرت و در اواسط دوره رشد ذرت، از تقسیم کربن آلی به نیتروژن خاک محاسبه شد (Pagh et al., 1982).

PH خاک: PH خاک پیش از کشت ذرت و در اواسط دوره رشد ذرت، به‌وسیله دستگاه pH متر و در مخلوط اشباع خاک اندازه‌گیری شد (Page et al., 1982).

جدول ۲- برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک دو مزرعه آزمایشی

Table 2- Some physical and chemical characteristics of the two experimental farms

خصوصیات		مزرعه ۱	مزرعه ۲
Characteristics		Farm1	Farm2
Soil texture		Clay-loam	Clay-loam
		Sand27% silt 21% clay52%	Sand28% silt 17% clay55%
EC	dS.m ⁻¹	3.4	3.01
P	mg.kg ⁻¹	4.21	4.98
K	mg.kg ⁻¹	125	107
Total N	%	0.11	0.09
Organic C	%	0.40	0.38
pH		7.3	7.4

Excel ترسیم شدند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

از قبل به‌منظور اطمینان از یکنواختی واریانس اشتباه آزمایشی از آزمون بارتلت استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با نرم‌افزار SAS نسخه ۹ انجام گرفت و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار

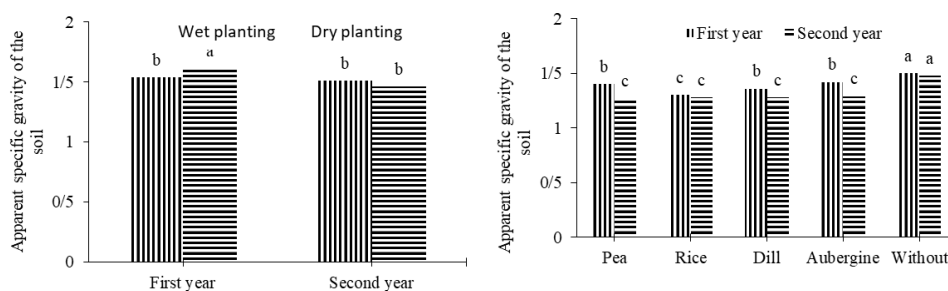
نتایج و بحث

وزن مخصوص ظاهری خاک

نتایج نشان داد که وزن مخصوص ظاهری خاک در قبل از کشت ذرت به طور معنی داری تحت تأثیر برهم کنش تیمارهای آزمایش با سال آزمایش بود (جدول ۳). وزن مخصوص ظاهری خاک در دو سال متفاوت بود و این تفاوت به بقایای گیاهان پیش کشت نیز بستگی داشت. در قبل از کشت ذرت مشخص شد که وزن مخصوص ظاهری خاک در سال اول بالاتر از سال دوم بود و این افزایش در کرت‌های متأثر از بقایای لوبیا، شوید و بادمجان نیز وجود داشت. کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک در سال دوم در تیمارهای متأثر از بقایای لوبیا، شوید و بادمجان به ترتیب ۱۰، ۶ و ۱۰ درصد نسبت به سال اول بود (شکل ۱). دلیل آن می‌تواند ادغام تدریجی بقایای گیاهی در ساختمان و ساختار خاک باشد که به نظر می‌رسد در سال دوم بیش از سال اول بود. مواد آلی خاک با وجود بقایای گیاهی افزایش یافته و به دنبال آن دانه‌بندی خاک نیز افزایش نشان می‌دهد و در نهایت، با افزایش تخلخل خاک، کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک مشاهده می‌شود (Koocheki et al., 2020). بررسی وزن مخصوص ظاهری خاک در قبل از کشت و همچنین بعد از کشت نشان از تغییرات مشابه در هر دو زمان دارد، به طوری که وزن مخصوص ظاهری خاک در بعد از کشت نیز به شدت تحت تأثیر

شاخص پایداری خاکدانه

داده‌های شاخص پایداری خاکدانه در قبل و پس از کشت تحت تأثیر برهم کنش سال و روش کشت و همچنین بقایای گیاهان پیش-کشت و سال بود (جدول ۳). در هر دو مزرعه، پایداری خاکدانه در سال دوم بیشتر از سال اول بود، این موضوع به دلیل قرار گرفتن مواد آلی بقایای گیاهی در ساختار خاکدانه‌ها می‌باشد (Koocheki et al., 2020).



شکل ۱- تأثیر بقایای گیاهان پیش کشت بر وزن مخصوص ظاهری خاک در دو سال (الف) تغییرات وزن مخصوص ظاهری دو روش کشت بعد از کشت ذرت در طی دو سال (ب)

Fig. 1- The effect of pre-cultivated plant residues on the apparent specific weight of the soil in two years (a), changes in the apparent specific gravity of two cultivation methods in two years (b)

First year: سال اول، Second year: سال دوم، Black-eyed pea: لوبیا چشم بلبلی، Rice: برنج، Dill: شوید، Aubergine or Eggplant: بادمجان، Without: بدون، Dry Planting: خشک کاری، Wet Planting: هیرم کاری،

* میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند.

* The means with common Letters, at the Level of 5% probability, are not significantly different from each other.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک مزارع آزمایشی تحت تأثیر بقایای گیاهان پیش کشت و شاهد (آیش) در دو سال مورد مطالعه
Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of some physical characteristics of the soil of the experimental fields under the influence of the remains of pre-cultivated and control plants in the two years under study

and control plants in the two years under study											
وزن مخصوص ظاهری خاک Specific gravity of soil	شاخص پایداری خاکدانه Index of soil stability	شاخص مخروطی خاک Cone index of the soil				درصد رطوبت خاک Soil moisture percentage				منابع تغییر S.O.V	
		قبل از کشت Pre-cultivation stage	بعد از کشت Post-cultivation stage	قبل از کشت Pre-cultivation stage	بعد از کشت Post-cultivation stage	قبل از کشت Pre-cultivation stage	بعد از کشت Post-cultivation stage	قبل از کشت Pre-cultivation stage	بعد از کشت Post-cultivation stage		
قبل از کشت Pre-cultivation stage	بعد از کشت Post-cultivation stage	قبل از کشت Pre-cultivation stage	بعد از کشت Post-cultivation stage	قبل از کشت Pre-cultivation stage	بعد از کشت Post-cultivation stage	قبل از کشت Pre-cultivation stage	بعد از کشت Post-cultivation stage	قبل از کشت Pre-cultivation stage	بعد از کشت Post-cultivation stage	df	درجه آزادی
0.06 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.7 ^{ns}	1.3 ^{ns}	4.3 ^{**}	3.2 ^{**}	29.6 ^{ns}	137.8 ^{ns}	1	روش کشت Cultivation method	1	منابع تغییر S.O.V
0.08 ^{ns}	0.1 ^{ns}	22.2 [*]	5.8 ^{ns}	0.78 [*]	0.7 ^{**}	1001 [*]	144.1 ^{ns}	1	سال Year	1	منابع تغییر S.O.V
0.006 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.74 ^{**}	0.0003 ^{ns}	0.000006 ^{ns}	0.59 ^{ns}	0.47 ^{ns}	1	Year × cultivation method	1	منابع تغییر S.O.V
0.003	0.005	0.1	0.03	0.86	1	0.19	2.4	12	بلوک در سال × روش کشت E bok per Year × cultivation method	12	منابع تغییر S.O.V
0.16 [*]	0.09 [*]	6.3 ^{ns}	1.8 ^{ns}	0.86 ^{**}	1 ^{**}	22.2 ^{ns}	92.4 [*]	4	بقایای گیاهان پیش کشت Residual of previously cultivated plants	4	منابع تغییر S.O.V
0.01 [*]	0.01 ^{**}	1.4 ^{**}	0.3 ^{**}	0.03 ^{**}	0.03 ^{ns}	3.8 ^{**}	8.7 ^{**}	4	بقایای گیاهان پیش کشت × سال Residual of cultivated plants × year	4	منابع تغییر S.O.V
0.001 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.06 ^{**}	1 ^{**}	0.21 ^{ns}	0.33 ^{ns}	4	بقایای گیاهان پیش کشت × روش کشت Residual of cultivated plants × cultivation method	4	منابع تغییر S.O.V
0.0003 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	0.007 ^{**}	0.05 ^{**}	0.0003 ^{ns}	0.000001 ^{**}	0.16 ^{ns}	4.7 ^{**}	4	بقایای گیاهان پیش کشت × سال × روش کشت The residual of cultivated plants × Year × cultivation method	4	منابع تغییر S.O.V
0.001	0.001	0.02	0.009	0.006	0.02	0.21	0.64	48	خطا Error	48	منابع تغییر S.O.V
2.4	2.6	12.8	15.2	7.1	12	5.3	4.3	-	ضریب تغییرات CV (%)	-	منابع تغییر S.O.V

ns و * و **: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح پنج و یک درصد
ns, * and ** are No significant and significant at the 5 and 1 percent level, respectively

ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک مزارع آزمایشی تحت تأثیر بقایای گیاهان پیش کشت و شاهد (آیش) در دو سال مورد مطالعه
Continuation of Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of some physical characteristics of the soil of the experimental fields under the influence of the remains of pre-cultivated and control plants in the two years under study.

منابع تغییر S.O.V	df	نیترژن N			کربن آلی Organic C			هدایت الکتریکی EC			ماده آلی Organic matter		
		قبل از کشت Pre-cultivation stage	بعد از کشت Post-cultivation stage	قبل از کشت Pre-cultivation stage	قبل از کشت Pre-cultivation stage	بعد از کشت Post-cultivation stage	قبل از کشت Pre-cultivation stage	قبل از کشت Pre-cultivation stage	بعد از کشت Post-cultivation stage	قبل از کشت Pre-cultivation stage	بعد از کشت Post-cultivation stage	قبل از کشت Pre-cultivation stage	بعد از کشت Post-cultivation stage
روش کشت	1	0.003 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.03 ^{**}	0.02 ^{**}	0.8 ^{ns}	0.8 ^{ns}	0.8 ^{ns}	0.8 ^{ns}	0.8 ^{ns}
Cultivation method	1	0.02 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.001 [*]	0.001 [*]	0.001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.001 ^{ns}
سال	1	0.005 ^{**}	0.006 [*]	0.01 ^{**}	0.01 ^{**}	0.006 [*]	0.000001 ^{ns}	0.000005 ^{ns}	0.04 ^{**}	0.04 ^{**}	0.02 [*]	0.02 [*]	0.02 [*]
Year	12	0.0001	0.0008	0.001	0.001	0.0008	0.002	0.001	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002
Year × cultivation method	4	0.009 ^{ns}	0.3 ^{**}	0.38 ^{**}	0.38 ^{**}	0.3 ^{**}	0.04 ^{**}	0.04 ^{**}	1.15 ^{**}	1.15 ^{**}	0.89 ^{ns}	0.89 ^{ns}	0.89 ^{ns}
بلوک در سال × روش کشت	4	0.004 ^{**}	0.002 ^{ns}	0.006 ^{**}	0.006 ^{**}	0.002 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.000008 ^{ns}	0.01 ^{**}	0.01 ^{**}	0.007 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.007 ^{ns}
Residual of previously cultivated plants	4	0.0002 ^{ns}	0.007 [*]	0.0008 ^{ns}	0.0008 ^{ns}	0.0007 [*]	0.01 ^{**}	0.01 ^{**}	0.02 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.02 [*]	0.02 [*]	0.02 [*]
بقایای گیاهان پیش کشت × سال	4	0.0001 ^{ns}	0.0008 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.0008 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.000005 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.002 ^{ns}
بقایای گیاهان پیش کشت × روش کشت	4	0.0002 ^{ns}	0.007 [*]	0.0008 ^{ns}	0.0008 ^{ns}	0.0007 [*]	0.01 ^{**}	0.01 ^{**}	0.02 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.02 [*]	0.02 [*]	0.02 [*]
Residual of cultivated plants × cultivation method	4	0.0001 ^{ns}	0.0008 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.0008 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.000005 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.002 ^{ns}
بقایای گیاهان پیش کشت × سال × روش کشت	4	0.0001 ^{ns}	0.0008 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.0008 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.000005 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.002 ^{ns}
The residual of cultivated plants × Year × cultivation method	48	0.00007	0.001	0.001	0.001	0.001	0.006	0.006	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
خطا	48	0.00007	0.001	0.001	0.001	0.001	0.006	0.006	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Error	48	0.00007	0.001	0.001	0.001	0.001	0.006	0.006	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
ضریب تغییرات CV (%)	-	7.8	5.9	5.6	5.6	5.9	2.3	2.4	5.6	5.6	5.8	5.8	5.8

ns و * و **: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح پنج و یک درصد
ns, * and ** are No significant and significant at the 5 and 1 percent level, respectively

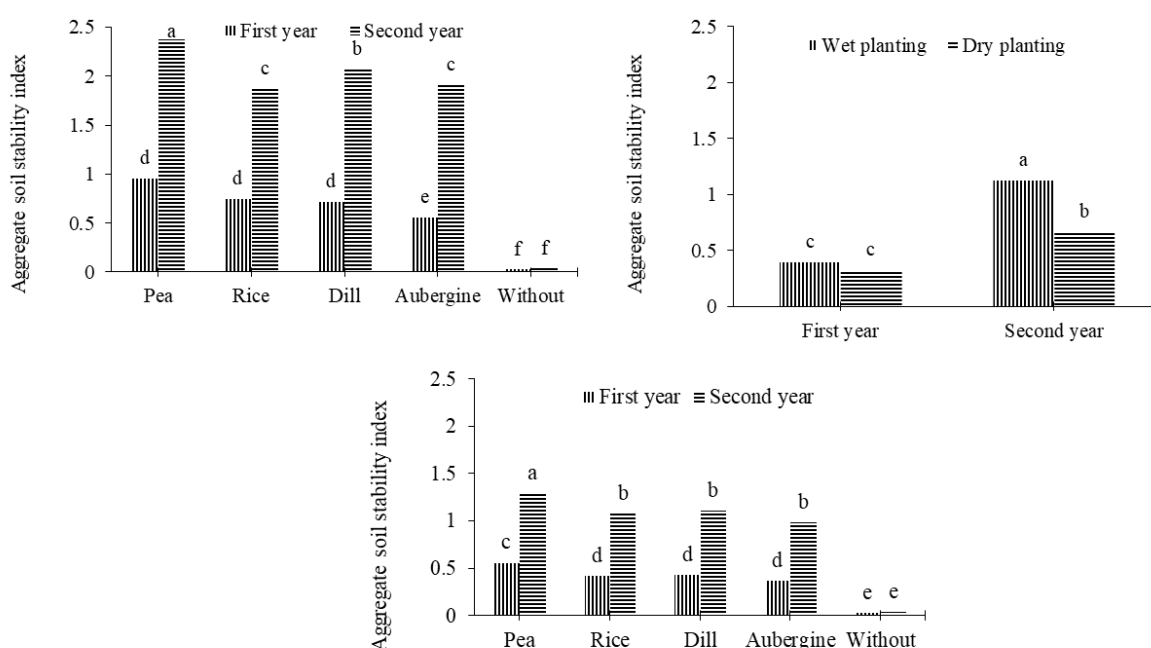
ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک مزارع آزمایشی تحت تأثیر بقایای گیاهان پیش کشت و شاهد (آیش) در دو سال مورد مطالعه
Continuation of Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of some physical characteristics of the soil of the experimental fields under the influence of the remains of pre-cultivated and control plants in the two years under study.

منابع تغییر S.O.V	df	pH		پتاسیم K				فسفر P		نسبت کربن به نیتروژن C:N ratio		عملکرد دانه Yield
		قبل از کشت		بعد از کشت	قبل از کشت	بعد از کشت	قبل از کشت	بعد از کشت	قبل از کشت	بعد از کشت		
		Pre-cultivation stage	Post-cultivation stage	Pre-cultivation stage	Post-cultivation stage	Pre-cultivation stage	Post-cultivation stage	Pre-cultivation stage	Post-cultivation stage			
روش کشت Cultivation method	1	0.02 ^{ns}	0.11 ^{ns}	10904 ^{ns}	13081 ^{ns}	258 ^{ns}	449 ^{ns}	9.1 ^{ns}	8.9 ^{ns}	1974261.07 ^{ns}		
سال Year	1	1.25*	0.04 ^{ns}	4205 ^{ns}	1001 ^{ns}	1.7 ^{ns}	88 ^{ns}	67.2 ^{ns}	57.2 ^{ns}	527709.03*		
Year × cultivation method بلوک در سال × روش کشت E bok per Year × cultivation method	1	0.004 ^{ns}	0.18*	204 ^{ns}	1665**	1.9**	34.2**	26.1**	24.7**	12456198.32**		
12		0.02	0.16	47.4	74	0.18	0.41	0.5	0.48		9779815	
بقایای گیاهان پیش کشت Residual of previously cultivated plants	4	0.05 ^{ns}	0.16 ^{ns}	1241 ^{ns}	3906**	9.9 ^{ns}	64.3**	26.5 ^{ns}	27.4 ^{ns}	23228589.15**		
بقایای گیاهان پیش کشت × سال Residual of cultivated plants × year	4	0.06**	0.02*	527**	59.8	2.7**	3.9**	12.3**	9.4**	63849.51 ^{ns}		
بقایای گیاهان پیش کشت × روش کشت Residual of cultivated plants × cultivation method	4	0.004 ^{ns}	0.01 ^{ns}	81.5 ^{ns}	36.7 ^{ns}	0.54 ^{ns}	3.6 ^{ns}	0.54 ^{ns}	0.6 ^{ns}	1039889.9**		
بقایای گیاهان پیش کشت × سال × روش کشت The residual of cultivated plants × Year × cultivation method	4	0.001 ^{ns}	0.02*	31.1 ^{ns}	72 ^{ns}	0.7*	3.4**	1.4**	1.4*	35648.18 ^{ns}		
خطا Error	48	0.004	0.008	43.8	47.7	0.22	0.58	0.32	0.39	83697.10		
ضریب تغییرات CV (%)	-	0.89	1.2	4.7	4.7	9.3	11.4	9.6	10.7	6.2		

ns و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد
ns, * and ** are No significant and significant at the 5 and 1 percent level, respectively

افزایش معنی‌دار و بالا در شاخص پایداری خاکدانه‌های خاک نسبت به شاهد شد (شکل ۲). استفاده از بقایای گیاهی به دلیل اضافه کردن مواد آلی به خاک، باعث افزایش پایداری خاکدانه می‌شود (Afzali Groh et al., 2019). مواد آلی به دلیل ایجاد اتصال میان ذرات کوچک باعث تشکیل خاکدانه‌های بزرگ‌تر و پایداری می‌گردد که قدرت کافی مقابله با پراکنده شدن دارند (Wanas et al., 2006).

پایداری خاکدانه در هر دو مزرعه در سال دوم افزایش یافت، با این تفاوت که در مزرعه هیرم‌کاری ۶۴ درصد و در مزرعه خشک-کاری ۵۰ درصد افزایش پایداری خاکدانه اتفاق افتاد (شکل ۲). در بین بقایای گیاهان، بقایای گیاه لوبیا در سال اول باعث افزایش ۱۸ برابری و در سال دوم ۳۲ برابر پایداری خاکدانه شد (شکل ۲). این نتیجه می‌تواند به هوموسی شدن خاک مربوط شود (Hesami et al., 2018). در سال اول و دوم بعد از کشت، بقایای گیاهی لوبیا باعث



شکل ۲- تغییرات پایداری خاکدانه در دو روش کشت قبل از کشت ذرت در طی دو سال (الف)، تأثیر بقایای گیاهان پیش کشت بر پایداری خاکدانه قبل از کشت ذرت در دو سال (ب)، تأثیر بقایای گیاهان پیش کشت بر پایداری خاکدانه بعد از کشت ذرت در دو سال (ج)

Fig. 2- Changes in soil stability in two cultivation methods before corn cultivation in two years (a), the effect of pre-cultivation plant residues on soil stability before corn cultivation in two years (b), the effect of pre-cultivation plant residues cultivation on the stability of soil after corn cultivation in two years (c).

First year: سال اول، Second year: سال دوم، Black-eyed pea: لوبیا چشم بلبلی، Rice: برنج، Dill: شوید، Aubergine or Egg plant: بادمجان، Without: آیش، Wet Planting: هیرم‌کاری، Dry Planting: خشک‌کاری

* میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* The means with common Letters, at the Level of 5% probability, are not significantly different from each other.

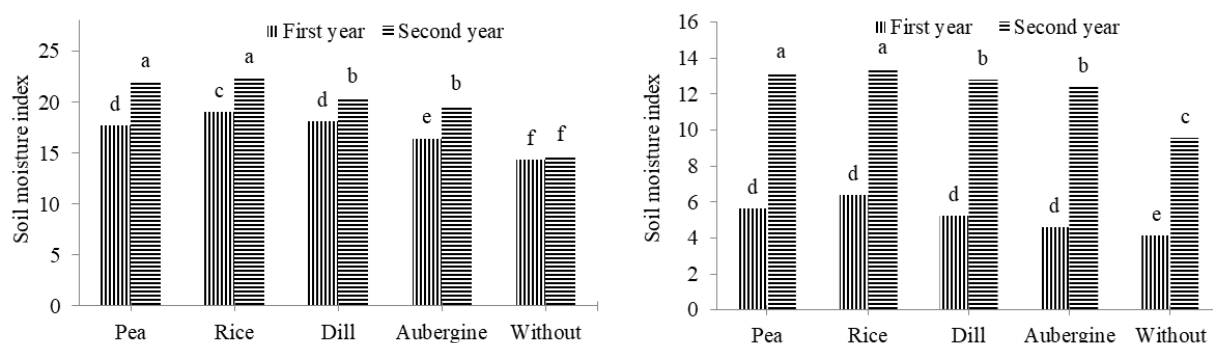
رطوبت خاک

نتایج نمونه‌برداری از خاک در قبل و پس از کشت ذرت نشان داد، محتوای رطوبت خاک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر برهم‌کنش سال و نوع بقایای گیاهان پیش کشت بود (جدول ۳). نتایج بیانگر این مطلب

بود که در سال دوم، محتوای رطوبت خاک به‌طور معنی‌داری بالاتر از سال اول بود و از طرف دیگر، بقایای برنج باعث حفظ بیشتر رطوبت خاک در مقایسه با سایر بقایای گیاهی شد و در سال‌های اول و دوم به‌ترتیب باعث افزایش ۳۵ و ۲۹ درصدی رطوبت خاک در مقایسه با

کاربرد بقایای گیاهی منجر به بهبود ظرفیت خاک برای ذخیره آب می‌گردد. بررسی تأثیر ماده آلی خاک بعد از کشت ذرت بر رطوبت خاک (درصد وزنی) نشان داد، که این تأثیر مستقیم و مثبت است، یعنی با افزایش میزان ماده آلی خاک بر رطوبت خاک (درصد وزنی) نیز افزوده می‌شود. همبستگی قوی ($R^2=0.931$) بین داده‌های درصد رطوبت خاک و درصد ماده آلی خاک وجود دارد.

شاهد شد (شکل ۳). این اختلاف محتوای رطوبت خاک در دو سال به میانگین درجه حرارت و تغییرات بارندگی مرتبط می‌شود (Afzali Groh et al., 2019). افزایش محتوای رطوبت خاک توسط بقایای پیش‌کشت در سال دوم مشهود بود و بقایای کلیه گیاهان پیش‌کشت باعث افزایش محتوای رطوبت خاک پس از کشت ذرت شدند (شکل ۳). بنایان اول و همکاران (Bannayan Aval et al., 2020) در تحقیقات خود نشان دادند که کاربرد ۶۰ درصد بقایا سبب تخلخل خاک و نفوذپذیری بیشتر آب در اعماق بالای خاک شد، بنابراین



شکل ۳- تأثیر بقایای گیاهان پیش‌کشت بر رطوبت خاک قبل از کشت ذرت در طی دو سال (الف)، تأثیر بقایای گیاهان پیش‌کشت بر رطوبت خاک بعد از کشت ذرت در طی دو سال (ب)

Fig. 3- The effect of pre-cultivated plant residues on soil moisture before corn cultivation in two years (a), the effect of pre-cultivated plant residues on soil moisture after corn cultivation in two years (b)

:Without: بادمجان، Aubergine or Eggplant، شوید، Dill: برنج، Rice: لوبیا چشم بلبلی، Second year: سال دوم، First year: سال اول، Wet Planting: هیرم‌کاری، Dry Planting: خشک‌کاری

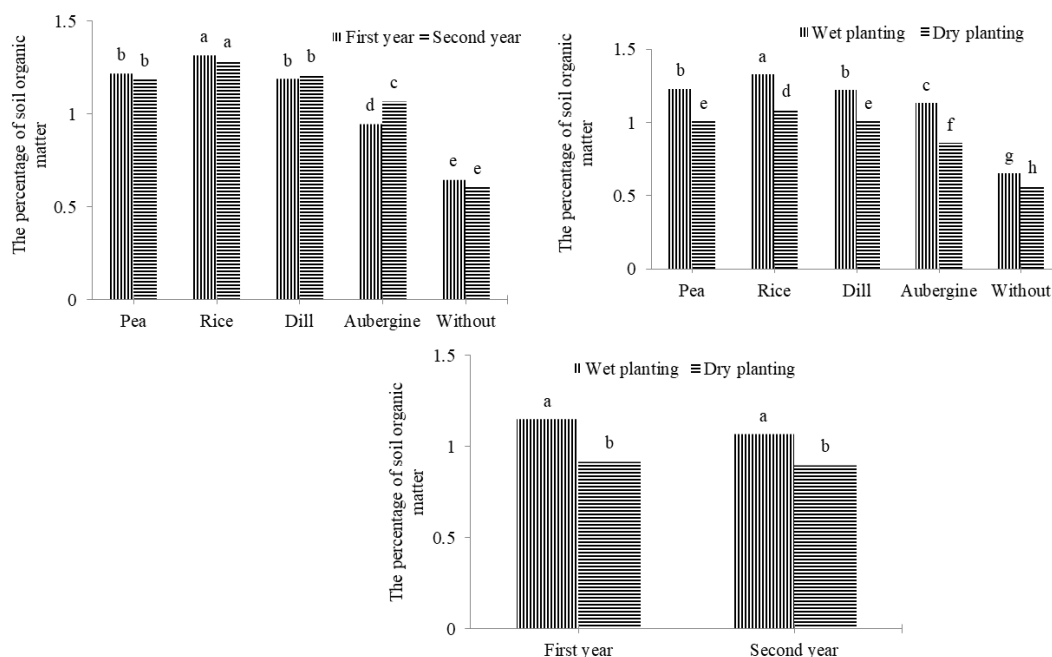
* میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* The means with common Letters, at the Level of 5% probability, are not significantly different from each other

2016) نیز گزارش کردند که استفاده از گیاهان پوششی باعث افزایش معنی‌دار ماده آلی خاک شد. نتایج این تحقیق نشان داد که تأثیر مثبت بقایای گیاهی در بهبود ماده آلی خاک پس از کشت ذرت در مزرعه هیرم‌کاری به مراتب بیشتر از مزرعه خشک‌کاری بود (شکل ۴)، بقایای برنج باعث افزایش ۵۱ و ۴۷ درصدی ماده آلی خاک در مزرعه هیرم‌کاری و خشک‌کاری شد. همچنین بقایای گیاهان لوبیا، برنج، شوید و بادمجان به ترتیب باعث افزایش ۲۴، ۲۷، ۲۷ و ۲۵ درصدی ماده آلی خاک نسبت به شاهد شدند (شکل ۴). اعتقاد بر این است که حضور بقایای گیاهی در سطح خاک باعث بهبود ماده آلی خاک و کاهش فرسایش خاک شود و می‌تواند رطوبت خاک و سرعت نفوذ آب به داخل خاک را افزایش دهد (Smith et al., 2011).

ماده آلی خاک

ماده آلی خاک به‌طور معنی‌داری متأثر از برهم‌کنش‌های دوگانه سال با نوع روش کشت و سال با بقایای گیاهان پیش‌کشت بود (جدول ۳). در هر دو سال آزمایش، استفاده از بقایای گیاهان پیش‌کشت، باعث افزایش معنی‌دار ماده آلی خاک قبل از کشت ذرت شد (شکل ۴) و در این رابطه، بقایای برنج مؤثرتر از سایر بقایای گیاهان زراعی بود، به‌طوری‌که در هر دو سال باعث دو برابر شدن ماده آلی خاک سطحی شد (شکل ۴). احتمالاً تجزیه آهسته بقایای برنج باعث بهبود ماده آلی خاک شد. پیش از این نیز محققان گزارش کردند که حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک باعث تقویت ماده آلی می‌شود (Hesami et al., 2018). کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2018).



شکل ۴- تأثیر بقایای گیاهان پیش کشت بر ماده آلی خاک قبل از کشت ذرت در طی دو سال (الف). تأثیر بقایای گیاهان پیش کشت بر ماده آلی در دو روش کشت بعد از کشت ذرت (ب) و تأثیر بقایای گیاهان پیش کشت بر ماده آلی خاک بعد از کشت ذرت (ج)

Fig. 4- The effect of pre-cultivation plant residues on soil organic matter before corn cultivation during two years (a). The effect of pre-cultivated plant residues on organic matter in two cultivation methods after corn cultivation (b) and the effect of pre-cultivated plant residues on soil organic matter in A after corn cultivation (c)

First year: سال اول، Second year: سال دوم، Black-eyed pea: لوبیا چشم بلبلی، Rice: برنج، Dill: شوید، Aubergine or Eggplant: بادمجان، Without:

آیش، Wet Planting: هیرم کاری، Dry Planting: خشک کاری

* میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

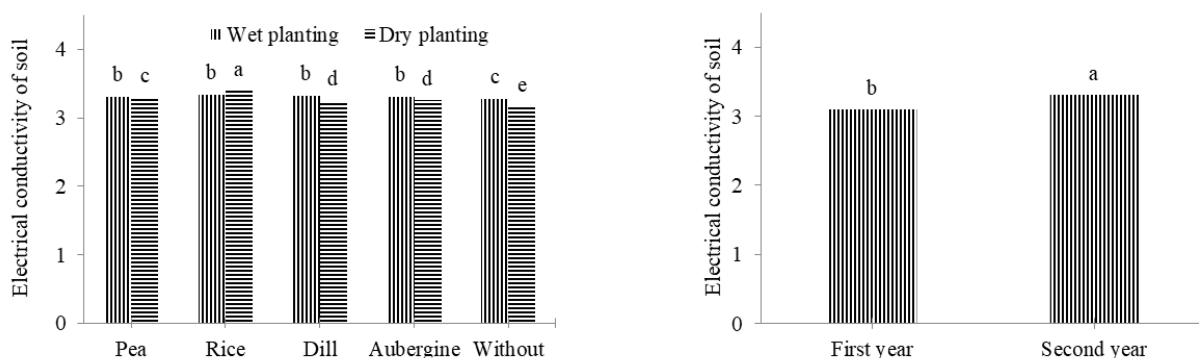
* The means with common Letters, at the Level of 5% probability, are not significantly different from each other

(Hesami et al., 2018). در تیمار روش خشک کاری و بدون بقایای

گیاهی، کمترین میزان تغییرات هدایت الکتریکی خاک مشاهده شد (شکل ۵) و حاکی از کمبود عناصر، املاح و کلوئیدهای باردار در خاک است (Hesami et al., 2018). در مرحله اواسط رشد گیاه ذرت سال دوم، تیمار کاربرد بقایای گیاهی برنج، بیشترین هدایت الکتریکی را نشان داد. نوع و مقدار مواد آلی گیاهی بر هدایت الکتریکی خاک تأثیر دارد، به‌طوری‌که بقایای گیاهی غلات مثل برنج به‌دلیل میزان بالای بقایا و ماندگاری در خاک، سبب بیشترین تجمع نمک و هدایت الکتریکی خاک شده است (Salehi et al., 2011).

هدایت الکتریکی خاک

تجزیه داده‌های تحقیق نشان داد، هدایت الکتریکی خاک قبل و پس از کشت ذرت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سال کشت و برهم‌کنش نوع روش کشت و بقایای گیاهان پیش کشت بود (جدول ۳). هدایت الکتریکی خاک در سال دوم به‌طور معنی‌داری بیشتر از سال اول بود (شکل ۵) بقایای گیاهی در خاک سبب تسریع در آزادسازی عناصر غذایی و میزان املاح خاک خواهد شد و دلیلی بر افزایش هدایت الکتریکی است (Javadi et al., 2018). بقایای برنج نسبت به سایر بقایا مؤثرتر بود و باعث افزایش هفت درصدی هدایت الکتریکی نسبت به شاهد شد (شکل ۵)، دلیل آن تجمع مواد آلی حاصل از بقایای گیاهان و افزایش ذرات باردار در خاک است



شکل ۵- تغییرات هدایت الکتریکی خاک قبل از کشت در دو سال (الف)، تأثیر بقایای گیاهان پیش‌کشت بر هدایت الکتریکی دو روش کشت (ب)
Fig. 5- Changes in EC of the soil before cultivation during two years (a), the effect of pre-cultivation plant residues on EC in two cultivation methods (b)

First year: سال اول، Second year: سال دوم، Black-eyed pea: لوبیا چشم‌بلبل، Rice: برنج، Dill: شوید، Aubergine or Eggplant: بادمجان، Without: آیش، Wet Planting: هیرم‌کاری، Dry Planting: خشک‌کاری

* میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* The means with common Letters, at the Level of 5% probability, are not significantly different from each other

کربن آلی خاک

داده‌های قبل از کشت ذرت نشان داد، کربن آلی خاک تحت تأثیر برهم‌کنش سال با نوع روش کشت و سال با بقایای گیاهان معنی‌دار بود (جدول ۳). میزان کربن آلی اندازه‌گیری شده در خاک مزرعه با روش کشت هیرم‌کاری ۲۱ درصد بیشتر از روش کشت خشک‌کاری بود (شکل ۶). کاربرد بقایای گیاهی نشان‌دهنده منابع بیشتر کربن یا قابلیت حفظ ذخایر کربن بیشتر در خاک است Rezvani Moghadam, 2018). بقایای برنج تأثیر ۶۶ درصد در افزایش کربن آلی خاک داشت، به‌طوری‌که در هر دو سال باعث دو برابر شدن کربن آلی خاک در مقایسه با شاهد شد (شکل ۶). این نتایج با نتایج پژوهش ویل‌هلم و همکاران (Wilhelm et al., 2004) تطابق داشت، به‌طوری‌که آن‌ها دریافتند، حفظ بقایای گیاهی در سطح مزرعه باعث افزایش قابل توجه کربن آلی خواهد شد. داده‌های اندازه‌گیری شده بعد از کشت ذرت نشان داد که مقدار کربن آلی خاک متأثر از برهم‌کنش سال با نوع روش کشت و همچنین پیش از کشت ذرت متأثر از برهم‌کنش نوع روش کشت با بقایای گیاهان بود (جدول ۳). مقدار کربن آلی خاک مزرعه در روش کشت هیرم‌کاری ۲۲ درصد بیشتر از روش کشت خشک‌کاری بود، میزان افزایش کربن آلی خاک با کاربرد بقایای گیاهی لوبیا، برنج، شوید و بادمجان به‌ترتیب ۴۷، ۵۱، ۴۷ و ۴۳ درصد بیشتر از شاهد بود (شکل ۶). وجود بقایای گیاهی متعدد در خاک، به‌عنوان مواد تغذیه‌ای برای ریزجانداران و متعاقباً

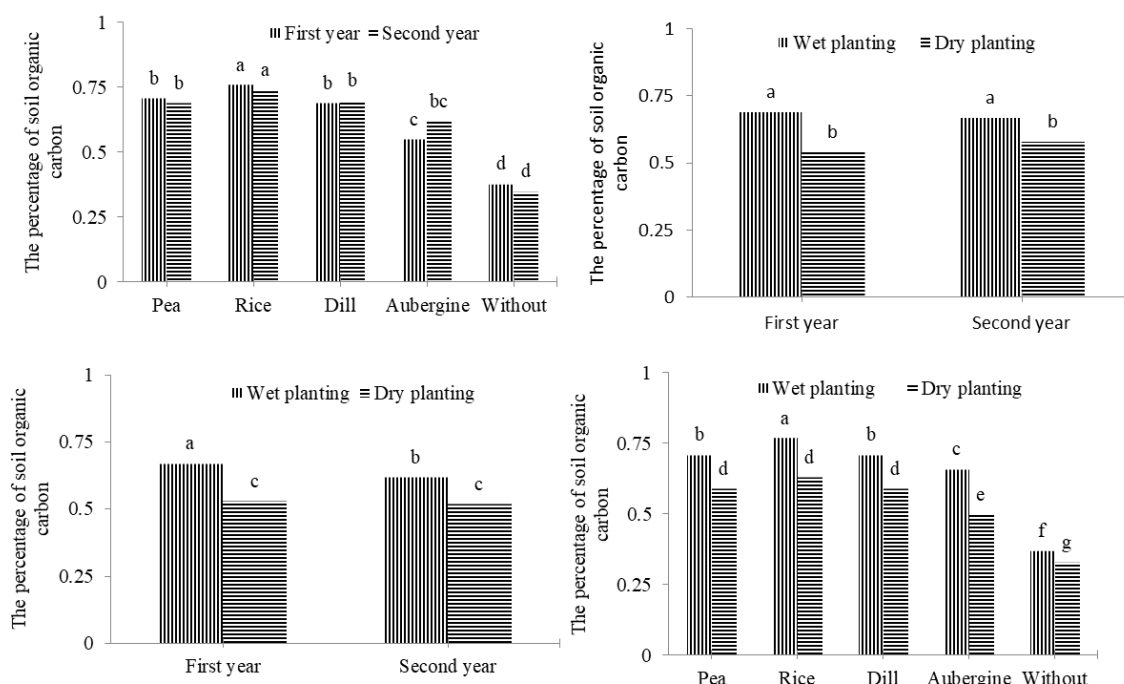
تجزیه توسط آن‌ها باعث افزایش کربن آلی خاک می‌شود (Hesami et al., 2018).

نیتروژن خاک

مقدار نیتروژن خاک تحت تأثیر برهم‌کنش سال با نوع روش کشت و سال با بقایای گیاهان پیش‌کشت، قبل و بعد از کشت ذرت معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج داده‌های اندازه‌گیری قبل از کشت ذرت نشان داد که مقدار نیتروژن خاک در سال دوم افزایش معنی‌دار نشان داد، و این افزایش در مزرعه با روش کشت هیرم‌کاری ۵۵ درصد به‌مراتب بیشتر بود (شکل ۷)، افزایش نیتروژن خاک به‌دلیل آزاد شدن تدریجی نیتروژن از بقایای گیاهی است. تیمار با کاربرد بقایای گیاهی لوبیا، افزایش ۵۰ درصد مقدار نیتروژن داشت، اما در سال دوم بقایای همه گیاهان لوبیا، برنج، شوید و بادمجان به‌ترتیب باعث افزایش ۲/۶، ۲، ۲/۳ و ۲/۳ برابری در مقدار نیتروژن خاک مزرعه ذرت شدند (شکل ۷). بنابراین، استفاده از بقایای گیاهان پوششی مناسب می‌تواند مانع از تلفات نیتروژن شود. بقایای گیاهی می‌تواند در افزایش مواد آلی خاک و کاهش آشوبی نیتروژن مفید واقع شود، درحالی‌که بقایای برگشتی گیاهان خانواده بقولات به خاک مثل گیاه لوبیا باعث افزایش نیتروژن خاک می‌شوند (Koochaki et al., 2016). نتایج داده‌های اندازه‌گیری شده بعد از کشت ذرت در سال دوم نشان داد که مقدار نیتروژن خاک حالت

بیشتر شد (شکل ۷). بنابراین، بقایای گیاهان زراعی منبع مهمی از نیتروژن برای گیاه بعدی و لگومها در مقایسه با سایر گیاهان زراعی می‌توانند منبع مفیدتری برای تأمین نیتروژن خاک باشند.

افزایشی و شدت این افزایش در مزرعه به‌روش کشت هیرم‌کاری ۴۴ درصد بیش از مزرعه به‌روش کشت خشک‌کاری بود (شکل ۷)، همچنین درصد نیتروژن خاک با کاربرد بقایای گیاهان لوبیا، برنج، شوید و بادمجان به‌ترتیب ۶۴، ۴۰، ۵۰ و ۵۰ درصد نسبت به شاهد



شکل ۶- تغییرات کربن آلی خاک در دو روش کشت قبل از کشت ذرت در طی دو سال (الف)، تأثیر بقایای گیاهان پیش‌کشت بر کربن آلی خاک قبل از کشت ذرت در طی دو سال (ب)، تغییرات کربن آلی در دو روش کشت بعد از کشت ذرت در طی دو سال (ج)، تأثیر بقایای گیاهان پیش‌کشت بر کربن آلی خاک بعد از کشت ذرت در دو روش کشت (د)

Fig. 6 - Changes in soil organic carbon in two cultivation methods before corn cultivation in two years (a), the effect of pre-cultivation plant residues on soil organic carbon before corn cultivation in two years (b), changes in organic carbon in two cultivation methods after corn cultivation in two years (c), the effect of pre-cultivated plant residues on soil organic carbon after corn cultivation in two cultivation methods (d)

First year: سال اول، Second year: سال دوم، Black-eyed pea: لوبیا چشم بلبلی، Rice: برنج، Dill: شوید، Aubergine or Eggplant: بادمجان، Without: آیش، Wet Planting: هیرم‌کاری، Dry Planting: خشک‌کاری

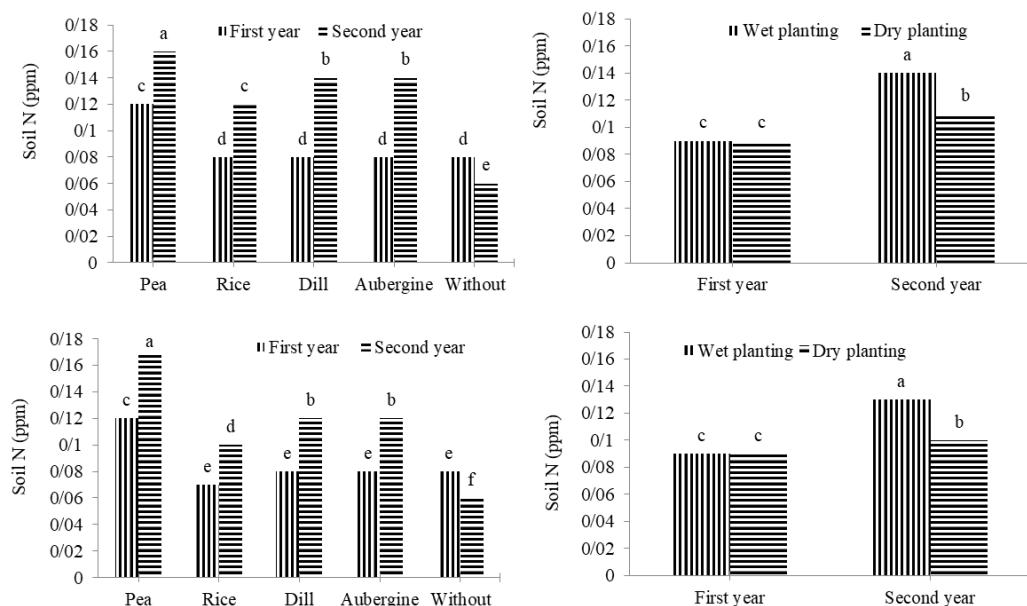
* میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* The means with common Letters, at the Level of 5% probability, are not significantly different from each other

داشت (شکل ۸). در سال اول با کاربرد بقایای گیاهان لوبیا، برنج، شوید و بادمجان نسبت کربن به نیتروژن خاک به‌ترتیب ۳۰، ۱۱۸، ۸۷ و ۴۲ درصد نسبت به شاهد افزایش و بقایای برنج در سال دوم افزایش ۱۵ درصد نسبت به شاهد داشت (شکل ۸).

نسبت کربن به نیتروژن خاک

اثر برهم‌کنش سال با نوع روش کشت و همچنین سال با بقایای گیاهان پیش‌کشت در مراحل قبل و بعد از کشت بر نسبت کربن به نیتروژن خاک معنی‌داری شد (جدول ۳). مقدار نسبت کربن به نیتروژن خاک قبل و بعد از کشت ذرت دو مزرعه در سال دوم، کاهش



شکل ۷- تغییرات نیتروژن خاک قبل از کشت ذرت در دو روش کشت در طی دو سال (الف)، تأثیر بقایای گیاهان پیش کشت بر نیتروژن خاک قبل از کشت ذرت در طی دو سال (ب)، تغییرات نیتروژن خاک بعد از کشت ذرت در دو روش کشت در طی دو سال (ج)، تأثیر بقایای گیاهان پیش کشت بر نیتروژن خاک بعد از کشت ذرت در طی دو سال (د)

Fig. 7- Changes in soil nitrogen before corn cultivation in two cultivation methods during two years (a), the effect of pre-cultivated plant residues on soil nitrogen before corn cultivation during two years (b). Changes in soil nitrogen after corn cultivation in two cultivation methods in two years (c), the effect of pre-cultivated plant residues on soil nitrogen after corn cultivation during two years (d)

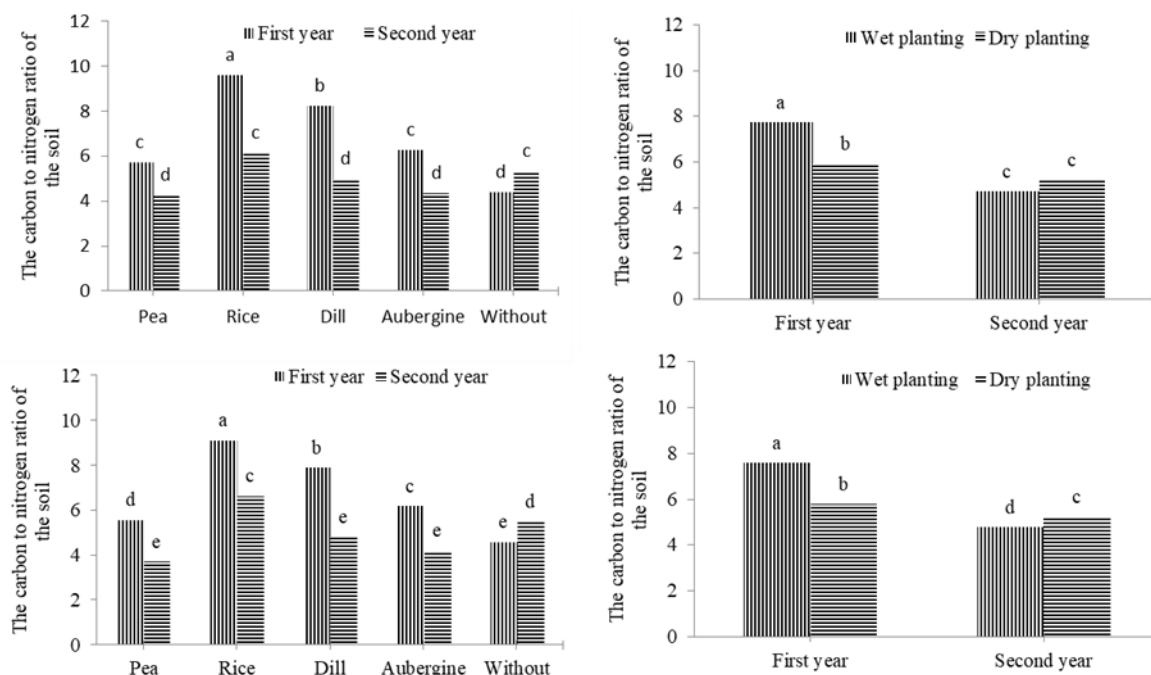
Without: بادمجان، Aubergine or Eggplant، شوید، Dill: برنج، Rice: لوبیا چشم بلبلی، Black-eyed pea: سال دوم، Second year: سال اول، First year: آیش، Wet Planting: هیرم‌کاری، Dry Planting: خشک‌کاری

* میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* The means with common Letters, at the Level of 5% probability, are not significantly different from each other

به افزایش کم یا عدم تغییر مقدار نیتروژن، درحالی‌که در بلندمدت سبب افزایش نیتروژن خاک می‌شود (Salehi et al., 2011). داده‌های اندازه‌گیری پس از کشت ذرت نشان داد که در سال دوم تغییرات نسبت کربن به نیتروژن، مشابه قبل از کشت و افت ۳۸ درصدی داشت (شکل ۸). در سال اول نسبت کربن به نیتروژن در بقایای گیاهان لوبیا، برنج، شوید و بادمجان به ترتیب ۲۱، ۹۸، ۷۲ و ۳۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت (شکل ۸)، نسبت کربن به نیتروژن در تیماری که از بقایای گیاه لوبیا استفاده شد، در مقایسه با شاهد و دیگر بقایای گیاهان پیش کشت، کمتر است. گیاهان خانواده بقولات به لحاظ دارا بودن قابلیت تثبیت نیتروژن می‌توانند نسبت به سایر گیاهان پیش کشت نیتروژن بیشتری را به خاک اضافه کنند (Clark et al., 2007).

هوموسی شدن بقایای گیاهی در سال اول باعث ایجاد کربن بیشتر در مقایسه با نیتروژن شد و از طرف دیگر، با آزادسازی نیتروژن از بقایای گیاهی که دیرتر از زمان هوموسی شدن اتفاق افتاد (در سال دوم)، دلیلی بر کاهش نسبت کربن به نیتروژن در سال دوم بود (Hesami et al., 2018). این نتایج بیانگر این است که تجزیه بقایای گیاهی و معدنی شدن نیتروژن موجود در بقایای گیاهی عمدتاً در سال دوم اتفاق افتاد، به عبارت دیگر، تجزیه بقایای گیاهی در سال اول آهسته، ولی در سال دوم تشدید شده و نیتروژن بیشتری در مقایسه با کربن آلی در خاک تجمع خواهد یافت (Eqhball et al., 2002). آرم و همکاران (Azam et al., 2002) گزارش دادند که کاربرد مواد گیاهی حاوی یون آمونیوم، باعث افزایش فعالیت میکروبی، جمعیت میکروبی و معدنی شدن نیتروژن می‌شود. همچنین در محیط‌های گرم و مرطوب، تجزیه سریع بقایا در کوتاه‌مدت منجر



شکل ۸- تغییرات نسبت کربن به نیتروژن قبل از کشت ذرت دو روش کشت در طی دو سال (الف)، تأثیر بقایای گیاهان پیش کشت بر کربن به نیتروژن خاک قبل از کشت ذرت در طی دو سال (ب)، تغییرات نسبت کربن به نیتروژن دو روش کشت بعد از کشت ذرت در طی دو سال (ج)، تأثیر بقایای گیاهان پیش کشت بر کربن به نیتروژن بعد از کشت ذرت در طی دو سال (د)

Fig. 8- Changes in the ratio of carbon to nitrogen before corn cultivation in two cultivation methods during two years (a), the effect of pre-cultivated plant residues on soil carbon to nitrogen before corn cultivation during two years (b), changes in the carbon ratio to nitrogen in two cultivation method after corn cultivation during two years (c), the effect of pre-cultivated plant residues on carbon to nitrogen after corn cultivation during two years (d)

First year: سال اول، Second year: سال دوم، Black-eyed pea: لوبیا چشم بلبلی، Rice: برنج، Dill: شوید، Aubergine or Eggplant: بادمجان، Without: آیش، Wet Planting: هیرم کاری، Dry Planting: خشک کاری

* میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* The means with common Letters, at the Level of 5% probability, are not significantly different from each other

کاشت ذرت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر برهم‌کنش‌های سال با نوع روش کشت و سال و بقایای گیاهان بود (جدول ۳). مقدار فسفر خاک در مزرعه به‌روش کشت هیرم کاری تقریباً دو برابر مزرعه به‌روش کشت خشک کاری بود، اما در سال دوم در مزرعه خشک-کاری کاهش ۱۸ درصدی و در مزرعه هیرم کاری کاهش ۳۲ درصدی داشت (شکل ۹). اثرات بقایای گیاهان شوید و لوبیا سبب افزایش فسفر خاک به‌ترتیب ۵۶ و ۸۶ درصد شد (شکل ۹). با بررسی نمونه-های خاکی در اواسط رشد ذرت مشخص گردید که بقایای گیاهان پیش کشت باعث افزایش معنی‌دار مقدار فسفر خاک در هر دو سال شدند و این افزایش در سال اول بیشتر از سال دوم بود (شکل ۹). احتمالاً تغییر pH خاک توسط بقایای گیاهی و متعاقباً قابل حل شدن فسفر غیرقابل دسترس می‌تواند علت احتمالی افزایش فسفر در

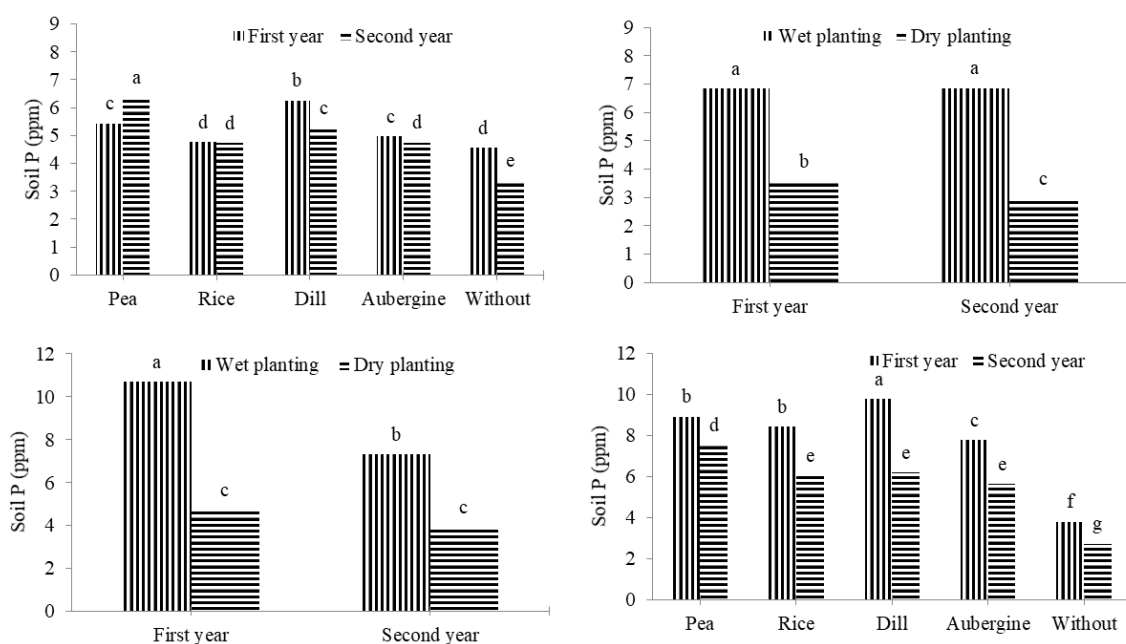
از طرفی، بقایای گیاهان مثل لوبیا، بادمجان و شوید تا حدودی نسبت کربن به نیتروژن کمتری در مقایسه با بقایای گیاهی برنج دارند. آزاد کردن عناصر غذایی توسط بقایای گیاهی بستگی به نسبت کربن به نیتروژن، پلی فنول و لیگنین دارد که هر چه این نسبت کربن و مقدار لیگنین و پلی فنول بالا باشد، به آرامی تجزیه شده و عناصر غذایی کمتری را آزاد می‌کنند (Achekzai et al., 2006)، درحالی‌که غلاتی مانند برنج غنی که از ترکیبات کربنی هستند، بیشترین کربن را به خاک اضافه کرده و همین موضوع دلیلی بر بالا نشان دادن نسبت کربن به نیتروژن بقایای این گیاه در این تحقیق شد.

فسفر خاک

نتایج نشان داد که مقدار فسفر خاک در مراحل قبل و بعد از

گیاهی باشد، احتمالاً قرار گرفتن بقایای گیاهی در خاک مزارع باعث تولید مولکول‌های هیومیک و اسیدی آلیفاتیک با وزن مولکولی کم می‌گردد که از طریق تشکیل کمپلکس با اکسیدهای A1 و ترکیبات کلسیم موجب کاهش تثبیت فسفر می‌شود (Haynes et al., 2009). همچنین دلیل اختلاف در میزان فسفر در بین تیمارهای بقایای گیاهی به دلیل عمل تجزیه و آزادسازی فسفر قابل دسترس در درون خاک است.

تیمارهای متأثر از بقایای گیاهان پیش‌کشت باشد. از طرف دیگر، افزایش فسفر ناشی از بقایای گیاهی در سال اول شدیدتر از سال دوم بود که دلیل آن می‌تواند مصرف فسفر موجود توسط ذرت و کاهش در سال دوم باشد (شکل ۹)، همچنین احتمال وجود آبشویی فسفر در سال دوم نیز می‌تواند مزید بر علت باشد. اما در کل، افزایش فسفر در خاک با کاربرد بقایای گیاهی در سال اول و دوم نسبت به شاهد در هر دو مزرعه می‌توان به دلیل کاهش تثبیت فسفر در اثر کاربرد بقایای



شکل ۹- تغییرات فسفر خاک قبل از کشت در طی دو سال در دو روش کشت (الف)، تأثیر بقایای گیاهان پیش‌کشت بر فسفر خاک قبل از کشت در طی دو سال (ب)، تغییرات فسفر خاک بعد از کشت در طی دو سال در دو روش کشت (ج)، تأثیر بقایای گیاهان پیش‌کشت بر فسفر خاک ع بعد از کشت در طی دو سال (د)

Fig. 9- Soil phosphorus changes before cultivation in two years in two cultivation methods (a), the effect of pre-cultivation plant residues on soil phosphorus before cultivation during two years (b), soil phosphorus changes after cultivation during two years in two cultivation methods (c), the effect of pre-cultivated plant residues on soil phosphorus after cultivation during two years (d)

Without: بدون، Aubergine or Eggplant: شوید، Dill: برنج، Rice: لوبیا چشم بلبلی، Black-eyed pea: سال دوم، Second year: سال اول، First year: سال اول

آیش، Wet Planting: هیرم کاری، Dry Planting: خشک کاری

* میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* The means with common Letters, at the Level of 5% probability, are not significantly different from each other

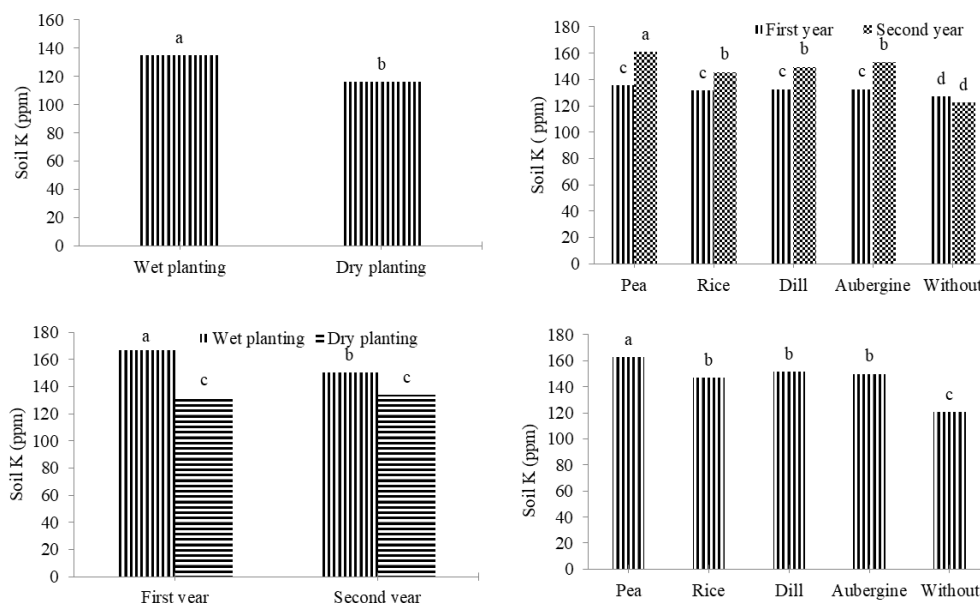
پتاسیم خاک

اثر برهم‌کنش سال و نوع روش کشت و بقایای گیاهان در مراحل قبل و بعد از کشت بر مقدار پتاسیم خاک معنی‌داری شد (جدول ۳). در سال دوم مقدار پتاسیم خاک در تیمارهای بقایای گیاهان پیش-کشت افزایش معنی‌دار داشت (شکل ۱۰). افزایش پتاسیم خاک

توسط بقایای گیاهان لوبیا، برنج، شوید و بادمجان به‌ترتیب ۳۱، ۱۸، ۲۱ و ۲۴ درصد نسبت به شاهد بود. این موضوع نشان می‌دهد که آزاد شدن پتاسیم از پیکره بقایای گیاهی نیازمند زمان قابل توجهی بوده و احتمالاً فعالیت‌های ریزجانداران (جهت هوموسی شدن) و رطوبت خاک مهم‌ترین عوامل مؤثر در این فرآیند بوده‌اند. نتایج نشان داد که

است. مقدار پتاسیم در تیمارهای بقایای گیاهی نسبت به شاهد، افزایش معنی‌داری را نشان می‌دهد، که در بین بقایای گیاهی تیمار دارای بقایای گیاهی لوبیا، مقدار بالاتری را نشان داد، که احتمالاً به دلیل تجزیه سریع‌تر بقایای گیاهی لوبیا نسبت به دیگر بقایای گیاهی باشد.

مقدار پتاسیم خاک در مزرعه به‌روش کشت هیرم‌کاری بسیار بالاتر (۱۶ درصد) از مزرعه به‌روش کشت خشک‌کاری بود (شکل ۱۰)، همچنین مشاهده شد که مقدار پتاسیم خاک در سال دوم در روش کشت هیرم‌کاری ۱۰ درصد نسبت به سال اول کاهش داشت، دلیل این کاهش به‌علت آبشویی و جذب توسط ریشه‌های گیاه ذرت بوده



شکل ۱۰- تأثیر بقایای گیاهان پیش‌کشت بر پتاسیم خاک قبل از کشت ذرت در طی دو سال (الف)، تغییرات پتاسیم خاک بعد از کشت ذرت در دو روش کشت (ب)، تأثیر بقایای گیاهان پیش‌کشت بر پتاسیم خاک بعد از کشت ذرت (ج)

Fig. 10- The effect of pre-cultivated plant residues on soil potassium from corn cultivation during two years (a), soil potassium changes after corn cultivation in two cultivation methods (b), the effect of pre-cultivated plant residues on potassium Soil after planting corn (c)

First year: سال اول، Second year: سال دوم، Black-eyed pea: لوبیا چشم بلبلی، Rice: برنج، Dill: شوید، Aubergine or Eggplant: بادمجان، Without: آیش، Wet Planting: هیرم‌کاری، Dry Planting: خشک‌کاری

* میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* The means with common Letters, at the Level of 5% probability, are not significantly different from each other

بنابراین، افزودن بقایای گیاهی به خاک، با بهبود شرایط فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک، سبب افزایش کاتیون قابل تبادل پتاسیم می‌شود (Salehi et al., 2011).

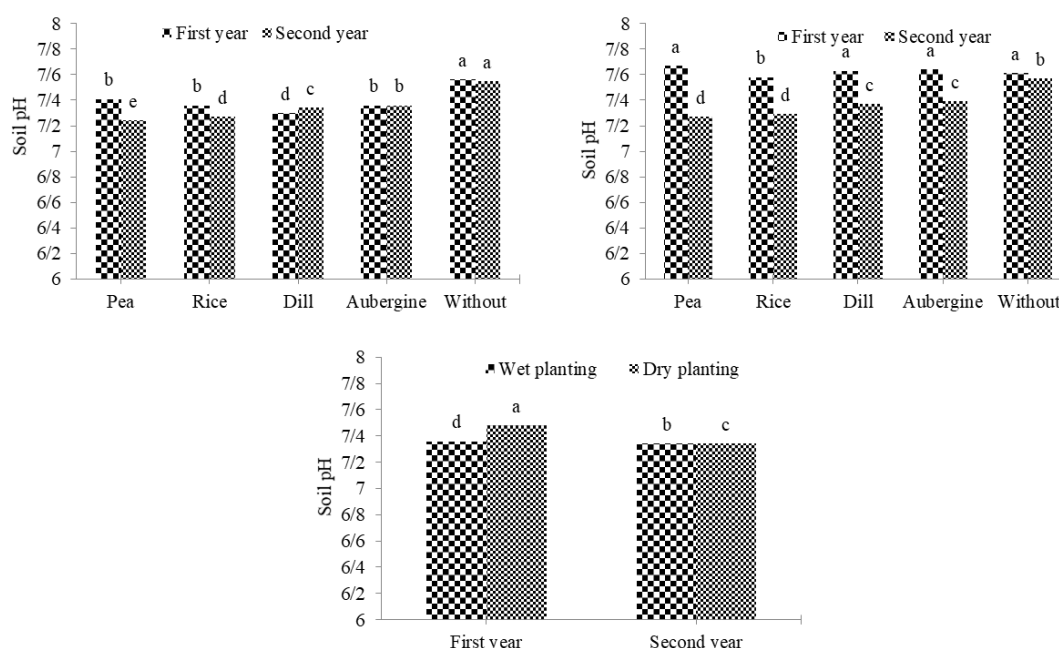
pH خاک

نتایج آنالیز آماری نشان داد که pH خاک متأثر از برهم‌کنش سال کشت و بقایای گیاهان پیش‌کشت بود (جدول ۳). کاربرد بقایای گیاهان پیش‌کشت در سال دوم نشان داد که وجود بقایای گیاهی لوبیا، برنج، شوید و بادمجان به‌ترتیب باعث کاهش چهار، چهار، سه و

وجود بقایای گیاهی باعث ایجاد یک منبع مطمئن از پتاسیم شد که خود می‌تواند در مناطق دارای کمبود پتاسیم در بهره‌وری کشاورزی نقش قابل توجهی ایفا کند. پیش از این نیز در تحقیقی گزارش شده بود که برگرداندن بقایای محصولات بعد از برداشت به خاک، مقادیر قابل توجهی پتاسیم قابل جذب و برخی عناصر دیگر برای گیاه فراهم می‌کند (Mubarak et al., 2003). این موضوع به دلیل تجمع پتاسیم در کاه حاصل از برداشت گیاهان می‌باشد. پرو و همکاران (Prior et al., 2000) نیز اظهار داشتند که باقی‌مانده غلات می‌تواند تا ۸۰ درصد پتاسیم مورد نیاز گیاه ذرت را فراهم کند.

هیدروژن به محلول خاک و نهایتاً کاهش pH خاک دارد. در هر دو سال زراعی، استفاده از بقایای گیاهان پیش‌کشت باعث کاهش pH خاک شد به‌طوری‌که پایین‌ترین pH، در نتیجه کاربرد بقایای گیاه لوبیا با پنج درصد pH بود (شکل ۱۱). تحقیقات نشان داد که معمولاً با افزایش غلظت نمک در خاک، مقدار pH اندازه‌گیری شده کاهش می‌یابد، که این کاهش می‌تواند به‌علت تبادل کاتیون نمک با کاتیون اسیدی قابل تبادل بر روی سطح ذرات کلوئیدی خاک اتفاق بیفتد.

سه درصدی pH خاک نسبت به شاهد شدند (شکل ۱۱). بقایای گیاهان پیش‌کشت احتمالاً باعث افزایش یون هیدروژن در محلول خاک در سال دوم شدند. این موضوع با فعالیت ریزجانداران و تغذیه آن‌ها از ذخایر کربنی و سپس، آزاد شدن هیدروژن موجود در ساختارهای آلی مرتبط است (Mishra et al., 2004). در بخش‌های پیشین نیز دیده شد که کربن آلی خاک در سال دوم افزایش یافت که نشان از تجزیه بقایا در سال دوم و متعاقباً آزاد شدن حجم زیادی یون



شکل ۱۱- تأثیر بقایای گیاهان پیش‌کشت بر pH خاک قبل از کشت ذرت در طی دو سال (الف)، تأثیر بقایای گیاهان پیش‌کشت بر pH خاک بعد از کشت ذرت در طی دو سال (ب)

Fig. 11- The effect of pre-cultivated plant residues on soil pH before corn cultivation in two years (a), the effect of pre-cultivated plant residues on soil pH after corn cultivation in two years (b)

First year: سال اول، Second year: سال دوم، Black-eyed pea: لوبیا چشم‌بلبلی، Rice: برنج، Dill: شوید، Without: بدون، Aubergine or Eggplant: پادمان، Dry Planting: خشک‌کاری، Wet Planting: هیرم‌کاری،

* میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* The means with common Letters, at the Level of 5% probability, are not significantly different from each other

کرد. بقایای گیاهی که دارای مقادیر بالای نیتروژن هستند مانند بقایای گیاهی خانواده بقولات اثر قابل توجهی بر تغییرات مقدار PH خاک دارند (Xu et al., 2003).

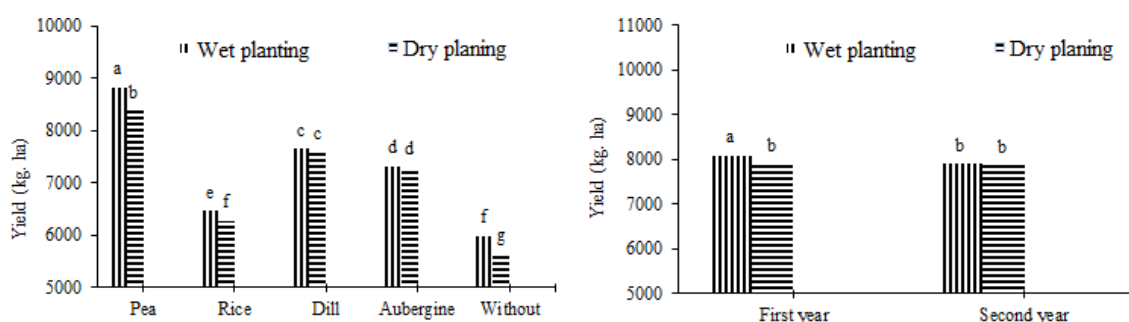
عملکرد دانه ذرت

عملکرد دانه ذرت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع بقایای

اختلاف pH که در اثر بقایای لوبیا در سال‌های اول و دوم مشاهده شد، می‌تواند به این دلیل باشد که با گذشت زمان و در سال دوم، مواد آلی موجود در لوبیا به حلالیت بیشتری در آب رسیده و با ایجاد غلظت یون هیدروژن بیشتر باعث کاهش pH خاک شدند. از طرف دیگر، می‌توان گفت که تجزیه پیکره بقایای گیاه لوبیا منجر به آزاد شدن یون هیدروژن بیشتر و به کاهش pH در سال دوم کمک

گیاهان پیش کشت، برهم کنش سال در نوع روش کشت و برهم کنش بقایای گیاهان پیش کشت در نوع روش کشت بود (جدول ۳). در سال اول، عملکرد دانه ذرت در مزرعه به روش کشت هیرم کاری هفت درصد بیشتر از مزرعه به روش کشت خشک کاری بود، اما در سال دوم تفاوت معنی داری بین این دو مزرعه وجود نداشت (شکل ۱۲). نتایج نشان داد که بقایای گیاهان پیش کشت لوبیا، برنج، شوید و بادمجان در مزرعه به روش کشت هیرم کاری به ترتیب ۳۲/۰۹، ۸/۴، ۲۱/۶ و ۱۸/۰۱ درصد و در مزرعه به روش کشت خشک کاری به ترتیب ۳۲/۷

۱۰/۱۷، ۲۵/۵۹ و ۲۲/۵ درصد نسبت به شاهد افزایش عملکرد داشت، که نشان از اختلاف تیمارهای بقایای گیاهان پیش کشت در عملکرد دانه ذرت است (شکل ۱۲). در بین بقایای گیاهی به کار رفته، تیمار دارای بقایای برنج که میزان بقایای تولیدی آن در خاک مزرعه بیشتر از سایر گیاهان پیش کشت بود (جدول ۱)، عملکرد دانه ذرت پایین تری داشت، این امر می تواند به دلیل تجزیه ناکامل بقایای گیاهی و تثبیت عناصر غذایی به ویژه نیتروژن و در نتیجه، کاهش نیتروژن قابل دسترس باشد (Bannayan Aval et al., 2020).



شکل ۱۲- تغییرات عملکرد تحت تأثیر برهم کنش دو نوع روش کشت در طی دو سال (الف) و اثرات بقایای گیاهان پیش کشت بر عملکرد در دو نوع روش کشت (ب)

Fig. 4- Changes in yield under the influence of the interaction of two cultivation methods during two years (a) and the effect of crop residues on yield in two cultivation methods (b)

First year: سال اول، Second year: سال دوم، Black-eyed pea: لوبیا چشم بلبلی، Rice: برنج، Dill: شوید، Aubergine or Eggplant: بادمجان، Without: آیش، Wet Planting: هیرم کاری، Dry Planting: خشک کاری

* میانگین های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری با یکدیگر ندارند.

* The means with common Letters, at the Level of 5% probability, are not significantly different from each other

نتیجه گیری

مقدار نیتروژن خاک و در نوع کشت هیرم کاری شدت افزایش آن ۴۴ درصد بیشتر از روش کشت خشک کاری بوده است. بقایای گیاهی لوبیا نقش مؤثرتر و مفیدتری در افزایش مقدار نیتروژن خاک را نشان داد. همچنین با استفاده از بقایای گیاهی شوید و لوبیا، میزان فسفر خاک افزایش نشان داد. عملکرد دانه در سیستم کشت هیرم کاری و با وجود کاربرد بقایای گیاهی لوبیا نسبت به دیگر تیمارها بهینه تر بوده است.

نتایج این آزمایش نشان داد که وزن مخصوص ظاهری خاک در سال دوم و با کاربرد بقایای گیاهی متأثر از زمان، کاهش یافته است. پایداری خاکدانه ها در سال دوم و در روش کشت هیرم کاری و با کاربرد بقایای گیاهی لوبیا افزایش چشم گیری داشته است. با وجود و نگهداری بقایای گیاهی، ماده آلی خاک به خصوص در روش کشت هیرم کاری افزایش یافته و باعث بهبود ساختمان و پایداری خاک و افزایش رطوبت خاک شد. نگهداری بقایای گیاهی سبب افزایش

References

1. Afzali Gorouh, H., Naghavii, H., Rostami, M.A., & Najafinezhad, H. (2019). Effect of conservation tillage and wheat residue management in some soil properties and grain Yield of corn. *Iranian Journal of Soil Research*, 33(1), 1-11. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijsr.2019.119050>

2. Azam, F. (2002). Added nitrogen interaction in the soil-plant system-A review. *Journal of Agronomy*, 1(1), 54-59. <https://doi.org/10.3923/ja.2002.54.59>
3. Achakzai, A. K.K., & Bangulzai, M. I. (2006). Effect of various levels of nitrogen fertilizer on the Yield and Yield attributes of pea (*Pisum sativum* L.) cultivars. *Pakistan Journal of Botany*, 38(2), 331-340.
4. Bakht, J.S., Tariq, M., & Shah, Z. (2009). Influence of crop residue management, cropping system and N fertilizer on soil N and C dynamics and sustainable wheat (*Triticum aestivum* L.) production. *Soil and Tillage Research*, 104, 233-240. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.02.006>
5. Bannayan Aval, M., Hajmohammadnia Ghalibaf, K., Yaghoubi, F., Rashidi, Z., & Valaie, N. (2020). Effect of tillage systems and residue management on soil water conservation, Yield and Yield components of wheat. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 18(1), 71-83. In Persian with English abstract. <https://doi.org/10.22067/gsc.v18i1.78442>
6. Barraclough, P.B., & Tinker, P.G. (2006). The determination of ionic diffusion in field soils. II. Diffusion of bromide ions in undisturbed soil cores. *Journal of Soil Science*. 33, 13-2. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01743.x>
7. Celik, I., Ortas, I., & Kilic, S. (2004). Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a chromoxerert soil. *Soil and Tillage Research*, 78, 59-67. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.02.012>
8. Chastain, T.G., Young, W.C. Garbacik, C.J. Meints, P.D., & Silberstein, T.B. (2000). Alternative residue management and stand age effects on seed quality in cool-season perennial grasses. *Seed Technology*. 22, 34-42. <https://www.jstor.org/stable/45133809>
9. Clark, A.J., Meisinger, J.J., Decker, A.M., & Mulford, F.R. (2007). Effects of a grass-selective herbicide in a vetch-rye cover crop system on corn grain Yield and soil moisture. *Agronomy Journal*. 99, 43-48. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0362>
10. Dom, R.F., Mehdi, B.B., Burgess, M.S.E., Madramootoo, C.A., Mehuys, G.R., & Callum, I.R. (2005). Soil bulk density and crop Yield under eleven consecutive years of corn with different tillage and residue practices in a sandy loam soil in central Canada. *Soil and Tillage Research*. 84, 41-53. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.006>
11. Eagle, A.J., Bird, J.A., Hill, J.E., Horwath, W.R., & Kessel, C.V. (2001). Nitrogen dynamics and fertilizer use efficiency in rice following straw incorporation and winter flooding. *Agronomy Journal*. 93, 1346-1354. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.1346>
12. Eghball, B. (2002). Soil properties as influenced by phosphorus and nitrogen-based manure and compost applications. *Agronomy Journal*. 94, 128-135. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.1280>
13. Jahan, M., Javadi, M., & Hesami, E. (2021). Nutritional management improved sesame performance and soil properties: A function-based study on sesame as affected by deficit irrigation, water superabsorbent, and salicylic acid. *Journal Soil Science Plant Nutrition*, 21: 2702-2717. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00557-2>
14. Javadi, H., Rezvani Moghaddam, P., Rashed Mohasel, M., & Seghatoleslami, M.J. (2019). Effect of fertilizer management on some chemical properties of soil and absorption of nitrogen and phosphorus elements by purslane (*Portulaca oleracea* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 17(2), 187-205. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v17i2.67458>
15. Haynes, R.J., & Mokolobate, M.S. (2001). Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: A critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 59 (1): 47-63. <https://doi.org/10.1023/A:1009823600950>
16. Hseami, E., Jahan, M., Nassiri-Mahallati, M., & Farhoudi, R. (2020). Evaluation of the effect of the return of different types of plant residues to soil on the Yield of maize. *Journal of Plant Ecophysiology*, 12(2), 134-147. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.1001/1.20085958.1399.12.41.12.9>
17. Hesami, E., Jahan, M., Nassiri mahallati, M., & Farhoudi, R. (2018). Effects of plant residues in two types of soil texture on soil characteristics and corn (*Zea mays* L.) NS640 Yield in a reduced -tillage cropping system. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 16(1), 67-81. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v16i1.56548>
18. Katsvairo, T., Cox, W.J., & Van, E.H. (2002). Tillage and rotation effects on soil physical characteristics. *Agronomy Journal*. 94, 299-304. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.2990>
19. Koocheki, A., & Khajeh Hosseini, M. (2007). Modern agriculture. Ferdowsi University of Mashhad Press,

- Mashhad, Iran. (In Persian)
20. Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., & Fallahi, H. (2016). Effects of planting dates, irrigation management and cover crops on growth and Yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Agroecology*, 8(3), 435-451. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v8i3.51323>
21. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Azimzadeh, J. (2020). Effect of different tillage systems on wheat (*Triticum aestivum* L.) Yield and some soil physical characteristics in a fallow-wheat rotation under rainfed condition. *Journal of Agroecology*, 12 (2), 299-317. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v12i2.52175>
22. Mesgarbashi, M., Bakhshandeh, A. Nabipour M., & Kashani, A. (2013). Investigating the effect of plant residues and chemical fertilizers on wheat Yield and soil organic matter. *The Scientific Journal of Agricultural*. 3, 247-239. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/sid.ir/paper/24718/en>
23. Mubarak, A.R., Rosenani, A.B., Anuar, A.R., & Zauyah, D.S. (2003). Effect of incorporation of crop residues on a maizegroundnut sequence in the humid tropics. I. Yield and nutrient uptake. *Journal of Plant Nutrition*. 26, 1841-1858. <https://doi.org/10.1081/PLN-120023287>
24. Mishra, B.B., & Nayak, K.C. (2004). Oraganic farming for sustainable agriculture. *Orissa Review*. 3176400. pp: 42-45
25. Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., & Rezvani Moghaddam, P. (2001). Agroecology. *Ferdowsi University of Mashhad Publications, Mashhad, Iran*. p. 453. (In Persian)
26. Page, A.L., Miller, R.H., & Keeney, D.R. (1982). Methods of soil analysis. Part II. Chemical and microbiological. *American Society of Agronomy and Soil Science Society*. 64, 918-926.
27. Prior, S.A. Reicosky, D.C., Reeves, D.W., Runion., & Raper, R.L.G.B. (2000). Residue and tillage effects on planting implement-induced short-term CO₂ and water loss from loamy sand soil in Alabama. *Soil and Tillage Research*. 54, 197-199. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00092-6](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00092-6)
28. Rezvani Moghaddam, P. (2018). Evaluation of carbon allocation coefficients and net primary production for major crops in Khorasan-e Razavi province. *Journal of Crop Production*, 11(1), 141-152. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22069/ejcp.2018.13021.2011>
29. Salehi, F., Bahrani, M. C., Kazemini, S. A., Pak Neyat, H., & Karimian, N. (2011). The effect of wheat residues and nitrogen fertilizer on some characteristics of field soil in bean cultivation. *Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources, Water and Soil Sciences*. 55, 209-218. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/20.1001.1.24763594.1390.15.55.16.4>
30. Smith, M. K., Smith, J. P., & Stirling, G. R. (2011). Integration of minimum tillage, crop rotation and organic amendmets into a ginger farming system: Impacts on Yield and soilborne diseases. *Soil and Tillage Research*, 114 (2). 108-116. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.04.006>
31. Wang, Q., Bai, Y., GAO, H. He. J., Chen, H., Chesney, R.C., Kuhn, N.J., & Li, H. (2008). Soil chemical properties and microbial biomass after 16 years of no-tillage farming on the Loess Plateau, China. *Geoderma*. 144, 502-508. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.01.003>
32. Wanas, S.H.A., & Orman, W.M., (2006). Advantages of applying various compost types to different layers of sandy soil: *Journal of Applied Scientific Research*. 2(12), 1298-1303
33. Wilhelm, W.W., Johnson, J.M., Hatfield, F., Voorhees, J.L., & Linden, D.R. (2004). Crop and soil productivity response to corn residue removal: A literature review. *Agronomy Journal*. 96, 1-17. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.1000a>
34. Xu, R.K., & Coventry, D.R. (2003). Soil pH changes associated with lupin and wheat plant materials incorporated in a red-brown earth soil. *Plant and Soil*. 250 (1), 113-119. <https://doi.org/10.1023/A:1022882408133>
35. Zaeri, A., Rezainejad, Y., Ofune, M., & Shariatmadari, H. (2014). Cumulative and residual effects of sewage sludge on soil stability, permeability and apparent specific gravity of soil. *Agricultural Science*. 28, 101-110. (In Persian)
- 36.



Studying the Beneficial Indicators of Intercropping of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) with Chickpea (*Cicer arietinum* L.), Lentil (*Lens culinaris* Medik), and Bitter Vetch (*Lathyrus sativus* L.)

Amin Yari¹, Farzad Mondani^{2*}, Alireza Bagheri³ and Hamid Reza Chaghazardi³

1, 2, and 3- MSc. Student, Associate Professor, and Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran, respectively.

(*- Corresponding author's Email: f.mondani@razi.ac.ir)

Received: 18-09-2023
Revised: 06-11-2023
Accepted: 12-12-2023
Available Online: 01-12-2024

How to cite this article:

Yari, A., Mondani, F., Bagheri, A., & Chaghazardi, H. R. (2024). Studying the beneficial indicators of intercropping of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) with chickpea (*Cicer arietinum* L.), lentil (*Lens culinaris* Medik), and bitter vetch (*Lathyrus sativus* L.). *Journal of Agroecology*, 16(3), 463-475. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/agry.2023.84365.1166>

Introduction

Intercropping is an agroecological technique in which two or more species are grown in the same area for a certain period of time. These species should be complementary to each other regarding the use of productive resources. By selecting crop species with different growth habits and minimal competition, intercropping optimizes resource absorption, resulting in improved yields compared to monoculture. Many studies have shown that intercropping systems improve the resources used, stability of production, and increased profitability per area. The aim of this study was to evaluate the beneficial indicators of intercropping of safflower, an important oil plant, with three legume species, including chickpea, lentil, and bitter vetch, under Kermanshah climatic conditions.

Materials and Methods

A split plots experiment was done based on a completely randomized block design in three replications in dryland conditions at the research farm of the Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, during 2018-2019. In this study, chickpea, lentil, and bitter vetch were assigned to the main plots, and five intercropping arrangements included legume monoculture, 75:25 ratio of safflower and legume, 50:50 ratio of safflower and legume, 25:75 ratio of safflower and legume, and safflower monoculture were assigned to the subplots. In this research, safflower was the main crop, and chickpeas, lentils, and bitter vetch were considered as alternative crops. The beneficial indicators of intercropping, including Land Equivalent Ratio (LER), Relative Crowding Coefficient (RCC), System Productivity Index (SPI), and Actual Yield Loss (AYL) were calculated. The LER indicates the amount of land required for the crop in monoculture in order to achieve a similar yield as intercropping. The RCC indicates the competitive ability of crops grown in intercropping. In other words, it



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

 <https://doi.org/10.22067/agry.2023.84365.1166>

expresses the relative dominance of one species over others in intercropping. The SPI data are calculated by standardizing the alternative crop based on the main crop, whose higher values indicate the enhanced efficiency of the intercropping system. The AYL indicates the decrease or increase in the yield of intercropping compared to monoculture. The data were analyzed using ANOVA, and the means were compared with the LSD test.

Results and Discussion

The results showed that the LER in intercropping with chickpeas and lentils was higher than that in other treatments. Regardless of legume species, among the cultivation patterns, the 50:50 ratio of safflower and legume was superior in terms of LER (1.26) and competition index (RCC=4.6) compared to other intercropping patterns. The amount of actual yield reduction was positive for all intercropping patterns, but in the conditions where the chickpeas were cultivated as a companion crop in the intercropping, it was significantly more than the condition where the bitter vetch was cultivated as a companion crop (AYL=0.62). The highest productivity index in intercropping patterns was obtained when lentils were cultivated together with safflower (6089). The advantage of intercropping has been reported in many studies, especially those in which one of the components of intercropping is legume species, and the results of the current research are consistent with them. Intercropping provided better growth conditions for safflower compared to its monoculture. The different morphology of safflower compared to chickpea, lentil, and bitter vetch allows for minimal competition for resource uptake. The nitrogen fixation ability and facilitative effects of these legume species improved the indicators of intercropping profitability and ultimately increased safflower yield compared to its monoculture.

Conclusion

Regardless of the intercropping arrangements, the results of this study generally showed that the cultivation of chickpea together with safflower compared to lentil and bitter vetch resulted in more benefits in terms of the investigated intercropping indices. This was evident as the chickpea-safflower intercropping achieved the highest LERatio (1.14). This result was due to the presence of facilitative effects in chickpeas, especially their ability to biologically nitrogen fixation. With regard to the beneficial indicators of intercropping, the 50% safflower: 50% legumes pattern demonstrated superiority compared to other investigated patterns. Therefore, if the results of this study are confirmed in other years and regions under dryland conditions, the chickpea-safflower intercropping with a 50:50 pattern is recommended.

Keywords: Actual yield reduction, Competition index, Land equality ratio, Productivity index



مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۴۷۵-۴۶۳

بررسی شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) با نخود (*Cicer arietinum* L.)، عدس (*Lens culinaris* Medik.) و خلر (*Lathyrus sativus* L.)

امین یاری^۱، فرزاد مندنی^{۲*}، علیرضا باقری^۳ و حمید چقازردی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۱

چکیده

به منظور ارزیابی شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) با نخود (*Cicer arietinum* L.)، عدس (*Lens culinaris* Medik.) و خلر (*Lathyrus sativus* L.) در شرایط دیم، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سه گونه لگوم نخود، عدس و خلر به عنوان عامل اصلی و آرایش‌های کشت مخلوط شامل کشت خالص گلرنگ، کشت با نسبت ۲۵:۷۵ گلرنگ و لگوم، کشت با نسبت ۵۰:۵۰ گلرنگ و لگوم، کشت با نسبت ۷۵:۲۵ گلرنگ و لگوم و کشت خالص لگوم به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. گلرنگ گیاه اصلی و نخود، عدس و خلر به عنوان گیاه جایگزین بودند. در بین گونه‌های مورد بررسی، بیشترین نسبت برابری زمین (۱/۱۴) متعلق به گیاه همراه نخود بود. صرف نظر از نوع گونه لگوم در بین الگوهای کشت مخلوط، نسبت ۵۰:۵۰ گلرنگ و لگوم از نظر نسبت برابری زمین (۱/۲۶) و ضریب ازدحام نسبی (۴/۶) نسبت به دیگر الگوها برتری داشت. میزان کاهش عملکرد واقعی برای همه الگوهای مخلوط مثبت بود، اما در شرایطی که گیاه نخود (۰/۶۲) به عنوان گیاه همراه کشت شد، این کاهش به طور معنی‌داری بیشتر از سایر گیاهان بود. بیشترین شاخص بهره‌وری در الگوهای مختلف کشت در تیمار ۲۵:۷۵ گلرنگ و عدس و به میزان ۷۷۲۲ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. به طور کلی، نتایج نشان داد که در بین گونه‌های لگوم همراه با گیاه گلرنگ، بیشترین سودمندی هنگامی که نخود به عنوان گیاه همراه انتخاب شد، به دست آمد و الگوی کشت مخلوط ۵۰:۵۰ نیز از برتری بالاتری نسبت به سایر تیمارها برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی: شاخص بهره‌وری، ضریب ازدحام نسبی، کاهش عملکرد واقعی، نسبت برابری زمین

مقدمه

رشد فزاینده جمعیت و نیاز بشر به تأمین منابع غذایی از یک طرف، و پیامدهای تغییر اقلیم و محدودیت منابع محیطی از طرف

دیگر، لزوم توسعه سیستم‌های زراعی سازگار با محیط زیست با راندمان بالای استفاده از منابع محیطی و تولید پایدار را دوچندان نموده است (Hong et al., 2019). کشت مخلوط به عنوان یکی از راهبردهای کلیدی کشاورزی پایدار، در راستای افزایش بهره‌وری استفاده از منابع محیطی، کاهش خسارت تنش‌های محیطی و بهبود درآمد مزرعه مورد توجه و استقبال محققین و کشاورزان قرار گرفته است (Esmaeilian & Amiri, 2021). کشت مخلوط در بسیاری از

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

(*)- نویسنده مسئول: Email: f.mondani@razi.ac.ir

<https://doi.org/10.22067/agry.2023.84365.1166>

Shirzadi et al.,)، معادل ۱/۸ به دست آمد (2011). علاوه بر این با انجام کشت مخلوط نخود فرنگی (Pisum sativum) و جو، کارایی استفاده از زمین در مقایسه با تک کشتی حدود ۳۲-۱۲ درصد بهبود یافت (Chapagain & Riseman, 2014).

بیشترین نسبت برابری زمین در سیستم کشت مخلوط ۵۰:۵۰ (گلرنگ و باقلا (Vicia faba L.)) با مصرف تفریقی کود زیستی (از توپارور ۷ و فسفات بارور ۲) و ۶۰ درصد کود شیمیایی (اوره + سوپرفسفات تریپل) حاصل شد (Saeidi et al., 2018). مطالعات دیگر نیز نشان داد که بالاترین نسبت برابری زمین و شاخص نسبت منفعت به هزینه به ترتیب از کشت مخلوط کدوی تخمه کاغذی (Cucurbita pepo L.) با عدس با مصرف ۷۵ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار و مخلوط کدوی تخمه کاغذی و نخود با مصرف ۱۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد (Khoramivafa et al., 2011). در پژوهشی دیگر گزارش شد که از لحاظ نسبت برابری زمین بیشترین نسبت (۱/۹) در کشت یک ردیف گلرنگ با چهار ردیف نخود و کمترین مقدار آن (۱/۴) در کشت چهار ردیف گلرنگ با یک ردیف نخود مشاهده شد (Majnoon Hosseini et al., 2013). همچنین کشت مخلوط شنبلیله و انیسون (Pimpinella anisum L.) نسبت به کشت خالص آن‌ها از نظر نسبت برابری زمین برتری داشت (Mardani et al., 2015) و در کشت مخلوط آفتابگردان (Helianthus annuus L.) با ماش (Vigna radiate L.) ارزش نسبی بیشتری در مقایسه با تک کشتی به دست آمد (Imran et al., 2011). در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که در کشت مخلوط ذرت (Zea mays L.) با باقلا مجموع ارزش نسبی بیشتری در مقایسه با تک کشتی آن‌ها به دست آمد (Rezaei Chianeh et al., 2011).

علاوه بر این، محاسبه شاخص‌های سودمندی اقتصادی (سودمندی کشت مخلوط، مزیت پولی و مجموع ارزش نسبی)، مزیت کشت مخلوط را نسبت به تک کشتی نشان می‌دهند (Esmaeilian & Amiri, 2021). شاخص اقتصادی بیشتر از یک در سیستم‌های کشت مخلوط می‌تواند تأییدکننده سازگاری مناسب بین گونه گیاهی اصلی و گیاه همراه باشد که عوامل قیمت محصولات و همچنین میزان عملکرد حاصل از اجزاء مخلوط نیز در افزایش این شاخص دخیل است (Saeidi et al., 2018). بالاتر بودن شاخص مزیت پولی کشت مخلوط در الگوهای مختلف کشت مخلوط گلرنگ با باقلا نسبت به

مناطق جهان رواج داشته است و زارعین با انگیزه‌های گوناگون مانند کاهش خطرات احتمالی، استفاده از منابع، به دست آوردن حداکثر سود، حفاظت خاک، حاصلخیزی خاک، استفاده کارآمد از آب خاک، باقی ماندن بقایای گیاهی بیشتر در خاک، کاهش آفات و بیماری‌های گیاهی، حفاظت از باد و سرما و حفاظت فیزیکی و مهار علف‌های هرز به انجام این نوع کشت اشتیاق دارند (Abdollahi, 2018).

در این راستا، نتایج تحقیقات بسیاری در مناطق مختلف جهان سودمندی کشت مخلوط را در مقایسه با نظام‌های تک کشتی برای محصولات زراعی مختلف نشان داده است. مقایسه الگوهای مختلف کشت مخلوط گلرنگ (Carthamus tinctorius L.) و نخود (Cicer arietinum L.) با کشت خالص این گیاهان مشخص کرد که نسبت برابری زمین (LER^۱) در تمام الگوهای کشت مخلوط بالاتر از عدد یک بود و بیشترین مقادیر از کشت مخلوط نواری به دست آمد (Zafarani, 2014). در طی مطالعه دیگری که در آن به ارزیابی شاخص‌های رقابتی و مزیت زراعی کشت مخلوط گلرنگ با خلر (Lathyrus sativus L.) پرداخته شد، گزارش شد که گلرنگ ضریب ازدحام نسبی (RCC^۲) بالاتری نسبت به خلر داشت (Jalilian et al., 2017). نتایج تحقیق مذکور همچنین نشان داد که سیستم کشت مخلوط، برتری محسوس و معنی‌داری در مورد معیارهای کارایی استفاده از زمین نسبت به کشت خالص دو گیاه داشت. در کشت مخلوط گلرنگ با سیب‌زمینی (Solanum tuberosum L.) نیز گزارش شد که بالاترین مقدار نسبت برابری زمین (۱/۱۲) متعلق به تیمار کشت مخلوط ۱۲ بوته گلرنگ در مترمربع و شش بوته سیب‌زمینی در مترمربع بود، به عبارت دیگر، در این تیمار نسبت به کشت خالص ۱۲ درصد، عملکرد بیشتری در واحد سطح تولید شده بود (Rahimi et al., 2015). در تحقیقی دیگر که به منظور ارزیابی سودمندی کشت مخلوط نخود با جو (Hordeum vulgare L.) تحت شرایط رقابت با علف‌های هرز اجرا شده بود، گزارش شد که در تمام تیمارهای کشت مخلوط نسبت برابری زمین بالاتر از یک بود و کشت مخلوط نخود و جو در هر دو حالت تداخل و عاری از علف هرز، برتر از کشت خالص آن‌ها بود (Hamzei & Seyedi, 2013). براساس گزارشی دیگر، بیشترین مقدار نسبت برابری زمین در کشت مخلوط شنبلیله (Trigonella foenum-graecum L.) و عدس (Lens

1- Land equivalent ratio

2- Relative Crowding Coefficient

کشت خالص آن‌ها گزارش شده است (Saeidi et al., 2019). بنابراین، برای دست یافتن به اهداف کشاورزی پایدار، این بررسی با هدف مقایسه و محاسبه شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط گلرنگ به‌عنوان گیاه اصلی که اهمیت آن از نظر تأمین روغن به‌ویژه در اراضی دیم کشور بر کسی پوشیده نیست، با خلر، عدس و نخود از خانواده بقولات تحت شرایط اقلیمی کرمانشاه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در قالب کرت‌های خرد شده برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع

طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه (عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه، طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۰ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۲۰ متر) در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ بصورت دیم اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل سه گونه لگوم نخود، عدس و خلر به‌عنوان عامل اصلی و آرایش‌های کشت مخلوط شامل کشت خالص گلرنگ، کشت با نسبت ۲۵:۷۵ گلرنگ و لگوم، کشت با نسبت ۵۰:۵۰ گلرنگ و لگوم، کشت با نسبت ۷۵:۲۵ گلرنگ و لگوم و کشت خالص لگوم به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. قبل از اجرای آزمایش از خاک مزرعه به‌منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک نمونه‌برداری صورت گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری

Table 1- Physical and chemical properties of experiment soil at 0-30 cm depth							
شن	رس	سیلت	اسیدیته	نیتروژن	کربن آلی	پتاسیم	فسفر قابل جذب
Sand (%)	Clay (%)	Silt (%)	pH	N (%)	C (%)	K (mg.kg ⁻¹)	P (mg.kg ⁻¹)
22	53	25	7.8	0.01	0.9	320	11.8

در این تحقیق T گلرنگ گیاه اصلی و نخود، عدس و خلر به‌عنوان گیاه همراه در نظر گرفته شدند. آزمایش به‌صورت جایگزینی طراحی شد. تراکم بوته برای گلرنگ و نخود ۴۰ بوته در مترمربع (Saeidi et al., 2018; Hajishabani et al., 2020)؛ با فاصله ۵۰ و ۵ سانتی‌متر به‌ترتیب بین و روی ردیف بود. تراکم ۱۶۰ بوته در مترمربع برای عدس (Shobeiri et al., 2019) و ۸۰ بوته در مترمربع برای خلر (Kheradmand et al., 2015) با فاصله ۲۵ و ۳ سانتی‌متر به‌ترتیب بین و روی ردیف در تیمار کشت خالص در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که برای اجرای آرایش‌های کشت مخلوط جایگزینی، ابتدا برای هر یک از گیاهان جایگزین واحد گیاهی محاسبه شد، به این صورت که به معادل هر بوته گلرنگ به‌ترتیب یک بوته نخود، چهار بوته عدس و چهار بوته خلر در نظر گرفته شد.

آماده‌سازی زمین شامل شخم با گاوآهن قلمی بود که در اوایل آبان ماه ۱۳۹۷ انجام شد. مساحت هر کرت فرعی آزمایش ۱۲ مترمربع (۳ × ۴) بود. به این صورت که هر واحد آزمایش شامل هشت ردیف کاشت و به‌طول شش متر در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه در این تحقیق، گلرنگ گیاه اصلی بود، بنابراین فاصله بین ردیف‌های کاشت براساس آرایش کشت گلرنگ در تیمار خالص و به‌میزان ۵۰ سانتی‌متر لحاظ گردید و جهت کشت گیاهان همراهی که

فاصله بین ردیف‌های کشت آن‌ها ۲۵ سانتی‌متر بود، در آرایش‌های مختلف مخلوط بر روی ردیف‌های ۵۰ سانتی‌متری، دو ردیف عدس و یا خلر کشت گردید. کشت بذور گیاهان مختلف به‌صورت همزمان و پس از آماده‌سازی زمین در تاریخ دهم آبان ماه و با دست انجام گرفت. تاریخ کاشت نیز پس از وقوع اولین بارندگی مؤثر (۲۸ مهرماه ۱۳۹۷) لحاظ شد. عملیات تنک کردن برای رسیدن به تراکم مورد نظر پس از سبز شدن و رسیدن بوته‌ها به مرحله نموی چهار تا شش برگی انجام شد. در این آزمایش، برای گلرنگ رقم سینا، نخود رقم منصور، عدس رقم کیمیا و خلر توده محلی استفاده و بذرها از مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان کرمانشاه تهیه شد. به‌منظور اجرای یک سیستم اکولوژیک کم‌نهاد تا آخر فصل از هیچ گونه نهاده شیمیایی استفاده نشد، ولی از کود دامی پوسیده به‌میزان ۱۰ تن در هکتار استفاده شد. مدیریت علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی تا قبل از بسته شدن کانوبی طی دو مرحله انجام شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد نهایی، در اوایل مرداد ماه ۱۳۹۸ در زمان رسیدگی فیزیولوژیک (به‌تفکیک گونه) پس از حذف اثرات حاشیه، بوته‌های موجود در هر واحد آزمایشی به مساحت ۱/۸ مترمربع (۰/۶ متر × ۳ متر) برداشت و پس از خشک کردن آن‌ها در آون (در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت) دانه‌ها از کاه و کلش جدا شده و عملکرد دانه براساس کیلوگرم در

$$AYL_a = \left[LER \times \left(\frac{100}{Z_{ab}} \right) - 1 \right] \quad \text{معادله (۵)}$$

$$AYL_b = \left[LER \times \left(\frac{100}{Z_{ba}} \right) - 1 \right] \quad \text{معادله (۶)}$$

که در آن، Z_{ab} : سهم گونه a در کشت مخلوط و Z_{ba} : سهم گونه b در کشت مخلوط را نشان می‌دهد. شاخص بهره‌وری سیستم^۲ (SPI) براساس معادله ۷ محاسبه گردید.

$$SPI = (Y_{aa}/Y_{bb}) \times Y_{ba} + Y_{ab} \quad \text{معادله (۷)}$$

که در آن، Y_{aa} : عملکرد گونه a در کشت خالص، Y_{bb} : عملکرد گونه b در کشت خالص، Y_{ab} : عملکرد گونه a در کشت مخلوط و Y_{ba} : عملکرد گونه b در کشت مخلوط است. در پایان، به‌منظور آنالیز واریانس و مقایسه میانگین‌ها از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ استفاده شد. پس از انجام تجزیه واریانس، مقایسه میانگین صفاتی که معنی‌دار شده بودند، با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار^۳ (LSD) در سطح آماری پنج درصد انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۱۶ استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد نسبی و نسبت برابری زمین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنها اثر آرایش کاشت بر عملکرد نسبی گلرنگ معنی‌دار بود و برای گیاهان لگوم و مجموع عملکرد نسبی علاوه‌بر آرایش کاشت اثر گونه لگوم نیز معنی‌دار بود (جدول ۲).

در بین گیاهان همراه، نخود و عدس (با قرار گرفتن در یک گروه آماری) نسبت به خلر با اختلاف معنی‌داری عملکرد نسبی و مجموع عملکرد نسبی بیشتری را به خود اختصاص دادند که امکان دارد به‌علت توانایی بالاتر تثبیت بیولوژیکی نیتروژن این دو گیاه در مقایسه با خلر باشد (جدول ۳). نسبت برابری زمین برای آرایش‌های کشت مخلوط بیشتر از یک بود که نشان‌دهنده کارایی بالاتر کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است (جدول ۴)، البته لازم به ذکر است که در بین آرایش‌های مختلف بالاترین نسبت برابری زمین متعلق به تیمار ۵۰ درصد گلرنگ : ۵۰ درصد لگوم بود.

هکتار برای گونه‌های گیاهی مورد بررسی اندازه‌گیری شد. نسبت برابری زمین (LER) از طریق معادله ۱ محاسبه شد.

$$(Y_{ab}/Y_{aa}) + (Y_{ba}/Y_{bb}) = LER = LER_a + LER_b \quad \text{معادله (۱)}$$

برای تعیین این شاخص، عملکرد نسبی هر جزء محاسبه می‌شود و مجموع آن‌ها میزان LER را نشان می‌دهد. که در این معادله، Y_{ab} : عملکرد گونه a در کشت مخلوط، Y_{aa} : عملکرد گونه a در کشت خالص، Y_{ba} : عملکرد گونه b در کشت مخلوط و Y_{bb} : عملکرد گونه b در کشت خالص است. اگر مقدار $LER > 1$ باشد، کشت مخلوط مزیت دارد و برای تولید مقدار محصول برابر کشت مخلوط، تک‌کشتی به زمین بیشتری نیاز است. اگر مقدار آن کمتر از یک باشد، تک‌کشتی ترجیح خواهد داشت و بالاخره اگر $LER = 1$ باشد، نشانگر حد بحرانی بوده و در این شرایط تولید در واحد سطح در کشت مخلوط و تک‌کشتی با هم برابر هستند (Koocheki et al., 2010). ضریب ازدحام نسبی (RCC) برای گیاه a (RCC_a) که با گیاه b مخلوط شده است، از طریق معادله ۲ محاسبه می‌شود.

$$RCC_a = Y_{ab} \times Z_{ab} / (Y_{aa} - Y_{ab}) \times Z_{ba} \quad \text{معادله (۲)}$$

این شاخص تعیین‌کننده میزان رقابت بین گیاهانی است که به‌صورت مخلوط کشت شده‌اند. در این معادله، Y_{aa} : محصول گونه a در تک‌کشتی، Y_{ab} : محصول گونه a در کشت مخلوط، Z_{ab} : نسبت مخلوط گونه a و Z_{ba} : نسبت مخلوط گونه b است. اگر $RCC_a = 1$ باشد، در گیاه a رقابت درون‌گونه‌ای با برون‌گونه‌ای برابر است، ولی اگر ضریب نسبی تراکم برای هر دو گونه (RCC_a و RCC_b) برابر واحد باشد، در مخلوط حالت موازنه یا تعادل رقابت برقرار خواهد بود (Mazaheri, 1998). با استفاده از این روش، سودمندی زراعت مخلوط به‌وسیله معادله ۳ ارزیابی می‌شود.

$$K = RCC_a \times RCC_b \quad \text{معادله (۳)}$$

اگر K بزرگ‌تر از یک باشد، زراعت مخلوط سودمند خواهد بود. اگر K کوچک‌تر از یک باشد، میزان محصول به‌دست آمده از زراعت مخلوط کمتر از محصول تک‌کشتی است و اگر K برابر یک باشد در زراعت مخلوط هیچ گونه افزایش یا کاهش محصول نسبت به زراعت تک‌کشتی دیده نمی‌شود (Mazaheri, 1998). کاهش عملکرد واقعی^۱ (AYL) از طریق معادله‌های ۴ تا ۶ محاسبه شد.

$$AYL = AYL_a + AYL_b \quad \text{معادله (۴)}$$

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد نسبی اجزای مخلوط و نسبت برابری زمین تحت تأثیر تیمارهای کشت مخلوط گلرنگ با نخود، عدس و خلر

Table 2 - Analysis of variance (mean of squares) of the relative yield of intercropping components and land equivalent ratio under the influence of intercropping treatments of safflower with chickpea, lentil, and bitter vetch

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	عملکرد نسبی گلرنگ Relative yield of safflower	عملکرد نسبی لگوم Relative yield of legumes	مجموع عملکرد نسبی (نسبت برابری زمین) Total relative yield (land equivalent ratio)
تکرار Replication	2	0.02*	0.005 ^{ns}	0.02*
گونه لگوم Legume species (L)	2	0.00 ^{ns}	0.011*	0.02*
خطا a Error a	4	0.00	0.007	0.00
آرایش‌های کشت مخلوط Intercropping arrangements (I)	4	1.38**	1.398**	0.12**
L×I	8	0.00 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.00 ^{ns}
خطا b Error b	24	0.00	0.003	0.00
ضریب تغییرات CV (%)	-	15.0	9.4	9.1

^{ns}, *, ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.
ns, *, and ** show non-significant and significant at 5 and 1% of probability levels, respectively.

جدول ۳- اثر گونه‌های لگوم بر عملکرد نسبی اجزای مخلوط و نسبت برابری زمین در شرایط کشت مخلوط گلرنگ با نخود، عدس و خلر
Table 3- The effect of legume species on the relative yield of the intercropping components and the land equivalent ratio in the intercropping condition of safflower with chickpea, lentil, and bitter vetch

گونه لگوم Legume species	عملکرد نسبی گلرنگ Relative yield of safflower	عملکرد نسبی لگوم Relative yield of legumes	مجموع عملکرد نسبی (نسبت برابری زمین) Total relative yield (land equivalent ratio)
نخود Chickpea	0.58	0.57	1.14
عدس Lentil	0.57	0.56	1.13
خلر Bitter vetch	0.55	0.49	1.04
حداقل اختلاف معنی‌دار LSD (0.5%)	0.05	0.06	0.09

%

گندم- باقلا می‌تواند موجب افزایش عملکرد کل، کاهش رشد علف‌های هرز، افزایش کارایی استفاده از زمین و در نتیجه، افزایش پایداری در تولید گردد. همچنین گزارش شده است که نسبت برابری زمین در تیمارهای کشت مخلوط جو- نخود نسبت به تیمارهای تک‌کشتی، حدود ۳۲ درصد بیشتر بود (Chapagain & Riseman, 2014).

هنگامی که حبوبات همراه با گیاهان دیگر به صورت مخلوط کشت می‌شوند، نیتروژن تثبیت شده توسط این دسته از گیاهان در خاک می‌تواند به گیاه همراه در کشت مخلوط منتقل و در نتیجه، منجر به افزایش محصول آن گردد (Banik et al., 2006). در آزمایشی دیگر مشاهده شد که کشت مخلوط گندم (*Triticum aestivum*)- باقلا باعث افزایش نسبت برابری زمین شد (Agegnehu et al., 2008). آن‌ها بیان کردند که کشت مخلوط

جدول ۴- اثر آرایش‌های کشت مخلوط بر عملکرد نسبی اجزای مخلوط و نسبت برابری زمین در شرایط کشت مخلوط گلرنگ با نخود، عدس و خلر

Table 4- The effect of intercropping arrangements on the relative yield of the intercropping components and the land equivalent ratio in intercropping condition of safflower with chickpea, lentil, and bitter vetch

آرایش‌های کشت مخلوط Intercropping arrangements	عملکرد نسبی گلرنگ Relative yield of safflower	عملکرد نسبی لگوم Relative yield of legumes	مجموع عملکرد نسبی (نسبت برابری زمین) Total relative yield (land equivalent ratio)
کشت خالص گلرنگ Safflower 100	1.00	0.00	1.00
گلرنگ ۷۵ : لگوم ۲۵ Safflower 75: legume 25	0.80	0.33	1.13
گلرنگ ۵۰ : لگوم ۵۰ Safflower 50: legume 50	0.66	0.60	1.26
گلرنگ ۲۵ : لگوم ۷۵ Safflower 25: legume 75	0.37	0.80	1.18
کشت خالص لگوم Legume 100	0.00	1.00	1.00
حداقل اختلاف معنی‌دار LSD (0.5%)	0.08	0.05	0.10

ضریب ازدحام نسبی

الگوهای کشت مخلوط بیشتر از یک بود که نشان از برتری تیمارهای کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی دارد (جدول ۶). در بین نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، بیشترین (۴/۶) میزان ضریب ازدحام نسبی در تیمار ۵۰ درصد گلرنگ: ۵۰ درصد لگوم مشاهده شد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر گونه‌های همراه برای ضریب ازدحام نسبی معنی‌دار نبود، اما اثر آرایش کاشت برای گلرنگ و مخلوط معنی‌دار بود (جدول ۵). ضریب ازدحام نسبی در تمام

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ضریب ازدحام نسبی تحت تأثیر تیمارهای تیمارهای کشت مخلوط گلرنگ با نخود، عدس و خلر
Table 5- Analysis of variance (mean of squares) of the relative crowding coefficient under the influence of intercropping treatments of safflower with chickpea, lentil, and bitter vetch

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	ضریب ازدحام نسبی گلرنگ Safflower RCC	ضریب ازدحام نسبی لگوم Legumes RCC	ضریب ازدحام نسبی مخلوط Intercropping RCC
تکرار Replications	2	0.5 ^{ns}	0.7 ^{ns}	2.3 ^{ns}
گونه لگوم Legume species (L)	2	0.04 ^{ns}	1.5 ^{ns}	1.6 ^{ns}
خطا Error a	4	1.2	1.9	1.2
آرایش‌های کشت مخلوط Intercropping arrangements (I)	4	11.2 ^{**}	0.3 ^{ns}	12.5 ^{**}
L×I	8	0.1 ^{ns}	0.2 ^{ns}	0.3 ^{ns}
خطا Error b	24	0.9	0.7	1.7
ضریب تغییرات CV (%)	-	12.5	11.3	13.5

ns، * و **: به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.
ns، *، and ** show non-significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

جدول ۶- اثر آرایش‌های کشت مخلوط بر ضریب ازدحام نسبی در شرایط کشت مخلوط گلرنگ با نخود، عدس و خلر

Table 6- The effect of intercropping arrangements on the relative crowding coefficient in intercropping condition of safflower with chickpea, lentil, and bitter vetch

آرایش‌های کشت مخلوط Intercropping arrangements	ضریب ازدحام نسبی گلرنگ Safflower RCC	ضریب ازدحام نسبی لگوم Legumes RCC	ضریب ازدحام نسبی مخلوط Intercropping RCC
گلرنگ ۷۵ : لگوم ۲۵ Safflower 75: legume 25	2.0	1.3	2.8
گلرنگ ۵۰ : لگوم ۵۰ Safflower 50: legume 50	2.6	1.5	4.6
گلرنگ ۲۵ : لگوم ۷۵ Safflower 25: legume 75	1.7	1.2	3.2
حداقل اختلاف معنی‌دار LSD (0.5%)	0.4	0.5	0.3

کشت ۷۵:۲۵ گلرنگ و لگوم، بیشترین میزان کاهش عملکرد واقعی را در بین الگوهای کشت مختلف به خود اختصاص داد که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با الگوی کاشت ۵۰:۵۰ نداشت. در بررسی کشت مخلوط ذرت با ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica*)، نیز مشخص شد که مقادیر کاهش عملکرد واقعی برای تیمارهای مورد بررسی مثبت بود که نشان‌دهنده سودمندی کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی بود (Shaygan et al., 2008). نامبردگان علت این امر را استفاده بهتر از نهاده‌ها در کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی و کنترل جمعیت و زیست‌توده علف‌های هرز در کشت مخلوط عنوان کردند.

شاخص بهره‌وری سیستم

نتایج این بررسی نشان داد که اثر آرایش‌های مختلف کشت مخلوط، گونه لگوم و برهم‌کنش آن‌ها بر شاخص بهره‌وری معنی‌دار بود (جدول ۷). بیشترین شاخص بهره‌وری در تیمار ۷۵:۲۵ گلرنگ و عدس و کمترین آن در تیمار ۷۵:۲۵ گلرنگ و خلر مشاهده شد. کشت مخلوط گلرنگ با همراهی گیاه عدس نسبت به دو لگوم دیگر به‌عنوان گیاه همراه دارای شاخص بهره‌وری بیشتری بود. به‌طور کلی، در همراهی هر سه لگوم با گلرنگ، نسبت‌های مخلوط موجب کاهش میزان این صفت نسبت به کشت خالص گلرنگ شدند، اما این میزان کاهش برای گیاه عدس چشمگیرتر بود. در بین سه نوع گیاه همراه کشت شده، عدس با شاخص بهره‌وری ۶۰۸۹ کیلوگرم در هکتار بیشترین و خلر با ۳۳۱۳ کیلوگرم در هکتار کمترین شاخص بهره‌وری را دارا بودند.

به نظر می‌رسد که گلرنگ در شرایط تیمارهای کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی به‌علت اثرات تسهیل‌کنندگی نخود، عدس و خلر مانند تثبیت بیولوژیک نیتروژن و جلوگیری از هجوم علف‌های هرز به بین ردیف‌های کشت از شرایط رشدی بهتری برخوردار بوده است که دلیل این امر احتمالاً می‌تواند اختلافات مورفولوژیکی موجود بین اندام‌های تشکیل‌دهنده گیاه، ساختار متفاوت تاج‌پوشش و ریشه‌ها باشد که باعث به حداقل رسیدن رقابت بین آن‌ها برای جذب منابع و در نتیجه، بهبود تولید ماده خشک توسط گیاه شده است. در تحقیقی دیگر نیز مشخص شد که شاخص ضریب ازدحام نسبی در کشت مخلوط جو با باقلا بالا بود که نشان‌دهنده سودمندی کشت مخلوط این دو گونه نسبت به تک‌کشتی آن‌ها است (Agegnehu et al., 2006).

کاهش عملکرد واقعی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر الگوی کاشت (برای گلرنگ، لگوم و مخلوط) و نوع گیاه همراه (برای لگوم و مخلوط) بر کاهش عملکرد واقعی معنی‌دار بود (جدول ۷). همان‌گونه که در جدول مقایسه‌های میانگین دیده می‌شود، میزان این صفت برای هر سه گیاه همراه، مثبت بود، اما در شرایطی که گیاه نخود (۰/۶۲) به‌عنوان گیاه همراه کشت شده بود، میزان کاهش عملکرد واقعی بیشتر از شرایطی بود که گیاه خلر به‌عنوان گیاه همراه کشت شده بود (جدول ۸). به‌طور کلی، در تمامی الگوهای کشت میزان کاهش عملکرد واقعی، مثبت بود که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط در این الگوها نسبت به تک‌کشتی گیاهان مورد مطالعه است (جدول ۹). با این حال، الگوی

جدول ۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص‌های کاهش عملکرد واقعی و بهره‌وری کشت مخلوط تحت تأثیر تیمارهای کشت مخلوط گلرنگ با نخود، عدس و خلر

Table 7- Analysis of variance (mean of squares) for the indices of actual yield loss and system productivity index of intercropping under the influence of intercropping treatments of safflower with chickpea, lentil, and bitter vetch

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	کاهش عملکرد واقعی گلرنگ Safflower actual yield loss	کاهش عملکرد واقعی لگوم Legumes actual yield loss	کاهش عملکرد واقعی مخلوط Intercropping actual yield loss	شاخص بهره‌وری سیستم System productivity index
تکرار Replications	2	0.2*	0.08 ^{ns}	0.1*	5499916*
گونه لگوم Legume species (L)	2	0.02 ^{ns}	0.14*	0.29*	29261618**
خطا Error a	4	0.00	0.07	0.06	233170
آرایش‌های کشت مخلوط Intercropping arrangements (I)	4	0.4**	0.14*	0.17*	14069785**
L×I	8	0.00 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.01 ^{ns}	2740647**
خطا Error b	24	0.03	0.03	0.05	588877
ضریب تغییرات CV (%)	-	62.1	87.0	44.0	17

ns، * و **: به ترتیب نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.
ns, *, and ** show non-significant and significant at 5 and 1% of probability levels, respectively.

جدول ۸- اثر گونه‌های لگوم بر کاهش عملکرد واقعی در شرایط کشت مخلوط گلرنگ با نخود، عدس و خلر

Table 8- The effect of legume species on the actual yield loss in the intercropping condition of safflower with chickpea, lentil, and bitter vetch

گونه لگوم Legume species	گلرنگ Safflower	لگوم Legumes	مخلوط Intercropping
نخود Chickpea	0.34	0.27	0.62
عدس Lentil	0.31	0.28	0.59
خلر Bitter vetch	0.23	-0.08	0.15
حداقل اختلاف معنی‌دار LSD (0.5%)	0.09	0.20	0.25

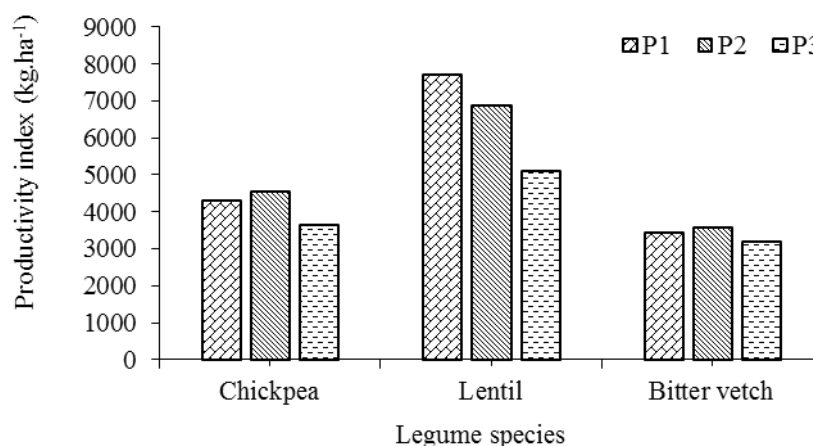
جدول ۹- اثر آرایش‌های کشت مخلوط بر کاهش عملکرد واقعی در شرایط کشت مخلوط گلرنگ با نخود، عدس و خلر

Table 9- The effect of intercropping arrangements on the actual yield loss in the intercropping condition of safflower with chickpea, lentil, and bitter vetch

آرایش‌های کشت مخلوط Intercropping arrangements	گلرنگ Safflower	لگوم Legumes	مخلوط Intercropping
گلرنگ ۷۵ : لگوم ۲۵ Safflower 75: legume 25	0.07	0.22	0.29
گلرنگ ۵۰ : لگوم ۵۰ Safflower 50: legume 50	0.32	0.19	0.52
گلرنگ ۲۵ : لگوم ۷۵ Safflower 25: legume 75	0.49	0.06	0.55
حداقل اختلاف معنی‌دار LSD (0.5%)	0.2	0.14	0.21

۷۵ درصد لگوم و ۲۵ درصد گلرنگ و کشت خالص لگوم‌ها از شاخص بهره‌وری بیشتری برخوردار بودند (شکل ۱).

در نسبت‌های مختلف آرایش کاشت به ترتیب تیمار کشت خالص گلرنگ، مخلوط ۲۵ درصد لگوم و ۷۵ گلرنگ، مخلوط ۵۰:۵۰، مخلوط



شکل ۱- اثر برهم‌کنش آرایش کاشت و گونه لگوم بر شاخص بهره‌وری کشت مخلوط

Fig. 1- The effect of intercropping arrangements and legume species interaction on intercropping productivity index

P₁: کشت با نسبت ۲۵:۷۵ گلرنگ و لگوم، P₂: کشت با نسبت ۵۰:۵۰ گلرنگ و لگوم و P₃: کشت با نسبت ۷۵:۲۵ گلرنگ و لگوم. حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) (0.5%) ۵۴۱

P₁) Safflower 75: legume 25, P₂) Safflower 50 : legume 50, and P₃) Safflower 25: legume 75. LSD (0.5%) is 541

نتیجه‌گیری

به‌ویژه در مورد تثبیت بیولوژیک نیتروژن، دور از ذهن نیست. در بین آرایش‌های کشت مخلوط، الگوی ۵۰ درصد گلرنگ : ۵۰ درصد لگوم نیز از نظر شاخص‌های سودمندی کشت مخلوط در مقایسه با سایر الگوهای مورد بررسی، دارای برتری بود. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که در صورت تأیید نتایج این بررسی در سال‌ها و مناطق دیگر، در شرایط دیم، گلرنگ با گیاه نخود به‌صورت همراه و با آرایش ۵۰:۵۰ کشت گردد.

به‌طور کلی، نتایج این بررسی نشان داد که در بین گونه‌های گیاهی، نخود، عدس و خلر در شرایط کشت مخلوط صرف نظر از آرایش‌های کاشت، زمانی که گیاه نخود به‌صورت همراه با گلرنگ در کرت‌های آزمایش کشت شده بود، از نظر شاخص‌های کشت مخلوط مورد بررسی دارای سودمندی بیشتری بود، به‌گونه‌ای که بیشترین نسبت برابری زمین (۱/۱۴) متعلق به این گیاه همراه بود. این نتیجه با توجه به اثرات تسهیل‌کنندگی بیشتر نخود در مقایسه با عدس و خلر

References

1. Abdollahi, A. (2018). Evaluation of wheat and chickpea intercropping methods with nitrogen management under weed control and non-control conditions. Ph.D. Dissertation, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran. (In Persian with English abstract)
2. Agegnehu, G., Ghizaw, A., & Sinebo, W. (2008). Yield potential and land-use efficiency of wheat and faba bean mixed intercropping. *Agronomy for sustainable development*, 28, 257-263. <https://doi.org/10.1051/agro:2008012>
3. Agegnehu, G., Ghizaw, A., & Sinebo, W. (2006). Yield performance and land-use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Ethiopian highlands. *European Journal of Agronomy*, 25(3), 202-207. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.05.002>
4. Banik, B., Midya, A., Sarkar, B.K., & 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>
5. Chapagain, T., & Riseman, A. (2014). Barley-pea intercropping: Effects on land productivity, carbon and nitrogen transformations. *Field Crops Research*. 166, 18-25. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.06.014>
6. Esmaeilian, Y., & Amiri, M.B. (2021). Agronomic and economic evaluation of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) intercropping under micronutrient applications. *Journal of Crop Ecophysiology*. 15(1), 1-20. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.30495/jcep.2021.681003>
7. Hajishabani, H., Mondani, F., & Bagheri, A. (2020). Simulation effects of sowing date on growth and yield of rainfed chickpea (*Cicer arietinum* L.) by CROPGRO-CHICKPEA model. *Iranian Journal of Field Crop Research*. 18(2), 197-212. <https://doi.org/10.22067/GSC.V18I2.82684>
8. Hamzei, J., & Seyed, M. (2013). Evaluation of barley (*Hordeum vulgare*) and chickpea (*Cicer arietinum*) intercropping systems using advantageous indices of intercropping under weed interference conditions. *Journal of Agronomy Sciences*. 6(9), 1-12. (In Persian with English abstract). https://journals.shahed.ac.ir/article_1302.html
9. Hong, Y., Heerlink, N., Zhao, M., & Van der Werf, W. (2019). Intercropping contributes to a higher technical efficiency in smallholder farming: Evidence from a case study in Gaotai county, China. *Agricultural Systems*. 173, 317-324. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.007>
10. Imran, M., Ali, A., Waseem, M., Tahir, M., Ullah, A., Mohsin, S., Ghaffari, A., & Rehman, H. (2011). Bio-economic assessment of sunflower-mungbean intercropping system at different planting geometry. *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*. 1(4), 126-136.
11. Jalilian, J., Najafabadi, A., & Zardashti, M.R. (2017). Intercropping patterns and different farming systems affect the yield and yield components of safflower and bitter vetch. *Journal of Plant Interactions*. 12(1), 92-99. <https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1294712>
12. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Feizi, H., Amirmoradi, S., Mondani, F. (2010). Effect of strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on yield and land equivalent ratio in weedy and weed free conditions. *Journal of Agroecology*. 2(2), 225-235. <https://doi.org/10.22067/JAG.V2I2.7627>
13. Kheradmand, S., Mahmoodib, S., & Ahmadi, E. (2015). Quantitative and qualitative performance evaluation of green pea and barley forage intercropping. *Applied Field Crop Research*. 27(105), 111-118. <https://doi.org/10.22092/AJ.2014.103358>
14. Khoramivafa, M., Eftekharinasab, N., Nemati, A., Sayadian, K., & Najafi A. (2011). Economic evaluation of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. var. Styriac)/chickpea-lentil intercropping system associated with several nitrogen levels. *Journal of Agronomy Sciences*. 4(5), 53-62. (In Persian with English abstract). https://journals.shahed.ac.ir/article_1275.html
15. Majnoon Hosseini, N., Soleimani, J., & Zinali, H. (2013). Investigating different proportions of strip intercropping on the yield and yield components of safflower and spring chickpea. *Research on Crops and Breeds of Chickpea*. 5, 143-146. (In Persian with English abstract)
16. Mardani, F., Balouchi, H.R., Yadavi, A., & Salehi, A. (2015). Effect of row intercropping patterns on yield, yield components, and weed control of fenugreek (*Trigonella foenumgreacum* L.) and anise (*Pimpinella anisum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*. 13(3), 623-636. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v13i3.29670>
17. Mazaheri, D. (1998). *Intercropping*. Tehran University Publications, Tehran, Iran. (In Persian).
18. Rahimi, G., Barmaki, M., & Seied Sharifi, R. (2015). Evaluation of yield and yield components in potato-safflower intercropping. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*. 108, 114-119. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/aj.2016.106730>
19. Rezaei Chianeh, E., Dabbagh Mohammadi Nassab, A., Ghassemi-Golezani, K., & Aharizad, S. (2011). Study of some agronomical characteristics of maize in intercropping with faba bean. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 21(1), 1-16. (In Persian with English abstract). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.24764310.1390.21.1.1.9>
20. Saeidi, M., Raei, Y., Amini, R., Taghizadeh, A., & Pasban Eslam, B. (2018). Evaluation of yield and protein content of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in intercropping with faba bean (*Vicia faba* L.) under biological and chemical fertilizers. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 28(4), 247-260. (In Persian with English abstract). https://sustainableagriculture.tabrizu.ac.ir/article_8388.html

21. Saeidi, M., Yaghoub, R.A., Amini, R., Taghizadeh, A., Pasban-Eslam, B., & Saralan, A.R. (2019). Competition indices of safflower and faba bean intercrops as affected by fertilizers. *Notulae Scientia Biologicae*. 11(1), 130-137. <https://doi.org/10.15835/nsb11110340>
22. Shaygan, M., Mazaheri, D., Rahimian Mashhadi, H., & Peyghambari S.A. (2008). Effect of planting date and intercropping of maize (*Zea mays* L.) and foxtail millet (*Setaria italica* L.) on their grain yield and weeds control. *Iranian Journal of Crop Science*. 10(1), 31-46. (In Persian with English abstract). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1387.10.1.3.6>
23. Shirzadi, M.H., Rezaei, S., Hemayati, S.S., & Abedi, M. (2011). Evaluation of fenugreek (*Trigonella foenumgraecum* L.) and lentil (*Lens culinaris* Medikus) intercropping. *Plant Ecophysiology*. 3, 53-58.
24. Shobeiri, S.S., Khorsandi, H., & Kamel, M. (2019). Effects of seed rates and row spaces on grain yield and yield components of two lentil cultivars under cold dryland conditions. *Iranian Dryland Agronomy Journal*. 7(2), 125-141. <http://doi.org/10.22092/IDAJ.2018.121553.214>
25. Zafaranih, M. (2014). The effect of different patterns of safflower and chickpea intercropping on yield and yield components of chickpea. 2nd National Conference of Applicable Researches in Agriculture Sciences. Tehran, Iran. (In Persian).



Meta-Analysis of the Effect of Different Amounts of Cow Manure, Chemical (Nitrogen), and Biological Fertilizers on Some Quantitative and Qualitative Traits of Thyme (*Thymus vulgaris* L.)

Hava Mahmoudi Asl¹, Mahmoud Mokhtari^{2*}, Reza Sadrabadi Haghighi¹ and Mahdi Elahi Torshizi¹

1-Department of Agriculture Science, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran.

2-Department of Agriculture, Qaenat Branch, Islamic Azad University, Qaenat, Iran.

*Corresponding Author: khmelborn@gmail.com

Received: 22-04-2024
Revised: 15-08-2024
Accepted: 19-08-2024
Available Online: 01-12-2024

How to cite this article:

Mahmoudi asl, M., Mokhtari, M., Sadrabadi haghighi, R., & Elahi Torshizi, M. (2024). Meta-analysis of the effect of different amounts of Cow manure, chemical (Nitrogen), and biological fertilizers on some quantitative and qualitative traits of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Journal of Agroecology*, 16(3), 477-492. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/AGRY.2024.84908.1170>

Introduction

The inadequacy of the results of a single study and the need to combine the findings by scientists has led to the development of methods that allow combining the results of many independent studies. (Anjomani, 2022). The genus *Thymus* from the mint family (Lamiaceae) has more than 215 species in the world, of which 18 species have been identified in Iran. The medicinal plant (*Thymus vulgaris* L.) is one of the most important medicinal plants in the world, which is used Abundant in the pharmaceutical and food industries, it has a special place among medicinal plants (Gigord et al., 1999). The results of the application of different amounts of N, P, and K fertilizers on the growth and yield of *Thymus vulgaris* L.) showed the highest stem height (37. 38 cm), the yield of fresher plants (42. 78 grams per plant) and the highest the percentage of essential oil was 0. 73% in combined NPK treatment (Sharaf Zadeh, 2011). Research has shown that the highest percentage and yield of essential oil (363. 0% and 277. 00 ml per plant) was obtained from the plants cultivated with Nitroxin biofertilizer, followed by Biophosphorus and mycorrhizal fertilizers, respectively. (Mohammad pour Vashvae et al., 2014). Meta-analysis combines the information of studies, pays attention to the comparison between studies discovers new results from previous studies, and can introduce new fields of research or new research questions.

Material and Methods

To perform this meta-analysis, the method introduced by Cooper was used. This method has the following steps: searching and selecting studies (data collection), coding the characteristics of each study, extracting data suitable for meta-analysis, and analyzing the data. In this research, standardized mean difference and correlation



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

 <https://doi.org/10.22067/AGRY.2024.84908.1170>

coefficient were used. It has been used to determine the size of the Hedges effect (g) (Porasmeili, 2011). Since the intended benefit in this meta-analysis is the difference between the averages of the treatment group (experiment) and the control group (control), in the meta-analysis method for the effect sizes in this research, the standardized mean difference method and the correlation coefficient to determine the Hedges effect size value (g)) has been used (Pouresmaeily et al., 2011). The standard difference between the mean of the control treatment and the mean of the experimental treatment is called the effect size (g) Equation (3) and (4). It was used in performance between control and experimental treatments (Cohen, 1988).

$$g = \frac{M_1 - M_2}{S_{pooled}} \quad (3)$$

In this regard, M1 and M2 is the average performance of experimental treatment and control treatment and S_{pooled} , standard deviation, respectively (Cohen, 1988).

$$S_{pooled} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (4)$$

In this regard, S^1 and S^2 are respectively the square root of the integrated variance of two treatment groups. If there is heterogeneity between studies, the random effect model is used. I^2 index is one of the important indices in determining the degree of heterogeneity between studies. In general, the degree of heterogeneity in the I^2 index is determined in the following three ways: $I^2 \leq 25\%$ indicates low heterogeneity. $50 \leq I^2 \leq 75\%$ indicates moderate heterogeneity; that is, half of the total variability among effect sizes is not due to sampling error and is due to heterogeneity between studies.

and $I^2 \geq 75\%$ indicates high heterogeneity (Higgins & Green, 2011)

Among more than 60 domestic studies and 28 foreign studies. The number of 15 studies that can be meta-analyzed in different subjects: "dry weight, percentage of essential oil and yield of thyme oil" were selected 102 effect sizes were ready for meta-analysis, and the rest of the studies were excluded. All the extracted data were transferred to comprehensive meta-analysis software for meta-analysis. The results reported about each of the variables were analyzed using comprehensive meta-analysis software (CMA.Version 2) developed in the United States.

Results and Discussion

Among more than 60 domestic studies and 28 foreign studies, 15 meta-analysis studies with 53 effect sizes related to the effect of different amounts of cow manure (30, 60, and 90 tons per hectare) on dry weight, essential oil percentage, and thyme oil yield were selected and ready for meta-analysis, and the rest of the studies were excluded. The results obtained in individual studies mostly emphasize the significance and positive effect of animal manure (cow) on quantitative and qualitative yield, while meta-analysis results show that studies of the effect of 30 tons of cow manure per hectare with an effect size (0.502 g) for weight dry and ($g=0.482$) were positive and incremental for oil yield and were significant with 99% confidence ($P \leq 0.01$) for the mentioned traits. These studies were heterogeneous based on the I^2 index for dry weight ($I^2 = 79.48$) and for oil yield ($I^2 = 86.79$), and after drawing a funnel plot and performing the Bag and Mazumdar test, it was observed that they were symmetrical and had no diffusion error. And the obtained results are recommendable. However, the characteristics of plant height and essential oil percentage are not significant, and more studies are needed. Studies on the effect of chemical fertilizers only on the increase in dry weight yield with the effect size ($g = 0.614$) have been positive and significant ($p \leq 0.01$). These studies were heterogeneous based on the I^2 index for dry weight ($I^2 = 93.79$) and after drawing a funnel plot and performing the Bag and Mazumdar test, their symmetry and lack of diffusion error were observed, and the obtained results are recommendable. However, the effect of nitrogen chemical fertilizer on the qualitative traits of essential oil percentage and oil yield is not significant. Contrary to the results of the research that declared the effect of chemical fertilizers and different levels of nitrogen to be significant on dry weight, percentage of essential oil, and oil yield, studies on the effect of biofertilizers respectively with the effect size ($g = 0.789$) on dry weight ($g = 0.773$) ($g = 0.593$) had the most increasing and positive effect on oil yield and essential oil percentage, and it was significant ($P \geq 0.01$). These studies were heterogeneous and symmetrical based on the I^2 index for oil yield ($I^2 = 83.34$) and essential oil percentage ($I^2 = 77.71$), and there was no diffusion error, and its results are recommendable. The results of other researchers have considered the use of organic and biological fertilizers to increase and improve the quantitative and qualitative traits of the thyme medicinal plant, and to recommend these types of fertilizers; they have preferred these types of fertilizers over chemical fertilizers, the traits that were not significant or their studies were not symmetrical in all treatments. The subject needs to conduct studies with higher accuracy for recommendation.

Acknowledgement

In order to carry out this research, it is necessary to acknowledge the efforts of the honorable director of the Department of Agriculture, Islamic Azad University, Mashhad branch, and the honorable professors and advisors who helped me in the research.

Keywords: Effect size, Emission error, Essential oil percentage, Heterogeneity

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۴۹۲-۴۷۷

فرا تحلیل اثر مقادیر مختلف کودهای دامی، شیمیایی (نیتروژن) و زیستی بر برخی صفات کمی و کیفی آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.)

حوا محمودی اصل^۱، محمود مختاری^{۲*}، رضا صدرآبادی حقیقی^۱ و مهدی الهی ترشیزی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۹

چکیده

این مسئله که چگونه می‌توان مطالعات پژوهشی مستقل از یکدیگر را گرد هم آورد و تفسیر کرد، یک سؤال اساسی و مهم در همه علوم است. استفاده از تکنیک فراتحلیل به پژوهشگران این امکان را می‌دهد که در مقایسه با یک مطالعه و یا مداخله واحد یا منفرد به شناختی بیشتر از پدیده‌های مورد نظر برسند. جنس آویشن (*Thymus*) از خانواده نعنائیان (Lamiaceae) دارای بیش از ۲۱۵ گونه در جهان است که ۱۸ گونه آن در ایران شناسایی شده است. آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) گیاهی چند ساله، بوته‌ای، پوششی، نیمه‌همیشه‌سبز و بومی منطقه اروپا و مدیترانه بوده و از قدرت سازگاری محیطی گسترده‌ای برخوردار است. در سال‌های گذشته، مطالعات زیادی روی گیاه آویشن صورت گرفته است که گاه نتایج متناقضی نیز داشته‌اند. بدین‌منظور مقاله‌ها، گزارش‌های پژوهشی و پایان‌نامه‌های دانشجویی با استفاده از واژه‌های کلیدی مرتبط با صفات مهم کمی و کیفی آویشن مرور شد. پس از کنترل کیفی، از میان ۲۵۰ مقاله، تعداد ۶۰ مقاله فارسی و ۲۸ مقاله انگلیسی انتخاب گردید و در نهایت، ۱۵ مقاله با ۵۳ اندازه اثر برای مقادیر مختلف کودهای گاوی و ۴۹ اندازه اثر برای کودهای شیمیایی و زیستی بر صفات، وزن خشک، درصد اسانس و عملکرد روغن ثبت و مورد تجزیه فراتحلیل قرار گرفت. نتایج فراتحلیل نشان می‌دهد که مطالعات اثر ۳۰ تن کود گاوی در هکتار با اندازه اثر ($g=0/502$) برای وزن خشک و ($g=0/482$) برای عملکرد روغن افزایشی و مثبت بودند و با اطمینان ۹۹ درصد ($P\leq 0/01$) برای صفات ذکر شده معنی‌دار شدند. این مطالعات براساس شاخص I^2 برای وزن خشک ($I^2=79/48$) و برای عملکرد روغن ($I^2=86/79$) ناهمگن بودند و پس از رسم نمودار کیفی و انجام آزمون بگ و مازومدار، تقارن و عدم خطای انتشار آن‌ها مشاهده گردید. و نتایج به‌دست آمده قابل توصیه می‌باشد. مطالعات اثر کود شیمیایی (نیتروژن) فقط بر افزایش عملکرد وزن خشک با اندازه اثر ($g=0/614$) افزایشی، مثبت و معنی‌دار شده است ($P\leq 0/01$). این مطالعات براساس شاخص I^2 برای وزن خشک ($I^2=93/79$) ناهمگن بودند و پس از رسم نمودار کیفی و انجام آزمون بگ و مازومدار، تقارن و عدم خطای انتشار آن‌ها مشاهده گردید و نتایج به‌دست آمده قابل توصیه می‌باشد. مطالعات اثر کودهای زیستی به‌ترتیب با اندازه اثر ($g=0/789$) بر وزن خشک، ($g=0/773$) بر عملکرد روغن و ($g=0/593$) بر درصد اسانس تأثیر افزایشی و مثبت داشتند و معنی‌دار شده است ($P\leq 0/01$). این مطالعات براساس شاخص I^2 برای عملکرد روغن ($I^2=83/34$) و درصد اسانس ($I^2=77/71$) ناهمگن و متقارن بودند و خطای انتشار نداشته و نتایج آن قابل توصیه می‌باشد. صفاتی که معنی‌دار نشدند یا مطالعات آن‌ها از تقارن برخوردار نبودند، در همه تیمارهای مورد بررسی نیاز به انجام مطالعات با دقت بالاتر برای توصیه دارند.

واژه‌های کلیدی: اندازه اثر، خطای انتشار، درصد اسانس، ناهمگنی

۱- گروه علوم کشاورزی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران.

۲- گروه علوم کشاورزی، واحد قاینات، دانشگاه آزاد اسلامی، قاینات، ایران.

نویسنده مسئول: [khmelborn@gmail.com](mailto:khmelnborn@gmail.com)

مقدمه

این مسئله که چگونه می‌توان مطالعات پژوهشی مستقل از یکدیگر را گرد هم آورد و تفسیر کرد، یک سؤال اساسی و مهم در همه علوم است. ناکافی بودن نتایج یک مطالعه واحد و نیاز به ترکیب یافته‌ها توسط دانشمندان، منجر به توسعه روش‌هایی شده است که امکان ترکیب نتایج بسیاری از مطالعات مستقل را فراهم می‌کند (Anjomani et al., 2022). پس از دهه ۱۹۸۰، دانشمندان شروع به توسعه روش‌های آماری یا فراتحلیل کردند و بنابراین، فراتحلیل به یک تکنیک آماری تبدیل شد (Çoğaltay & Karadag, 2015). در روش فراتحلیل می‌توان با جمع‌آوری داده‌ها و تقابل یافته‌های مطالعات و پژوهش‌های مختلف انجام‌شده در یکی از زمینه‌های علمی - کاربردی، نتایجی واحد و قابل اطمینان را به سایر پژوهشگران ارائه داد (Viechtbauer, 2010). در واقع، فراتحلیل، تحلیل آماری مجموعه‌ای بزرگ از نتایج آماری مربوط به مطالعات مختلف به‌منظور یکپارچه‌سازی یافته‌های آن است (Izanlo & Habibi, 2011). در این صورت، نتایجی که ممکن است در مطالعه‌های کوچک‌تر به‌دست نیابند، با استفاده از فراتحلیل ده‌ها مطالعه کوچک به‌دست خواهند آمد (Rotundo & Westgate, 2009). گیاهان دارویی حاوی متابولیت‌های ثانویه یا مواد مؤثره‌ای هستند که در طول قرون متمادی، منابع ناتمام برای کشف داروهای جدید و پیشرفته بوده‌اند. جنس آویشن (*Thymus*) از خانواده نعنائیان (Lamiaceae) دارای بیش از ۲۱۵ گونه در جهان است که ۱۸ گونه آن در ایران شناسایی شده است (Omidbeygi et al., 1995).

آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) گیاهی چند ساله، بوته‌ای، پوششی، نیمه همیشه‌سبز و بومی منطقه اروپا و مدیترانه بوده و از قدرت سازگاری محیطی گسترده‌ای برخوردار است (Reddy et al., 2014). آویشن باغی همه ساله در سطوح وسیعی در کشورهای اسپانیا، آلمان، فرانسه، پرتغال، آمریکا، چک، مجارستان و شمال آفریقا کشت می‌شود (Rey, 1995). گیاه دارویی آویشن باغی، یکی از گیاهان مهم دارویی دنیا بوده که به‌دلیل کاربردهای فراوان در صنایع دارویی و غذایی، جایگاه ویژه‌ای در بین گیاهان دارویی دارد. این گیاه، بومی منطقه غرب مدیترانه و جنوب ایتالیا است (Gigord et al., 1999). اسانس آویشن از جمله ده‌ها اسانس برتر است که دارای خواص ضدباکتریایی و قارچی، آنتی‌اکسیدان، بادشکن، ضدکرم،

خلط‌آور و نگهدارنده طبیعی مواد غذایی بوده و جایگاه خاصی در تجارت جهانی دارد. از آویشن در صنایع غذایی، دارویی، بهداشتی و آرایشی متنوعی می‌شود (Nikavar et al., 2005).

نتایج کاربرد مقادیر مختلف کودهای K, P, N بر رشد و عملکرد گیاه آویشن باغی نشان داد که بیشترین میزان ارتفاع ساقه (۳۸/۳۷ سانتی‌متر)، عملکرد گیاه تر (۴۲/۷۸ گرم در گیاه) و بیشترین درصد اسانس ۰/۷۳ درصد در تیمار ترکیبی NPK به‌دست آمد (Sharaf Zadeh et al., 2011). مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ترکیب‌های ثانویه گیاهان، عوامل ژنتیکی، محیطی و برهم‌کنش بین آن‌هاست. از جمله این عوامل، نقش مواد مغذی و آبیاری در کمیت و کیفیت اسانس است. نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌عنوان عناصر پرمصرف، نقش بسیار مهمی در رشد و تولید گیاهان ایفا می‌کنند. بیشترین درصد و عملکرد اسانس (۰/۳۶۳ درصد و ۰/۲۷۷ میلی‌لیتر در بوته) از گیاهان تحت کشت کود زیستی نیتروکسین به‌دست آمده و پس از آن به‌ترتیب کودهای بیوسفور و مایکوریزا قرار داشتند و بیشترین عملکرد اسانس (۰/۳۵۰ میلی‌لیتر در بوته) از گیاهان تحت کشت تیمارهای کود زیستی نیتروکسین و آبیاری با ۹۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد که اختلاف آن با تیمارهای کود زیستی نیتروکسین و آبیاری با ۷۰ درصد ظرفیت زراعی (۰/۳۲۳ میلی‌لیتر در بوته) معنی‌دار نبود. کمترین مقدار آن (۰/۱۵۰ میلی‌لیتر در بوته) از گیاهان تحت کشت تیمارهای کود زیستی مایکوریزا و آبیاری با ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمده است. (Mohammad pour Vashvae et al., 2014)

در مطالعه دیگر روی کودهای شیمیایی، اثر تیمار کودی NPK، بیشترین میزان پرولین (۷/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) را نشان داد که با تیمار کودی سودوموناس تفاوت معنی‌دار نداشت و تیمار کودی آزوسپیریلیوم کمترین میزان پرولین (۰/۴۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) را دارا بود که با تیمار کودی شاهد تفاوت معنی‌دار نداشت. همچنین تیمار کود زیستی (*Pseudomonas fluorescens*) بیشترین میزان ارتفاع (۴۷/۲۰ سانتی‌متر) و تیمار کود زیستی (*Azospirillum brasilense*) کمترین میزان ارتفاع بوته (۹۷/۱۷ سانتی‌متر) را نشان دادند (Heidari et al., 2018). کاربرد کودهای گاوی و زیستی، روابط آبی را بهبود داده و افزایش دسترسی عناصر غذایی و جذب آن‌ها در تیمار تلفیقی باعث افزایش وزن خشک گیاه می‌شود. نتایج تحقیق نشان داد که تیمار ۵۰

متناقض در امر استفاده از کودهای مختلف در این تحقیق با جمع‌آوری مطالعات متعدد روی کودهای مختلف گاوی، شیمیایی و زیستی و با استفاده از تکنیک جامع فراتحلیل به بررسی مجدد اثرات ثبت شده و نتایج معنی‌دار به چاپ رسیده در ابعاد وسیع‌تر پرداخته شد و همچنین وجود یا عدم وجود خطای انتشار مطالعات نیز بررسی گردید و نتایج حاصل از انجام فراتحلیل که از قدرت، جهت‌گیری و دقت بالاتری برخوردار است، امکانی جدید برای توصیه کودی فراهم می‌سازد و با بررسی خطاهای انتشار می‌تواند جهت‌دهی در زمینه‌های مورد نیاز برای پژوهشگران در آینده ایجاد نماید.

مواد و روش‌ها

برای انجام این فراتحلیل از روش معرفی شده توسط کوپر استفاده شده است. این روش دارای مراحل زیر است: جستجو و انتخاب مطالعات (جمع‌آوری داده‌ها)، کدگذاری ویژگی‌های هر یک از مطالعات، استخراج داده‌های مناسب فراتحلیل، تجزیه و تحلیل داده‌ها. برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، ابتدا کلیه مطالعات انجام شده و موجود روی گیاه آویشن، به زبان فارسی و انگلیسی با استفاده از پایگاه‌های علمی و معتبر بین‌المللی و داخلی مانند، بانک اطلاعات نشریات کشور^۱، بانک نشریات فارسی ایران^۲، پژوهشگاه علوم و فن‌آوری اطلاعات ایران^۳ و پایگاه مقالات علمی همایش‌ها و مجلات ایران^۴ و کتابخانه‌هایی مانند کتابخانه دانشگاه فردوسی مشهد، کتابخانه ملی ایران، کتابخانه آستان قدس رضوی و... و پایگاه‌های علمی معتبر بین‌المللی مانند، اسکوپوس^۵، اشپرینگر^۶، وب آو ساینس^۷، ساینس دایرکت^۸، مورد بررسی و جستجو قرار گرفت (Mokhtari et al., 2014). سپس فرم‌هایی طراحی گردید تا داده‌های آماری مورد نیاز (تعداد تکرار و تیمار، میانگین مربعات تیمارها، میانگین‌های تیمارها و شاهد، انحراف معیار و خطای استاندارد) استخراج گردد. سه عنصر مهم اندازه اثر شاخص‌های مبتنی بر تفاوت‌های گروهی عبارتند از، کوهن (d)، هجس (g) و گلاس (Δ). g اندازه اثری است که صورت کسر آن

درصد کود شیمیایی (نیترژن) + کود زیستی + کود گاوی، بیشترین وزن خشک بوته (۱۵۶/۴۲ گرم در مترمربع) نسبت به شاهد (۱۱۹/۵۱ گرم در متر مربع) داشته است. همچنین، بیشترین درصد اسانس در تیمار تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی (نیترژن) + کود زیستی + کود گاوی (۳/۳۸ درصد) و کمترین درصد اسانس در شاهد (۱/۳۱ درصد) مشاهده شد. بیشترین عملکرد اسانس در تیمار تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی (نیترژن) + کود زیستی + کود گاوی (۵/۳۶ گرم در مترمربع) و کمترین عملکرد اسانس در شاهد (۳/۳۰ گرم در مترمربع) به‌دست آمد (Dolati et al., 2018). بررسی مقدار اسانس تحت تیمارهای کود زیستی، افزایش در خور توجهی داشته است. افزایش درصد اسانس در تیمار کود ازته بارور ۲ و کود فسفات بارور ۲ به‌میزان ۲/۵ برابری مقدار اسانس در شاهد مشاهده شده است. (Nejadhabibvash et al., 2021). نتایج مطالعه بر اثر کود زیستی و برهم‌کنش آن‌ها بر کلیه صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین ارتفاع بوته (۳۵/۰۹ سانتی‌متر)، وزن تر و خشک سرشاخه‌های گلدار (به‌ترتیب ۱۰۳/۵۲ و ۴۳/۲۷ گرم در بوته) و عملکرد اسانس (۰/۳۵۰ میلی‌لیتر در بوته) در تیمار ۹۰ درصد آبیاری و کود زیستی نیتروکسین حاصل شد (Mohammad et al., 2014). Pour Vashvae

به‌دلیل وجود اختلاف بسیار در انتخاب جامعه، نمونه، متغیرهای مستقل، وابسته، روش‌های آماری به‌کار رفته در مطالعات و طرح‌های آزمایشی، مقایسه بین مطالعات و به‌دست آوردن یک نتیجه منسجم و هماهنگ از میان آن‌ها امری دشوار به نظر می‌رسد. این موقعیت وقتی مشکل‌تر می‌شود که تعداد مطالعات روزبه‌روز بیشتر شده و گاه نتایج حاصله از آن‌ها بسیار متناقض می‌باشد (Habibi et al., 2009). فراتحلیل، یک روش پژوهشی برای پاسخگویی به سؤالاتی درباره نتایج مطالعات انجام شده قبلی است، سؤالاتی که یک مطالعه به تنهایی نمی‌تواند به آن‌ها پاسخ دهد. فراتحلیل، به ترکیب اطلاعات مطالعات و به مقایسه بین مطالعات و کشف نتایج جدید از میان مطالعات قبلی توجه می‌نماید و می‌تواند زمینه‌های جدید پژوهش یا سؤالات پژوهشی جدیدی معرفی نماید، حتی ممکن است بتواند برآورد صحیحی از اندازه نمونه برای تحقیقات بعدی بوجود آورد (Cooper et al., 1994). در چنین شرایطی و با توجه به اهمیت اقتصادی، دارویی و صنعتی گیاهان دارویی به‌ویژه افزایش سطح زیر کشت زراعی گیاه آویشن و به‌دلیل توصیه‌های متفاوت و گاهاً

1- www.magiran.com

2- www.sid.ir

3- www.irandoc.ac.ir

4- www.civilica.com

5- Scopus

6- Springer

7- Web of science

8- Science direct

9- The standardized mean difference (g)

کمی دارد. در مقابل، اگر بین مطالعات ناهمگنی وجود نداشته باشد، از مدل اثر ثابت استفاده می‌شود. شاخص I^2 یکی از شاخص‌های مهم در تعیین میزان ناهمگنی بین مطالعات است. برخلاف سایر شاخص‌ها، دقت این شاخص به تعداد مطالعات بستگی ندارد و به‌عنوان درصدی از ناهمگنی است که قسمتی از کل واریانس بین مطالعات می‌باشد. به‌طور کلی، میزان ناهمگنی در شاخص I^2 به سه صورت زیر تعیین می‌شود:

ناهمگنی در چهار گروه طبقه‌بندی شد، ناهمگنی زیاد (۷۵ درصد $I^2 \geq$ ناهمگنی متوسط (۲۴-۵۰ درصد I^2 = ناهمگنی کم (۴۹-۲۵ درصد I^2 = نداشتن ناهمگنی (۲۵ درصد $I^2 <$ (Higgins & Green, 2011).

از میان بیش از ۶۰ مطالعه داخلی و ۲۸ مطالعه خارجی، تعداد ۱۵ مطالعه قابل تجزیه فراتحلیل در موضوعات مختلف «وزن خشک، درصد اسانس و عملکرد روغن آویشن» انتخاب و بقیه مطالعات حذف گردیدند. تمام داده‌های استخراج شده برای انجام فراتحلیل به نرم‌افزار جامع فراتحلیل منتقل شدند. نتایج گزارش شده در مورد هر یک از متغیرها با استفاده از نرم‌افزار (Comprehensive Meta-Analysis, version 2) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

از میان بیش از ۶۰ مطالعه داخلی و ۲۸ مطالعه خارجی، تعداد ۱۵ مطالعه قابل تجزیه فراتحلیل با ۵۳ اندازه اثر در موضوعات مرتبط با تأثیر مقادیر مختلف کود گاوی (۳۰، ۶۰ و ۹۰ تن در هکتار) بر وزن خشک، درصد اسانس و عملکرد روغن آویشن انتخاب و آماده تجزیه فراتحلیل شد، و بقیه مطالعات حذف گردیدند (جدول ۱).

الف- فراتحلیل مطالعات تأثیر مقادیر مختلف کود گاوی (۳۰، ۶۰ و ۹۰ تن در هکتار) بر صفات کمی و کیفی گیاه آویشن

برای مطالعات مقدار کود گاوی (۳۰ تن در هکتار) تعداد نه اندازه اثر بر وزن خشک، ۱۰ اندازه اثر بر عملکرد روغن و نه اندازه اثر بر درصد اسانس استخراج و محاسبه شد؛ و برای مقادیر مختلف کودهای گاوی که شامل مطالعات با سطوح مختلف کودی (در سطوح ۳۰، ۶۰ و ۹۰ تن در هکتار) نیز تعداد ۱۵ اندازه اثر بر وزن خشک، ۱۵ اندازه اثر بر عملکرد روغن و ۱۵ اندازه اثر بر درصد اسانس استخراج و محاسبه شد (جدول ۲).

برابر با اختلاف میانگین گروه‌های تیمار و شاهد و مخرج کسر آن برابر با جذر واریانس آمیخته دو گروه می‌باشد (معادله ۳).

از آنجا که مطلوبیت مورد نظر در این فراتحلیل، تفاوت بین میانگین‌های گروه تیمار (آزمایش) و گروه شاهد (کنترل) است، در تجزیه تحلیل داده‌ها از پارامتر اختلاف میانگین استاندارد^۹ شده (g)، که از شاخص‌های مهم اندازه اثر است، برای محاسبه عملکرد کمی و کیفی بین تیمار کنترل و آزمایش استفاده شد (Cohen, 1988) (معادله ۴).

معادله (۳)
$$g = \frac{M_1 - M_2}{S_{pooled}}$$
 که در آن، M_1 و M_2 : به‌ترتیب میانگین عملکرد تیمار آزمایش و تیمار شاهد و S_{pooled} : انحراف معیار ترکیب شده است (Cohen, 1988).

$$S_{pooled} = \sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{n_1+n_2-2}} \quad \text{معادله (۴)}$$

که در آن، S_1 و S_2 : به‌ترتیب انحراف معیار گروه آزمایش و کنترل است.

در این تحقیق برای ارزیابی خطای انتشار از نمودار کیفی استفاده شده و برای رسم نمودار کیفی از انحراف استاندارد استفاده شده است، در صورت متقارن بودن نمودار کیفی، وجود خطای انتشار را می‌توان رد کرد (Rothstein et al., 2005). در این نمودار، خط میانی نمایانگر شاخص تأثیر اندازه بر روی صفت مورد نظر است. همین‌طور محور افقی و محور عمودی به‌ترتیب نمایانگر اندازه اثر آزمایشات و خطای استاندارد آن‌ها می‌باشد. آزمایشاتی که خارج از محدوده اطمینان ۹۵ درصد و قیف قرار دارند، معنی‌دار نمی‌باشند، از طرفی دیگر دقت مطالعات زمانی زیاد است که نقاط به‌صورت متقارن در دو طرف محور عمودی و نزدیک به صفر (نوک قیف معکوس) باشند (Covas & Shi, 2000). اما برای قضاوت صریح باید از آزمون آماری استفاده نمود. در این تحقیق از آزمون همبستگی رتبه‌ای بگ و مازومدار استفاده شده است (Begg & Mazumdar, 1994). همچنین برای ارزیابی فرض صفر و نشان دادن دامنه حدود اطمینان از نمودار درختی استفاده شده است (Deeks Higgins et al., 2003; et al., 2001). تعیین میزان ناهمگنی در بین مطالعات، یکی از مهم‌ترین جنبه‌های فراتحلیل است که برای انتخاب مدل آماری مؤثر است. اگر بین مطالعات ناهمگنی وجود داشته باشد از مدل اثر تصادفی استفاده می‌شود، زیرا در این حالت، استفاده از مدل ثابت بازده بسیار

جدول ۱- خلاصه اطلاعات مربوط به پژوهش‌های مورد بررسی انواع مختلف کودها در فراتحلیل نهایی

Table 1- Summary of information related to the researches of different types of fertilizers articles for final Meta-analysis

ردیف Number	مطالعه Study	سال Year	حجم نمونه Sample size
1	شب‌خیز و همکاران Shabkhiz et al.	2021	18
2	حیدری و همکاران Haidari et al.	2019	24
3	حیدری و همکاران Haidari et al.	2019	24
4	عسکری و همکاران Askary et al.	2018	36
5	مرشدلو و همکاران Emami et al.	2018	21
6	مرشدلو و همکاران Morshedloo et al.	2018	21
7	دولتی و همکاران Doulati et al.	2018	32
8	پوروشوایی و همکاران Pour Vashvae et al.	2021	45
9	دولتی و همکاران Doulati et al.	2018	21
10	پوروشوایی و همکاران Pour Vashvae et al.	2014	45
11	دهقی و همکاران Dehaghi et al.	2008	12
12	هانوراتو و همکاران Honorato et al.	2022	60
13	هانوراتو و همکاران Honorato et al.	2022	60
14	دهقی و همکاران Dehaghi et al.	2008	12

آزمون فرض صفر

در مدل اثرات تصادفی در مطالعات فراتحلیل، فرضیه صفر بر این مبنا است که میانگین اندازه اثرهای واقعی کلیه مطالعات صفر است. بر این اساس، فرضیه صفر بر مبنای ارزش Z و معنی‌دار بودن آن از لحاظ آماری تأیید یا رد می‌گردد (Vahedi, 2021). نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که اثر مقدار کود گاوی (۳۰ تن در هکتار) بر تمامی صفات مورد مطالعه (وزن خشک و عملکرد روغن) به‌جز درصد اسانس معنی‌دار شده است ($P \leq 0.01$)، در نتیجه فرض صفر غیر از درصد اسانس رد گردید. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از ۳۰ تن کود گاوی در هکتار باعث افزایش عملکرد روغن ($g = 0.482$) و افزایش وزن خشک ($g = 0.502$) گیاه آویشن گردیده و معنی‌دار شده است. اما

مطالعات بر درصد اسانس معنی‌دار نشد. کمترین خطای استاندارد که نشان از دقت بیشتر دارد نیز در گروه مطالعات وزن خشک مشاهده شد ($SE = 0.108$). در بررسی سطوح مختلف کود گاوی (۳۰، ۶۰ و ۹۰ تن در هکتار) نیز اندازه اثرهای به‌دست آمده با اطمینان ۹۹ درصد ($p \leq 0.01$) برای همه صفات کمی و کیفی معنی‌دار شدند. اندازه اثر به‌دست آمده در بین صفات کیفی برای درصد اسانس ($g = 469$) و برای عملکرد روغن ($g = 465$) می‌باشد که با وجود فاصله دامنه اطمینان کمتر و دقت بیشتر می‌توان گفت که کودهای دامی تأثیر بیشتری بر افزایش درصد اسانس نسبت به عملکرد روغن آویشن دارند.

جدول ۲- اندازه اثر مقادیر مختلف کودهای گاوی بر روی برخی صفات کمی و کیفی گیاه آویشن با سطح اطمینان ۹۵ درصد
 Table 2- The values of the effect size of different amounts of Cow manure on some quantitative and qualitative traits of thyme plant with a confidence level of 95%

مدل تصادفی Model (randomly)	تعداد اثر Number of effects	اندازه اثر هجس g effect size	خطای استاندارد Standard error	واریانس Variance	حد پایین Lower limit	حد بالا Upper limit	مقدار Z Z value	مقدار P P value
کود گاوی 30 تن - وزن خشک Cow manure 30 tons - dry weight	9	0.502	0.108	0.012	0.291	0.713	4.665	0.000
کود گاوی 30 تن - عملکرد روغن Cow manure 30 tons - yield of oil	10	0.482	0.232	0.054	0.027	0.938	2.075	0.003
کود گاوی 30 تن - درصد اسانس Cow manure 30 tons - essential oil %	9	0.590	0.330	0.109	-0.057	1.237	1.788	0.074
مقادیر مختلف کودها - وزن خشک Different amounts of fertilizers - dry weight	15	0.435	0.086	0.007	0.206	0.541	4.366	0.000
مقادیر مختلف کودها - درصد اسانس Different amounts of fertilizers - essential oil %	15	0.469	0.157	0.025	0.162	0.776	2.992	0.003
مقادیر مختلف کودها - عملکرد روغن Different amounts of fertilizers - yield of oil	15	0.465	0.134	0.052	0.203	0.727	3.81	0.000

برای تفسیر مقادیر اندازه اثر می‌توان از جدول مقایسه‌ای کوهن استفاده نمود (جدول ۳). براساس اندازه اثرهای به‌دست آمده، اثر کود گاوی به مقدار ۳۰ تن در هکتار و سایر سطوح در محدوده متوسط می‌باشد، در نتیجه استفاده از کود گاوی با مقادیر مختلف تا حد متوسطی بر عملکرد کمی و کیفی تأثیر می‌گذارد.

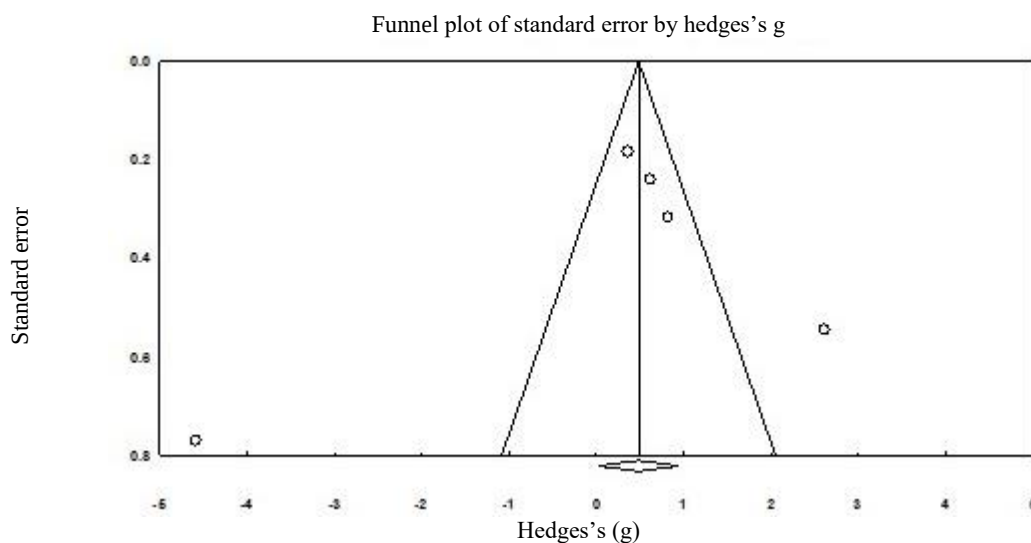
جدول ۳- تفسیر اندازه اثر براساس مقیاس کوهن
 Table 3- Effect size interpretation based on Cohen's scale

مدل تصادفی Random model	اندازه اثر Effect size (d)
کم Low	0.2
متوسط Moderate	0.5
بالا High	0.8

خطای انتشار

رسم نمودار کیفی به‌عنوان روشی ارزشمند جهت تشخیص هر گونه تورش انتشار یا خطای انتشار در مطالعات فراتحلیل مورد استفاده

قرار می‌گیرد. این نمودار پراکنش ساده اندازه اثر هرکدام از مطالعات را حول محور میانگین نشان می‌دهد. معمولاً شاخص اندازه اثر روی محور افقی و پراکندگی اندازه اثرها بر روی محور عمودی قرار می‌گیرد. در حالت ایده‌آل که هیچ‌گونه خطای انتشاری وجود ندارد، طرح نمودار نشان‌دهنده یک قیف وارونه متقارن است که اثر مطالعات کوچک‌تر به‌طور گسترده‌تر در پایین نمودار پراکنده شده و مطالعات بزرگ‌تر با دقت بیشتر در قسمت بالای قیف قرار می‌گیرند. نامتقارن بودن نمودار کیفی نشان‌دهنده وجود خطای انتشار می‌باشد، به این معنی که مطالعات کوچکی که اندازه اثر بزرگ و معنی‌داری داشته‌اند از شانس بیشتری برای انتشار برخوردار بوده و مطالعات کوچکی که اندازه اثر کوچک یا غیرمعنی‌دار داشته‌اند، نادیده گرفته شده‌اند. مطالعات کودهای گاوی (۳۰ تن در هکتار) بر (عملکرد روغن) گیاه آویشن را نشان می‌دهد که نقاط نزدیک به نوک قیف معکوس قرار دارند و در نزدیکی محور میانگین اندازه اثر قرار دارند و می‌توان گفت این مطالعات خطای انتشار ندارند و مقادیر اندازه اثر با اطمینان ۹۵ درصد قابل قبول می‌باشند (شکل ۱).

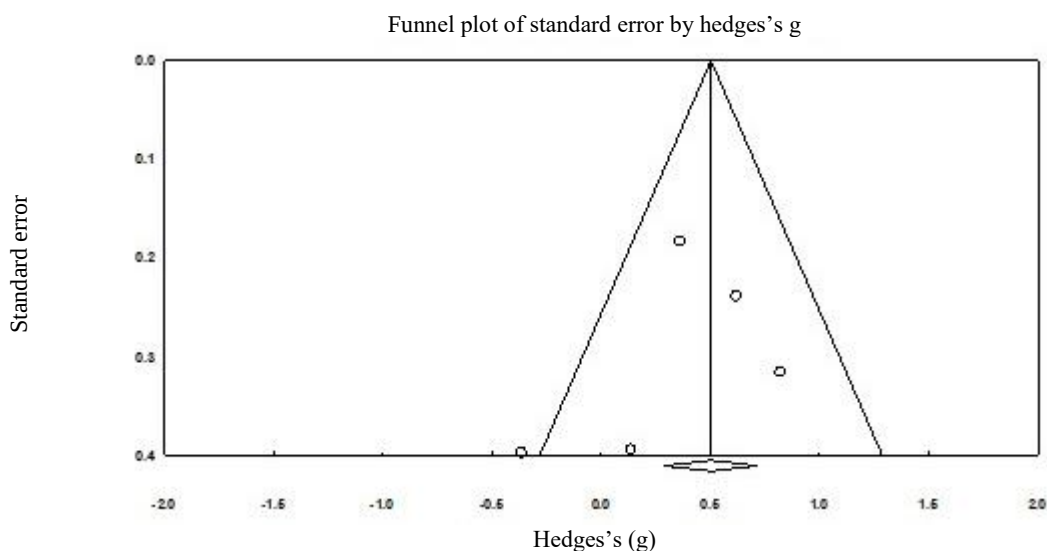


شکل ۱- نمودار کیفی اندازه اثر هجس کود گاوی (۳۰ تن در هکتار) بر عملکرد روغن آویشن

Fig. 1- Funnel plot of the effect of Cow manure hedges's (30 tons per hectare) on the yield of thyme oil

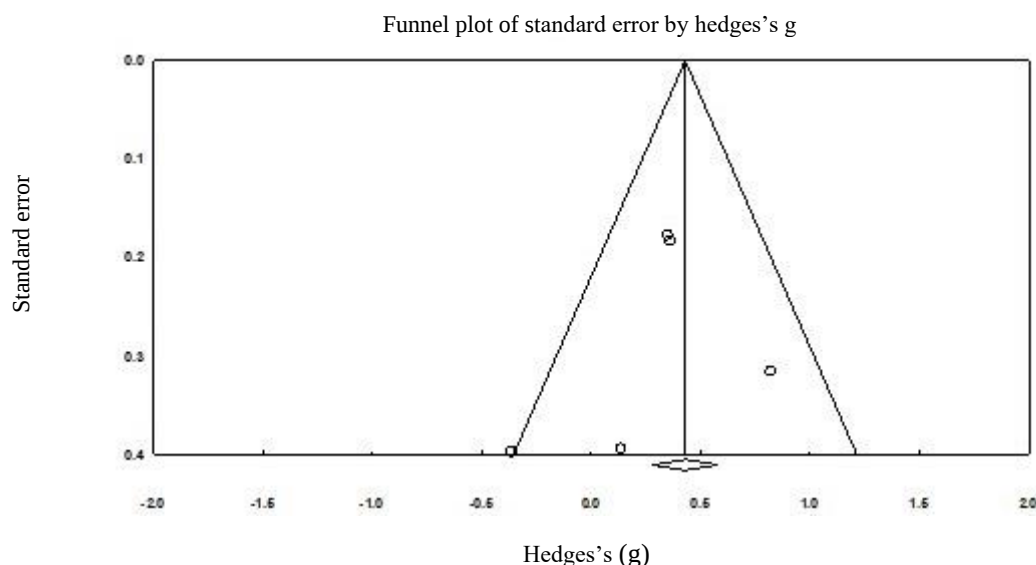
آزمون آماری همبستگی بگ و مازومدار استفاده شده است. در مطالعاتی که نامتقارن هستند برای توصیه و اجرا، بهتر است که مطالعات بیشتری انجام شود، اما مطالعاتی که متقارن هستند ($P > 0.05$)، خطای انتشار ندارند و می‌توان نتایج فراتحلیل را با اطمینان ۹۵ درصد صحیح و قابل توصیه دانست.

اشکال (۲ و ۳) نمودارهای کیفی، مطالعات کودهای گاوی (۳۰ تن در هکتار) و مقادیر مختلف کودهای گاوی (گاوی ۳۰، ۶۰ و ۹۰ تن در هکتار) بر وزن خشک گیاه آویشن متقارن هستند و به دلیل عدم خطای انتشار می‌توان نتایج آن را قابل توصیه دانست (شکل ۲ و شکل ۳). برای اطمینان از نتیجه درست نمودار کیفی و تعیین خطای انتشار باید از آزمون‌های آماری استفاده شود که در این پژوهش از



شکل ۲- نمودار کیفی اندازه اثر هجس کود گاوی (۳۰ تن در هکتار) بر وزن خشک آویشن

Fig. 2- Funnel plot of the effect of Cow manure hedges's (30 tons per hectare) on thyme dry-weight



شکل ۳- نمودار کیفی اندازه اثر هجس مقادیر مختلف کود گاوی بر وزن خشک آویشن
Fig. 3- Funnel plot of the effect size of hedges of different amounts of Cow manure on thyme dry-weight

آزمون ناهمگنی

آزمون ناهمگنی به بررسی تفاوت بین اندازه اثر مطالعات پرداخته و به بررسی این فرض صفر می‌پردازد که کلیه مطالعات مورد بررسی در یک فراتحلیل اندازه اثر یکسانی دارند. همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده است، ناهمگنی می‌تواند به دلیل تنوع مطالعات، خطای نمونه‌گیری، نوع طرح پژوهشی، حجم نمونه و... باشد که در این پژوهش، ناهمگنی زیاد بین مطالعات اندازه اثرها، استفاده از مدل تصادفی را کاملاً توجیه می‌کند.

شاخص I^2 یکی از شاخص‌های مهم در تعیین میزان ناهمگنی بین مطالعات است. برخلاف سایر شاخص‌ها، دقت این شاخص به تعداد مطالعات بستگی ندارد و به عنوان درصدی از ناهمگنی است که قسمتی از کل واریانس بین مطالعات می‌باشد، مقدار این شاخص در استفاده از کود گاوی به میزان ۳۰ تن در هکتار $I^2 = 61/124$ برای درصد اسانس نشان می‌دهد ۶۱ درصد ناهمگنی مشاهده شده بین اندازه اثر مطالعات ناشی از تفاوت‌های واقعی در اندازه اثرها به دلیل تأثیر مداخله یا طرح پژوهشی بوده و تنها ۴۹ درصد پراکندگی به خاطر خطای تصادفی ایجاد شده است. و این مقدار برای عملکرد روغن برابر با $I^2 = 86/79$ به دست آمده است که بیانگر نزدیک به ۸۷ درصد تفاوت‌های مداخله‌ای یا طرح پژوهشی و ۲۳ درصد خطای تصادفی می‌باشد. مقدار این شاخص در مجموع استفاده از کودهای گاوی در

سطوح مختلف از حداقل ۵۱ درصد تا ۸۴ درصد تفاوت مداخله‌ای یا طرح پژوهشی بر درصد اسانس که ناهمگنی بالای بین مطالعات و نتایج به دست آمده را در این صفت نشان می‌دهد. یکی از علل ایجاد ناهمگنی در نتایج مطالعات ممکن است تفاوت در طرح پژوهشی و حجم نمونه باشد. مطالعات با حجم نمونه کوچک‌تر احتمال تولید اندازه اثر بزرگ‌تری در مقایسه با مطالعاتی دارند که از حجم نمونه بزرگ‌تری برخوردارند. مطالعات با حجم نمونه بزرگ‌تر، برآورد دقیق‌تری از اندازه اثر در مقایسه با مطالعات با حجم نمونه کوچک‌تر دارند. علاوه بر این مطالعات کوچک با اثرات غیر معنی‌دار ممکن است هرگز به رشته تحریر در نیامده و یا حتی منتشر نگردند.

نتایج فراتحلیل مطالعات نشان داد که استفاده از ۳۰ تن کود گاوی در هکتار باعث افزایش عملکرد کیفی (عملکرد روغن) و افزایش وزن خشک گیاه آویشن گردیده و معنی‌دار شده است، اما بر افزایش درصد اسانس به دلیل خطای بالاتر معنی‌دار نشده است. نتایج به دست آمده در مطالعات منفرد اکثراً تأکید بر معنی‌داری و اثر مثبت کودهای دامی (گاوی) بر عملکرد کمی و کیفی دارند (Habibi et al., 2009). بالاترین مقدار کارواکرول از آویشن زراعی در سال اول در ۳۳ درصد ظرفیت زراعی و کمتر از آن و در شرایط عدم مصرف کود گاوی ۳۰ تن در هکتار به دست آمد (Askari et al., 2018).

جدول ۴- آزمون ناهمگنی مقادیر مختلف کودهای گاوی بر روی برخی صفات کمی و کیفی گیاه آویشن با سطح اطمینان ۹۵ درصد

Table 4- Heterogeneity test of different amounts of Cow manure on some quantitative and qualitative traits of thyme plant with 95% confidence level

صفات Traits	I-squared	مقدار Z Z value	مقدار P P value	نتیجه آزمون Test result
کود گاوی 30 تن - عملکرد روغن Cow manure 30 tons - oil yield	86.79	1.609	0.107	ناهمگن - متقارن Homogeneous-asymmetric
کود گاوی 30 تن - درصد اسانس Cow manure 30 tons - essential oil %	61.124	2.102	0.035	نسبتاً همگن - نامتقارن Heterogeneous-asymmetric
کود گاوی 30 تن - وزن خشک Cow manure 30 tons - dry weight	79.488	1.561	0.117	ناهمگن - متقارن Homogeneous-asymmetric
مقادیر مختلف کودها - وزن خشک Different amounts of fertilizers - dry weight	51.264	1.286	0.198	همگن - متقارن Homogeneous-asymmetric
مقادیر مختلف کودها - درصد اسانس Different amounts of fertilizers - essential oil %	84.288	2.573	0.010	ناهمگن - نامتقارن Heterogeneous-symmetric
مقادیر مختلف کودها - عملکرد روغن Different amounts of fertilizers - oil yield	78.941	2.476	0.013	ناهمگن - نامتقارن Heterogeneous-symmetric

فرا تحلیل مطالعات تأثیر کودهای شیمیایی (نیترژن) و

زیستی بر صفات کمی و کیفی گیاه آویشن

از میان بیش از ۶۰ مطالعه داخلی و ۲۸ مطالعه خارجی، تعداد ۱۰ مطالعه قابل تجزیه فراتحلیل با ۴۹ اندازه اثر در موضوعات مرتبط با تأثیر کودهای شیمیایی و زیستی بر وزن خشک، درصد اسانس و عملکرد روغن آویشن انتخاب و آماده تجزیه فراتحلیل شد، و بقیه مطالعات حذف شدند (جدول ۱).

آزمون فرض صفر

برای مطالعات کودهای شیمیایی، تعداد ۱۰ اندازه اثر بر وزن خشک، ۱۱ اندازه اثر بر عملکرد روغن و ۱۰ اندازه اثر بر درصد اسانس استخراج و محاسبه شد. برای مطالعات کودهای زیستی تعداد شش اندازه اثر بر وزن خشک، پنج اندازه اثر بر عملکرد روغن و هفت اندازه اثر بر درصد اسانس استخراج و محاسبه شد (جدول ۶).

نتایج نشان داد که کود شیمیایی (نیترژن) بر عملکرد وزن خشک معنی دار شده است ($P \leq 0.01$) و تأثیر افزایش عملکرد کیفی بر درصد اسانس بیشتر از عملکرد اسانس بوده است. اندازه اثر هجس درصد اسانس ($g = 614$) که در جدول مقایسه کوهن تأثیر بالای کود شیمیایی (نیترژن) بر وزن خشک را نشان می دهد، اما اثر کود شیمیایی (نیترژن) بر صفات کیفی درصد اسانس و عملکرد روغن معنی دار نشده است. خطای استاندارد بالا و دامنه فاصله اطمینان زیاد بین کمترین و بیشترین حد به دست آمده نیز نشان دهنده دقت پایین و اثر کمتر این مطالعات بر صفات ذکر شده می باشد که قطعاً برای

در مطالعه ای دیگر، بیشترین درصد تیمول ($65/42$ درصد) در گروه ۹۰ تن کود دامی در هکتار و ۳۰ تن در هکتار کود سبز به دست آمده است (Honorato et al., 2022). در مطالعه ای دیگر روی اثر کودهای شیمیایی و دامی و ورمی مشخص شد که بیشترین مقدار تیمول به دست آمده تحت استفاده از کودهای ترکیبی در هر دو سال استفاده بوده است. در بررسی سطوح مختلف کود گاوی (30.60 و 90 تن در هکتار) نیز اندازه اثرهای به دست آمده با اطمینان ۹۹ درصد ($P \leq 0.01$) برای همه صفات کمی و کیفی معنی دار شدند. اندازه اثر به دست آمده در بین صفات کیفی برای درصد اسانس ($g = 469$) و برای عملکرد روغن ($g = 465$) می باشد که با وجود فاصله دامنه اطمینان کمتر و دقت بیشتر می توان گفت که کودهای دامی تأثیر بیشتری بر افزایش درصد اسانس نسبت به عملکرد روغن آویشن دارند. مطالعات کودهای گاوی (30 تن در هکتار) بر عملکرد روغن و وزن خشک متقارن و خطای انتشار نشان ندادند، اما مطالعات بر درصد اسانس خطای انتشار داشت. مطالعات مقادیر مختلف کودهای گاوی (30 ، 60 و 90 تن در هکتار) فقط بر وزن خشک آویشن متقارن بودند و خطای انتشار نداشتند. سایر مطالعات نامتقارن بوده و نیاز به تکرار بیشتر برای توصیه دارند. شاخص I^2 یکی از شاخص های مهم در تعیین میزان ناهمگنی بین مطالعات است. نتیجه آزمون ناهمگنی نشان داد که کلیه مطالعات کودهای دامی (گاوی) ناهمگنی بالایی دارند و استفاده از الگوی تصادفی در فراتحلیل آنها درست بوده است.

استاندارد در گروه مطالعات کودهای زیستی بر وزن خشک مشاهده می‌شود ($SE = 0/125$) و بیشترین خطا در مطالعات درصد اسانس مشاهده می‌شود ($SE = 0/1193$). هرچه دامنه فاصله اطمینان کمتر باشد، اندازه اثر به‌دست آمده دقیق‌تر و مؤثرتر است. دامنه‌های به‌دست آمده برای وزن خشک، کمترین فاصله را دارند که نشان از دقت بالا و اثر بیشتر می‌باشد و در مورد صفات کیفی نیز دامنه عملکرد روغن بزرگ‌تر از درصد اسانس بوده و دقت کمتر اثر کود شیمیایی (نیتروژن) بر افزایش صفات کیفی را نشان می‌دهد. در مطالعات کودهای زیستی علاوه بر اندازه اثر دامنه فاصله اطمینان در همه مطالعات نسبتاً برابر و با فاصله‌های مساوی می‌باشند که نشان از دقت بالاتر مطالعات و تأثیر بیشتر این نوع کود بر صفات کمی و کیفی آویشن می‌باشد (جدول ۵).

نتیجه‌گیری دقیق نیاز به انجام مطالعات بیشتر توصیه می‌شود. همچنین کمترین خطای استاندارد در گروه مطالعات کودهای شیمیایی بر وزن خشک مشاهده می‌شود ($SE = 0/1193$) و بیشترین خطا در مطالعات عملکرد روغن مشاهده می‌شود ($SE = 0/1193$). اما اثرات کودهای زیستی بر صفات ذکر شده، همگی معنی‌دار شده است ($p \leq 0/01$) و نشان می‌دهد که استفاده از کودهای زیستی باعث افزایش عملکرد و صفات کیفی در آویشن گردیده است. اندازه اثر کودهای زیستی بر وزن خشک و عملکرد روغن آویشن به‌ترتیب با ($g = 789$) و ($g = 773$) میزان تأثیر زیاد این کودها بر صفات ذکر شده را تأیید می‌کند. در مورد اثر کود زیستی بر درصد اسانس نیز با وجود کمتر بودن اندازه اثر به‌دست آمده نسبت به دو صفت دیگر ($g = 593$) باز هم این تأثیر مثبت و نسبتاً بالا می‌باشد. همچنین کمترین خطای

جدول ۵- اندازه اثر کودهای شیمیایی (نیتروژن) و زیستی بر روی برخی صفات کمی و کیفی گیاه آویشن با سطح اطمینان ۹۵ درصد
Table 5- The effect size of chemical fertilizers (Nitrogen) and biological fertilizers on some quantitative and qualitative traits of thyme plant with 95% confidence level

مدل تصادفی Model (randomly)	تعداد اثر Number of effects	اندازه اثر هجس Hedges effect size	خطای استاندارد Standard error	واریانس Variance	حد پایین Lower limit	حد بالا Upper limit	مقدار Z Z value	مقدار P P value
کود شیمیایی (نیتروژن) - وزن خشک Chemical fertilizer (N) - dry weight	10	0.614	0.193	0.037	0.237	0.992	3.191	0.001
کود شیمیایی (نیتروژن) - درصد اسانس Chemical fertilizer (N) - essential oil %	11	0.304	0.514	0.264	-0.703	1.311	0.592	0.554
کود شیمیایی (نیتروژن) - عملکرد روغن Chemical fertilizer (N) - oil yield	10	0.618	0.558	0.312	-0.476	1.713	1/108	0.268
کود زیستی - عملکرد روغن Bio-fertilizer - oil yield	5	0.773	0.134	0.018	0.511	1.036	5.771	0.000
کود زیستی - درصد اسانس Bio-fertilizer - essential oil %	7	0.593	0.245	0.060	0.114	1.703	2.424	0.015
کود زیستی - وزن خشک Bio-fertilizer - dry weight	6	0.789	0.125	0.016	0.544	1.033	6.321	0.000

می‌باشند (جدول ۶).

خطای انتشار

رسم نمودار کیفی پراکنش ساده، اندازه اثر هر کدام از مطالعات را حول محور میانگین نشان می‌دهد. نمودار کیفی مطالعات کودهای شیمیایی برای کلیه صفات کمی و کیفی متقارن می‌باشند، اما مطالعات کودهای زیستی بر صفت وزن خشک دارای خطای انتشار بوده و نیاز به تکرار بیشتر دارند، ولی مطالعات کودهای زیستی بر صفات کیفی از تقارن برخوردار بوده و خطای انتشار نشان نداده‌اند و قابل توصیه

آزمون ناهمگنی

همان‌طور که در جدول ۶ نشان داده شده است، ناهمگنی می‌تواند به‌دلیل تنوع مطالعات، خطای نمونه‌گیری، نوع طرح پژوهشی، حجم نمونه و ... باشد که در این پژوهش، ناهمگنی زیاد بین مطالعات اندازه اثرها، استفاده از مدل تصادفی را کاملاً توجیه می‌کند.

مقدار شاخص I^2 در استفاده از کود شیمیایی حداقل $63/205 = I^2$ برای عملکرد روغن که نشان می‌دهد ۶۳ درصد ناهمگنی مشاهده شده بین اندازه اثر مطالعات ناشی از تفاوت‌های واقعی در اندازه اثرها به دلیل تأثیر مداخله یا طرح پژوهشی بوده و تنها ۴۷ درصد پراکندگی به‌خاطر خطای تصادفی ایجاد شده است و این مقدار برای درصد اسانس برابر با $93/988 = I^2$ به‌دست آمده است که بیانگر نزدیک به ۹۴ درصد تفاوت‌های مداخله‌ای یا طرح پژوهشی و شش درصد خطای تصادفی می‌باشد. مقادیر بالای شاخص ناهمگنی بسیار زیاد

بین مطالعات را نشان می‌دهد. مقدار این شاخص در استفاده از کودهای زیستی بر صفات کیفی از حداقل $77/719 = I^2$ بر درصد اسانس تا $83/345 = I^2$ بر عملکرد روغن نشان از ناهمگنی بالا در مطالعات دارد و تنها مطالعات اثر کود زیستی بر وزن خشک با $0/01 = I^2$ همگن بوده است. مطالعات کودهای شیمیایی و زیستی همگی ناهمگن می‌باشند، غیر از مطالعات کود زیستی بر وزن خشک که دلیل آن تعداد کم مطالعات مورد بررسی می‌باشد.

جدول ۶- آزمون ناهمگنی اثر کودهای شیمیایی (نیتروژن) و زیستی بر روی برخی صفات کمی و کیفی گیاه آویشن با سطح اطمینان ۹۵ درصد
Table 6- Heterogeneity test of the effect of chemical (nitrogen) and biological fertilizers on some quantitative and qualitative traits of thyme plant with a confidence level of 95%

صفات Traits	I-squared	مقدار Z Z value	مقدار P P value	نتیجه آزمون Test result
کود شیمیایی (نیتروژن) - عملکرد روغن Chemical fertilizer (N) - oil yield	63.205	0.894	0.371	ناهمگن - متقارن Homogeneous-asymmetric
کود شیمیایی (نیتروژن) - درصد اسانس Chemical fertilizer (N) - essential oil %	93.988	0.467	0.640	ناهمگن - متقارن Homogeneous-asymmetric
کود شیمیایی (نیتروژن) - وزن خشک Chemical fertilizer - dry weight	93.799	0.715	0.474	ناهمگن - متقارن Homogeneous-asymmetric
کود زیستی - عملکرد روغن Bio-fertilizer - oil yield	83.345	0.979	0.327	ناهمگن - متقارن Homogeneous asymmetric
کود زیستی - درصد اسانس Bio-fertilizer essential oil %	77.719	2.252	0.064	ناهمگن - متقارن Homogeneous- asymmetric
کود زیستی - وزن خشک Bio-fertilizer - dry weight	0.01	1.690	0.020	همگن - نامتقارن Heterogeneous- symmetric

کیفی گیاه دارویی آویشن دانسته‌اند و برای توصیه، این نوع کودها را بر کودهای شیمیایی ترجیح داده‌اند (Doulati et al., 2018; Haidari et al., 2019). مطالعات کودهای شیمیایی برای کلیه صفات متقارن بود که نشان می‌دهد، مطالعات دارای خطای انتشار نمی‌باشند و نتایج آن قابل توصیه می‌باشد. در مطالعات کودهای زیستی نیز فقط مطالعات اثر کود زیستی بر وزن خشک آویشن نامتقارن بوده و سایر مطالعات کیفی دارای تقارن بوده و دارای خطای انتشار نمی‌باشند. نتایج به‌دست آمده براساس شاخص I^2 نشان داد که کلیه مطالعات، شیمیایی و زیستی غیر از مطالعات کودهای زیستی بر وزن خشک ناهمگنی بالایی دارند و استفاده از الگوی تصادفی در فراتحلیل آن‌ها درست بوده است.

نتایج فراتحلیل مطالعات نشان داد که اثر کود شیمیایی (نیتروژن) فقط بر افزایش عملکرد وزن خشک معنی‌دار شده است ($p \leq 0/01$). اندازه اثر هجس وزن خشک ($g = 614$) نشان از تأثیر بالای کود شیمیایی (نیتروژن) دارد، اما اثر کود شیمیایی (نیتروژن) بر صفات کیفی درصد اسانس و عملکرد روغن معنی‌دار نشده است. برخلاف نتایج تحقیقی که اثر کودهای شیمیایی و سطوح مختلف نیتروژن را بر وزن خشک، درصد اسانس و عملکرد روغن معنی‌دار اعلام کرده است (Habibi et al., 2009)، اثرات کودهای زیستی بر همه صفات کمی و کیفی معنی‌دار شده است ($p \leq 0/01$) و نشان می‌دهد که استفاده از کودهای زیستی باعث افزایش عملکرد کمی و صفات کیفی در آویشن گردیده است. اندازه اثر کودهای زیستی بر وزن خشک و عملکرد روغن آویشن به‌ترتیب با ($g = 789$) و ($g = 773$) میزان تأثیر زیاد این کودها بر صفات ذکر شده را تأیید می‌کند. نتایج سایر پژوهشگران نیز کاربرد کودهای آلی و زیستی را باعث افزایش و بهبود صفات کمی و

نتیجه گیری

خشک بر سایر صفات قابل توصیه می‌باشد. فراتحلیل این امکان را به ما می‌دهد که با بررسی دقیق‌تر و عمیق‌تر علاوه بر برآورد میزان تأثیر، جهت و قدرت آن بررسی و محاسبه شود. همچنین این امکان را فراهم می‌سازد که با درک خطاهای ناشی از انتشار داده‌ها، پژوهشگران را در جهت‌گیری تحقیقات آینده راهنمایی نماید. برای کاهش خطاها و افزایش دقت مطالعات نیاز به انجام مطالعات با حجم نمونه بیشتر و تکرار در مناطق مختلف می‌باشد و همچنین توصیه می‌شود که پژوهشگران در تجزیه داده‌ها با محاسبه خطای استاندارد و اندازه اثرهای مربوط به تفاوت‌های گروهی دقت نتایج به‌دست آمده را افزایش دهند.

فراتحلیل ۱۵ مطالعه بر اثر کودهای گاوی، شیمیایی و زیستی بر برخی از صفات کمی و کیفی گیاه دارویی آویشن نشان داد که مطالعات منفرد به دلیل وجود خطای محاسباتی یا خطای انتشار داده‌های معنی‌دار چاپ شده، دچار اشتباه می‌شوند. برخلاف اکثر مطالعات که اثر کود شیمیایی (نیتروژن) را بر صفات کیفی معنی‌دار اعلام کرده‌اند، نتایج این فراتحلیل آن را معنی‌دار نمی‌داند و توصیه نمی‌کند. نتایج فراتحلیل نشان داد که کودهای دامی، بیشترین تأثیر را بر افزایش وزن خشک دارند و برخلاف نتایج مطالعات منفرد تأثیر چندانی بر عملکرد کیفی گیاه آویشن ندارند. نتایج مربوط به تأثیر کودهای زیستی بر تمام صفات کمی و کیفی غیر از میزان اثر بر وزن

References

1. Anjomani, A., Abbaspour Fard, M.H., Mokhtari, M. (2022). Investigating the effect of mineral additives based on nickel and cobalt in anaerobic digesters on methane performance using metaanalysis technique Master's Thesis, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2. Askary, M., Behdani, M. A., Parsa, S., Mahmoodi, S., & Jamialahmadi, M. (2018). Water stress and manure application affect the quantity and quality of essential oil of *Thymus daenensis* and *Thymus vulqaris*. *Industrial Crops and Products*, 111(4), 336-344. (In Persian with English abstract). <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.09.056>
3. Babaei, A., & Shayeagan, J. (2011, May). Effect of organic loading rates (OLR) on production of methane from anaerobic digestion of vegetables waste. In Proceedings of the world renewable Energy Congress, Linköping, Sweden, 8-13, 411-417. <http://doi.org/10.3384/ecp.11057411>
4. Bahreininejad, B., Razmjoo, J., & Mirza, M. (2013). Influence of water stress on morpho-physiological and phytochemical traits in *Thymus daenensis* L. *International Journal of Plant Production* 7(1), 151-166. (In Persian with English abstract). <http://doi.org/10.22069/ijpp.2012.927>
5. Begg, C.B., & Mazumdar, M. (1994). Operating characteristics of a rank correlation test for publication bias. *Biometrics*, 1088-1101.
6. Çoğaltay, N., & Karadağ, E. (2015). Introduction to Meta-Analysis. Leadership and Organizational Outcomes: Meta-Analysis of Empirical Studies, 19-28. <http://doi.org/10.1007/978-3-319-14908-0>
7. Copas, J., & Shi, J.Q. (2000). Meta-analysis, funnel plots and sensitivity analysis. *Biostatistics*, 1(3), 247-262. <http://doi.org/10.1093/biostatistics/1.3.247>
8. Cooper, H.M., Hedges, L.V. (1994). The handbook of research synthesis. Russell Sage Foundation, New York. 610 pages. <http://www.russellsage.org>
9. Cohen, J. (1988). Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences, 2nd Edition. Hillsdale: Lawrence Erlbaum. 579 pages. <http://www.taylorfrancis.com>
10. Egger, M., Smith, G.D., & Altman, D. (2008). Systematic Reviews in Health Care. Meta-Analysis in Context. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1093/med/9780199218707.003.0039>
11. Deeks, J.J., Altman, D.G., Bradburn, M.J., Egger, M., & Smith, G.D. (2001). Systematic Reviews in Health Care, Meta-Analysis in Context. 2nd edition. 512 pages. <http://www.wiley.com>.
12. Jabbari, R., Amini Dehaghi, M., Modares Sanavy, M.A., & Kordenaeej, A. (2008). Effects of application methods of nitrogen fertilizer in semi-arid and moderate cool conditions on morphological and composition on thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Agricultural Plant Breeding Research Journal* 1(3), 78-94. (In Persian with English abstract)
13. Doulati, B., Rahimi, A., & Haidarzadeh, S. (2018). Investigating the effect of organic, biological and chemical fertilizers on the quantitative and qualitative characteristics of Danai thyme (*Thymus deanensis* L.). *Scientific Journal of Agriculture*, 42(3), 79-95. (In Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22055/agen.2019.27350.1457>
14. Gigord, L., Shykoff, & Atlan, L. (1999). Evidence for effects of restorer genes on male and female reproductive functions of hermaphrodites in the gynodioecious species *Thymus vulgaris* L. *Journal of Evolutionary Biology*, 12(3), 596-604.
15. Habibi, M., Fadaei, Z. N., & Najafi, M. (2009). Confirmatory factorial structure, reliability and validity of the Achenbach youth self-report scale (YSR), monozygotic and dizygotic twins. *Journal of Clinical Psychology* 1(1),

- 1-18. (In Persian with English abstract)
16. Nejadhabibvash, F., & Shokri Mahmudi, A. (2021). Effect of biofertilizers of Azotobarvar-2 and Phosphatebarvar-2 on the amount and compositions of *Thymus daenensis* Celak. essential oil in the full flowering stage. *Iranian Journal of Plant Biology*, 13(1), 19-36. (In Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22108/IJPB.2021.122978.1213>.
17. Haidari, M., Gatsby, F., Sabbagh, S.K., & Markarian, H. (2019). Effect of irrigation distance and organic and inorganic fertilizers on yield components and some biochemical compounds of cultivated thyme (*Thymus vulgaris* L.) *Scientific Journal of Plant Nutrition. Baghi*, 3(1), 51-68. (In Persian with English Summary)
18. Higgins, J.P., Thompson, S.G., Deeks, J. J., & Altman, D.G. (2003). Measuring inconsistency in meta-analyses. <https://doi.org/10.1136/bmi.327.7414.557>.
19. Honorato, A.C., Maciel, J.F.A., de Assis, R.M.A., Nohara, G.A., de Carvalho, A.A., Pinto, J.E.B.P., & Bertolucci, S.K.V. (2022). Combining green manure and cattle manure to improve biomass, essential oil, and thymol production in *Thymus vulgaris* L. *Industrial Crops and Products*, 187, 115469. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115469>.
20. Izanlo, B., & Habibi, M. (2011). Application of meta-analysis in social and behavioral science: a review of advantages, disadvantages, and methodological issues. *Journal of Research in Behavioural Sciences*, 9(1), 0-0. (In Persian with English abstract)
21. Mohammad Pour Vashvae, R., Galavi, M., Ramroodi, M., & Fakheri, B. (2014). The effect of drought stress and biofertilizer inoculation on the growth, performance and composition of thyme essential oil. *Journal of Agroecology* 7(2), 237-253. (In Persian with English abstract). <http://doi.org/10.22067/JAG.V7I2.36935>.
22. Mokhtari, M. (2014). Comprehensive meta-analysis of saffron research in Iran and the world. Ph.D. Dissertation, Faculty of Agriculture (International Campus), Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English abstract)
23. Emami Bistgani, Z., Siadat, S.A., Bakhshandeh, A., Ghasemi Pirbalouti, A., Hashemi, M., Maggi, F., & Morshedloo, M.R. (2018). Application of combined fertilizers improves biomass, essential oil yield, aroma profile, and antioxidant properties of *Thymus daenensis* Celak. *Industrial Crops and Products*, 121, 434-440. Available at Web site: www.elsevier.com/locate/indcrop.
24. Nickavar, B., Mojab, F., & Dolat-Abadi, R. (2005). Analysis of the essential oils of two *Thymus* species from Iran. *Food chemistry*, 90(4), 609-611. (In Persian with English abstract). <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.020>.
25. Omidbeygi, R., Ramazani, A., Sadeghi, B., & Ziarat Nia, S.M. (2003). Effect of corm mass on saffron production in Nishabur climate. In Proceeding of 3rd National Congress on Iranian Saffron, Mashhad, Iran, pp. 158-163. (In Persian with English abstract). <http://doi.org/10.1007/978-3-319-5879-3-6>.
26. Prasanth Reddy, V., Ravi Vital, K., Varsha, P.V., & Satyam, S. (2014). Review on *Thymus vulgaris* traditional uses and pharmacological properties. *Med Aromata Plants*, 3(164), 2167-0412. <http://doi.org/10.4172/2167-0412.1000164>
27. Rey, C. (1995). Direct field sowing of thyme (*Thymus vulgaris*). *Horticultural Science Abstracts*, 65(8), 137.
28. Rosenthal, R., Cooper, H., & Hedges, L.V. (1994). The Handbook of Research Synthesis. Russell Sage Foundation, pp. 231-244. 610 pages.
29. Rothstein, H.R., Sutton, A.J., & Borenstein, M. (2005). Publication Bias in Meta-Analysis. Publication Bias in Meta-Analysis: Prevention, Assessment and Adjustments, pp. 1-7. <http://doi.org/10.1002/0470870168>.
30. Rotundo, J.L., & Westgate, M.E. (2009). Meta-analysis of environmental effects on soybean seed composition. *Field Crops Research*, 110(2), 147-156. <http://doi.org/10.1016/j.ecr.2008.07.012>
31. Shabkhiz, H., Javanmard, A., Ostadi, A., & Morshedloo, M.R. (2021). Improving quantity and quality of *Thymus daenensis* Celak. essential oil with application of Myco-Root biofertilizer under different irrigation levels. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37(3), 434-456. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/IJMAPR2021.352999.2921>
32. Sharafzadeh, S., & Zare, M. (2011). Effect of drought stress on qualitative and quantitative characteristics of some medicinal plants from Lamiaceae family: A review. *Advances in Environmental Biology*, 5(8), 2058-2062. (In Persian with English abstract)
33. Vahedi, V.S. (2021). The effectiveness of hypertext annotations on learners' vocabulary learning: A meta-analysis. *Technology of Education Journal (TEJ)*, 15(2), 339-349.
34. Viechtbauer, W. (2010). Conducting meta-analyses in R with the metaphor package. *Journal of Statistical Software*, 36(3), 1-48. <http://doi.org/10.18637/jss.v036.i03>.



Exploring the Impact of Drought Stress on the Yield and Yield Components of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) Ecotypes

Vahid Bazrafshan¹, Farzad Paknejad^{2*}, Hamid Reza Fanaei³, Davoud Habibi⁴ & Morteza Siavoshi⁵

1- Ph.D. Student of Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

2- Professor of Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

3- Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

4- Associate Professor of Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

5- Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran.

(*- Corresponding author's Email: Farzadpaknejad@yahoo.com)

Received: 30-10-2023
Revised: 24-12-2023
Accepted: 28-01-2024
Available Online: 01-12-2024

How to cite this article:

Bazrafshan, V., Paknejad, F., Fanaei, H. R., Habibi, D., & Siavoshi, M. (2024). Exploring the impact of drought stress on the yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.) ecotypes. *Journal of Agroecology*, 16(3), 493-511. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/agry.2024.85108.1172>

Introduction

Drought stress poses a significant challenge to cumin production in Iran, particularly during the flowering and seed-setting stages. Cumin is a valuable crop with numerous medicinal properties and applications in various industries. Despite its short growing season, the economic importance of cumin makes it imperative to find ways to mitigate the effects of drought stress on seed yield. Addressing the negative effects of drought stress is crucial for improving cumin seed yield. One effective strategy is to identify drought-resistant cumin cultivars. By selecting cultivars that are more resilient to drought conditions, farmers can enhance their chances of achieving higher yields, even in challenging environments.

Materials and Methods

This two-year study (2020-2021) aimed to assess the drought tolerance of 15 cumin ecotypes under field conditions in Karaj, Iran. The experimental design was a randomized complete block design with three replications. The ecotypes evaluated were: Tabriz, Torbat Jam 8, Afghani, Khorasan-Birjand, Yazd 7, Yazd 8, Torbat Jam 9, Khorasan Razavi 8, Pakistan, Isfahan, Hindi, Khorasan Razavi 12, Isfahan 13, Sabzevar, Torbat Heydarieh. Two treatments were applied: full irrigation and drought stress. Irrigation under full irrigation was carried out every 10



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

 <https://doi.org/10.22067/agry.2024.85108.1172>

days according to soil and weather conditions, while irrigation was withheld from 50% flowering to the end of the growth period under drought stress.

Results and Discussion

The results of this study showed that drought stress reduced the yield and yield components of cumin ecotypes but increased the essential oil content. The highest seed yield of 102.78 g m⁻² was achieved by the ecotype Turbat Jam 8 under full irrigation conditions, which was statistically similar to the ecotypes Afghani, Khorasan-Birjand, Yazd 7, Turbat Jam 9, and Sabzevar under normal irrigation conditions. The lowest seed yield of 65.8 g m⁻² was recorded for the ecotype Khorasan Razavi 12. These results demonstrate the differential tolerance of cumin ecotypes to drought stress and highlight the potential of Turbat Jam 8 as a drought-tolerant ecotype. The Afghani ecotype proved to be drought-resistant, showing consistent grain yield under both normal irrigation and drought stress. Conversely, the Khorasan Razavi 12 ecotype was vulnerable to drought stress, exhibiting reduced biological and grain yields under these conditions. Notably, a strong positive correlation (0.973) was observed between essential oil content and seed yield, indicating that breeding for high essential oil content could also improve drought resistance and yield. In addition to the strong correlation between essential oil content and seed yield, other correlations were observed. The amount of essential oil was positively correlated with the harvest index (0.787) and the weight of one thousand seeds (0.721). Seed yield also showed positive and significant correlations with the number of umbrellas per plant (0.396), harvest index (0.287), and the number of seeds per umbrella (0.232). No other traits showed significant correlations. Biological performance had positive and significant correlations with plant height, number of branches per plant, number of umbels per plant, number of umbels per umbel, and number of seeds per umbel. According to the result of cluster analysis based on Ward's method, the ecotypes were divided into three groups. The highest number of ecotypes was in the third group (7 ecotypes) and the second group (6 ecotypes). The Afghani ecotype formed the first group alone. According to the type of ecotypes placed in a cluster, it can be said that the ecotypes in a cluster were very similar in terms of morphological and molecular characteristics, and the Afghani ecotype was different from other ecotypes.

Conclusion

Drought stress and ecotype interactions had a significant impact on plant height, biological yield, and grain yield. The variation in ecotype responses to drought stress may be attributed to genetic differences. The Afghani ecotype demonstrated strong resistance to drought, showing no significant reduction in grain yield under both normal irrigation and drought stress conditions while also achieving the highest essential oil content. In contrast, the Khorasan Razavi 12 ecotype was highly sensitive to drought stress, exhibiting markedly lower biological and grain yields compared to other ecotypes.

Keywords: Environmental stresses, Essential oil, Irrigation, Seed yield

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۵۱۱-۴۹۳

بررسی عملکرد و اجزاء عملکرد اکوتیپ‌های مختلف زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) تحت تأثیر تنش خشکی

وحید بذرافشان^۱، فرزاد پاک‌نژاد^{۲*}، حمید رضا فنایی^۳، داود حبیبی^۴ و مرتضی سیاوشی^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۸

چکیده

تنش خشکی، تولید زیره در ایران را خصوصاً در مراحل گل‌دهی با چالش جدی مواجه می‌کند. لذا، به‌منظور بررسی عملکرد و شناسایی منابع ژنتیکی متحمل، ۱۵ اکوتیپ زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) در دو آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار، در دو سال زراعی متوالی (۱۳۹۸-۱۴۰۰) در کرج مورد ارزیابی قرار گرفتند. در آزمایش نرمال، از کاشت تا پایان دوره رشد و در آزمایش تنش خشکی، از کاشت تا ۵۰ درصد گل‌دهی آبیاری گردیدند. نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد و اجزاء عملکرد اکوتیپ‌های زیره سبز شد. بیشترین عملکرد دانه، (۱۰۳ گرم در مترمربع) مربوط به اکوتیپ تربت جام ۸ در شرایط آبیاری نرمال بود که با اکوتیپ‌های افغانی، خراسان-بیرجند، یزد ۷، تربت جام ۹ و سبزوار در یک گروه آماری قرار گرفتند. کمترین مقدار این شاخص (۶۵/۸ گرم در مترمربع) مربوط به اکوتیپ خراسان رضوی ۱۲ بود. عملکرد دانه اکوتیپ افغانی، در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی یکسان بود. اکوتیپ خراسان رضوی ۱۲ نیز اکوتیپ حساس به تنش خشکی بود، زیرا کمترین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را در شرایط تنش خشکی داشت. تنش خشکی موجب افزایش درصد اسانس و کاهش عملکرد اسانس زیره سبز نسبت به آبیاری نرمال شد و در میان اکوتیپ‌ها، بیشترین درصد اسانس زیره سبز مربوط به اکوتیپ افغانی بود. تنش خشکی، کاهش عملکرد اکوتیپ‌های مورد مطالعه زیره سبز را به همراه داشت، اما در این میان، اکوتیپ افغانی را می‌توان به‌عنوان اکوتیپ مقاوم به تنش و دارای اسانس مطلوب معرفی کرد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، آبیاری، تنش‌های محیطی، عملکرد دانه

مقدمه

کشت گیاهان دارویی از دیرباز تا به اکنون از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است. گیاهان دارویی به‌دلیل وجود اسانس و مشتقات دارویی و کاربرد فراوان آن‌ها در زمینه بهداشتی، درمانی و صنایع غذایی، بخش مهمی از اقتصاد کشورها را به خود اختصاص داده است و استفاده از گیاهان دارویی به‌عنوان ادویه، دارو و مکمل‌های غذایی از گذشته‌های دور تا امروز بسیار رایج بوده است (Rasool et al., 2020). زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) به‌دلیل فصل رشد کوتاه و همچنین ارزش اقتصادی بالا، از مهم‌ترین گیاهان دارویی خانواده چتریان می‌باشد. زیره سبز دارای ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی فراوان، خواص ضدباکتریایی و درمانی فراوان از جمله بهبود عملکرد

- ۱- دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.
- ۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.
- ۳- استاد مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
- ۴- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.
- ۵- استادیار گروه علوم کشاورزی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

(*)- نویسنده مسئول: (Email: Farzadpaknejad@yahoo.com)
<https://doi.org/10.22067/agry.2024.85108.1172>

دستگاه گوارش می‌باشد. همچنین کاربردهای فراوانی در صنایع غذایی، آرایشی و بهداشتی دارد. گیاهی مقاوم به خشکی است که شکل برگ‌ها، کوتاه بودن بوته‌ها، رنگ و پوشش سطح اندام‌های گیاه همگی نشان از سازگاری گیاه زیره سبز به شرایط تنش خشکی دارد (Allaq et al., 2020; Omidbaigi, 2007). علاوه بر این، زیره سبز به عنوان یک ادویه مهم شناخته شده است که بعد از فلفل دومین ادویه مهم دنیا به‌شمار می‌رود (Mortazavian et al., 2018).

از سوی دیگر، تنش خشکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که بر جنبه‌های مختلف ریخت‌شناسی، فیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاهان تأثیرگذار است و از طریق ایجاد اختلال در تعادل بین تولید گونه‌های فعال اکسیژن و فعالیت‌های دفاعی آنتی‌اکسیدان گیاه موجب تنش اکسیداتیو می‌گردد و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و عامل اصلی کاهش تولید محصولات است (Soares et al., 2018). در ایران اکثر مناطق کشت زیره سبز مربوط به مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشند. در این مناطق، زیره سبز اغلب در مراحل گل‌دهی تا مرحله دانه‌بندی با تنش خشکی مواجه شده و عملکرد دانه زیره سبز تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد و کاهش عملکرد دانه را به همراه دارد. بنابراین، مبارزه با اثرات منفی ناشی از تنش خشکی یکی از ارکان مهم در راستای افزایش عملکرد این گیاه پرخاصیت است. از طرف دیگر، شناخت ارقام مناسب و متحمل به خشکی می‌تواند امکان استفاده بهینه از منابع آبی را فراهم سازد (Bahraminejad et al., 2011). به نظر می‌رسد که گیاهان دارویی واکنش‌های متفاوتی نسبت به تنش خشکی دارند. با توجه به تفاوت ژنتیکی اکوتیپ‌های مختلف گیاهان، عملکرد گیاهان متفاوت است و عملکرد گیاهان در اکوسیستم‌های مختلف تحت تأثیر عوامل متعددی مانند اکوتیپ‌ها، نوع گونه گیاهی، خاک، مشخصات جغرافیایی، عوامل ژنتیکی و اقلیم قرار دارد که هریک از این عوامل می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر رشد، کمیت و کیفیت گیاهان داشته باشد (Ebrahimiyan et al., 2017; Soorni et al., 2021).

بررسی صفات اجزاء عملکرد از قبیل تعداد چتر در بوته، وزن هزار دانه و تعداد دانه در چتر اهمیت به‌سزایی در تعیین عملکرد در گیاهان خانواده چتریان، خصوصاً زیره سبز دارند. صفت تعداد چتر در بوته پراهمیت‌ترین جزء عملکرد دانه، به دلیل اثر مستقیم و همبستگی بالا بر عملکرد دانه، به‌شمار می‌رود و معیاری مناسب برای بررسی توان تولید دانه زیره سبز می‌باشد (Moslemi et al., 2016; Afshar et al., 2016).

(al., 2023). در همین راستا گزارش شده است که تنش خشکی موجب کاهش عملکرد پنج اکوتیپ مختلف زیره سبز شده و اکوتیپ خوسف دارای بیشترین عملکرد دانه بود. همچنین صفات تعداد چتر، تعداد چترک و تعداد دانه در بوته می‌توانند منجر به حصول بیشترین عملکرد شود و این صفات مهم‌ترین عوامل در تعیین عملکرد دانه می‌باشند (Moslemi et al., 2023). علاوه بر این، گزارش شده است که تنش خشکی صفات ریخت‌شناسی زیره سبز را کاهش داد و اکوتیپ بیرجند بهترین اکوتیپ بررسی شده بود (Soorni et al., 2021). با توجه به محدودیت‌های شدید منابع آبی در کشور ما، تنش خشکی به عنوان مهم‌ترین تنش تأثیرگذار بر گیاهان شناخته شده است و شناسایی ارقام مقاوم به تنش خشکی و استفاده بهینه از آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند باعث افزایش سطح زیر کشت و افزایش تولید گیاهان شود. در تولید گیاهان دارویی مقدار اسانس از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و شناخت اکوتیپ‌هایی که در شرایط تنش خشکی اسانس آنان دچار تغییر و کاهش نمی‌شود، بسیار حائز اهمیت است. لذا با توجه به خشکسالی و اثرات منفی حاصل از تنش خشکی، پژوهش حاضر با هدف بررسی شناخت ارقام مناسب زیره سبز به تنش خشکی و با آستانه تحمل بالا نسبت به تنش خشکی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی عملکرد و تحمل به تنش خشکی در اکوتیپ‌های زیره سبز (*cuminum cyminum* L.) و شناسایی منابع ژنتیکی متحمل، تعداد ۱۵ اکوتیپ زیره سبز دریافتی از بانک ژن گیاهی ملی ایران در دو آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دو سال زراعی متوالی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ و ۱۳۹۸-۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در کرج (مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی ۵۱ درجه و ۶ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۳۱۳ متری از سطح دریا) مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۱). تیمارهای مطالعه حاضر عبارتند از ۱۵ اکوتیپ زیره سبز شامل: تبریز، تربت جام ۸، افغانی، خراسان - بیرجند، یزد ۷، یزد ۸، تربت جام ۹، خراسان رضوی ۸، پاکستان، اصفهان، هندی، خراسان رضوی ۱۲، اصفهان ۱۳، سبزوار و تربت حیدریه که در دو شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی (قطع آبیاری از ۵۰ درصد گل‌دهی اکوتیپ‌ها تا پایان رشد) بود. اطلاعات مربوط به ویژگی‌های خاک

مزرعه تحقیقاتی (جدول ۲) و روند دما و بارندگی در ماه‌های مختلف سال‌های زراعی در کرج (شکل ۱) نشان داده شده است. براساس نتایج آزمون خاک، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل همزمان با آماده‌سازی زمین به خاک افزوده شد. ۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره جهت تأمین نیتروژن در مرحله پنج برگی همزمان با تنک کردن استفاده شد. قبل از کاشت، بذور با قارچ‌کش بنومیل به‌نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند. هر اکوتیپ در یک واحد آزمایشی شامل چهار خط کشت با طول دو متر کشت شدند، بذور هر اکوتیپ در دو ردیف کاشت بر روی هر پشته به‌فاصله ۳۰ سانتی‌متر با میزان بذور بالا کشت و در زمان چهار تا شش برگی، تنک‌کردن بوته‌ها تا دستیابی به تراکم مناسب انجام شد.

در آزمایش آبیاری بهینه، اکوتیپ‌ها براساس نیاز آبی تا پایان دوره رشد آبیاری شدند، دو نوبت آبیاری تا سبز شدن، آبیاری در مرحله پنج برگی، مرحله چتردهی، مرحله گل‌دهی و مرحله پر شدن دانه، در حالی که اکوتیپ‌ها در آزمایش تنش خشکی از مرحله گل‌دهی تا پایان دوره رشد قطع آبیاری شدند، ولی تا مرحله گل‌دهی مشابه با آزمایش نرمال آبیاری شدند. به‌منظور جلوگیری از نشت رطوبت، فاصله بین دو آزمایش از هم شش متر منظور شد. آبیاری به‌صورت نشتی انجام گرفت. در طول دوره رشد گیاه، در در دو مرحله (اواسط فروردین و اواسط اردیبهشت) کنترل علف‌های هرز به‌صورت دستی و توسط نیروی انسانی انجام گرفت.

جدول ۱- مشخصات اکوتیپ‌های مورد مطالعه

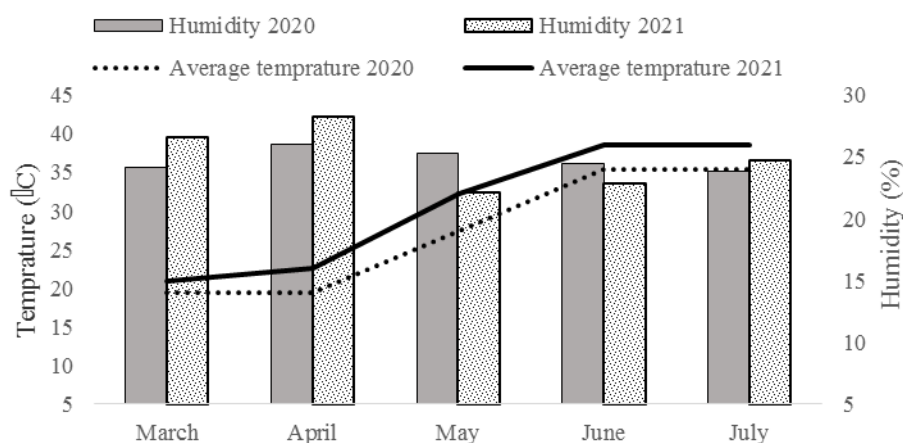
Table 1- Characteristics of studied ecotypes

ردیف	کد اکوتیپ در بانک ژن	اکوتیپ‌ها	محل جمع‌آوری	منشأ
Row	Ecotype code in gene bank	Ecotypes	Gathering location	Origin
1	49-124	تبریز	تبریز	ایران
		Tabriz	Tabriz	Iran
2	49-132	تربت جام ۸	تربت جام	ایران
		Tobate Jam 8	Tobate Jam	Iran
3	49-120	افغانی	سیستان	افغانستان
		Afghani	Sistan	Afghanistan
4	49-101	خراسان-بیرجند	خراسان-بیرجند	ایران
		Khorasan-Birjand	Khorasan-Birjand	Iran
5	49-74	یزد ۷	یزد	ایران
		Yazd 7	Yazd	Iran
6	49-108	یزد ۸	یزد	ایران
		Yazd 8	Yazd	Iran
7	49-129	تربت جام ۹	تربت جام	ایران
		Torbate Jam 9	Torbate Jam	Iran
8	49-113	خراسان رضوی ۸	خراسان رضوی	ایران
		Khorasane Razavi 8	Khorasane Razavi	Iran
9	49-138	پاکستان	زاهدان	پاکستان
		Pakistan	Zahedan	Pakistan
10	49-19	اصفهان	اصفهان	ایران
		Esfahan	Esfahan	Iran
11	49-128	هندی	سیستان و بلوچستان	هندوستان
		Hendi	Sistan and Baluchestan	India
12	49-105	خراسان رضوی ۱۲	خراسان رضوی	ایران
		Khorasan Razavi 12	Khorasan Razavi	Iran
13	49-115	اصفهان ۱۳	اصفهان	ایران
		Esfahan 13	Esfahan	Iran
14	49-137	سبزوار	سبزوار	ایران
		Sabzevar	Sabzevar	Iran
15	49-144	تربت حیدریه	تربت حیدریه	ایران
		Torbat Heidarieh	Torbat Heidarieh	Iran

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 2- Physical and chemical properties of field's soil

سال Year	عمق Depth (cm)	بافت Texture	فسفر قابل جذب P (A.v) mg.kg ⁻¹	پتاسیم قابل جذب K (A.v) mg.kg ⁻¹	اسیدیته pH	کربن آلی Organic C (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)
2020	0-30	لومی -رسی Loam clay	5.29	228	8.5	0.45	1.26
2021	0-30	لومی -رسی Loam clay	6.13	235	8	0.51	1.21



شکل ۱- روند تغییرات دما و رطوبت در ماه‌های مختلف در طی دوره رشد زیره سبز سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۸

Fig. 1- Temperature and humidity changes in different months during the growth period of cumin (2020-2021)

و جداسازی بذور از کاه و کلش شد. وزن هزار دانه با توزین چهار نمونه ۲۵۰ تایی با ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم مشخص گردید. قبل از جداسازی دانه از بوته، وزن کل بوته‌ها با ترازو توزین و عملکرد بیولوژیک محاسبه شد. شاخص برداشت نیز از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد بیولوژیک به‌دست آمد که به‌صورت درصد بیان شد. اسانس زیره سبز به‌روش تقطیر با آب و توسط دستگاه کلونجر انجام شد. بدین منظور، ۳۰ گرم نمونه بذری از هر کرت وزن گردید و پس از آسیاب شدن در ۳۰۰ میلی‌لیتر آب در داخل دستگاه کلونجر به‌مدت سه ساعت جوشانده شد تا اسانس آن استخراج شود. سپس، درصد اسانس به‌روش وزنی و عملکرد اسانس براساس حاصلضرب عملکرد دانه و درصد اسانس محاسبه گردید (Eikani et al., 2007).

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها ابتدا برای اطمینان از یکنواختی توزیع خطاهای آزمایشی، آزمون بارتلت انجام شد (جدول ۳). تجزیه واریانس مرکب داده‌ها و مقایسه میانگین صفات با نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد.

براساس نتایج آزمون خاک، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل همزمان با آماده‌سازی زمین به خاک افزوده شد. ۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره جهت تأمین نیتروژن در مرحله پنج برگی همزمان با تنک کردن استفاده شد. قبل از کاشت، بذور با قارچ‌کش بنومیل به‌نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند. هر اکوتیپ در یک واحد آزمایشی شامل چهار خط کشت به طول دو متر کشت شدند، بذر هر اکوتیپ در دو ردیف کاشت بر روی هر پشته به‌فاصله ۳۰ سانتی‌متر با میزان بذر بالا کشت و در زمان چهار تا شش برگی، تنک‌کردن بوته‌ها تا دستیابی به تراکم مناسب انجام شد. صفات ریخت‌شناسی و اجزاء عملکرد مانند ارتفاع گیاه، تعداد شاخه در بوته، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شدند.

برای تعیین عملکرد دانه پس از حذف دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدای و انتهای خطوط هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای، بوته‌ها در مرحله رسیدگی (۸۰ درصد زرد شدن بوته) در سطحی معادل یک مترمربع برداشت و پس از خشک شدن کامل بوته‌ها، اقدام به کوبیدن

جدول ۳- نتایج آزمون بارتلت
 Table 3- Bartlett test results

درصد اسانس Essential oil percentage	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Seed yield	وزن هزار دانه 1000-seeds weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	تعداد چتر در بوته Number of umbel in plant	تعداد شاخه در بوته Branch number in plant	تعداد دانه در چتر Seeds number in the umbel	ارتفاع گیاه Plant height	
0.402	0.526	0.419	0.258	0.381	0.208	0.375	0.456	0.372	مقدار P
0.359	0.273	0.102	0.311	0.255	0.653	0.621	0.037	0.014	توزیع کای ۲- chi-square

نتایج و بحث

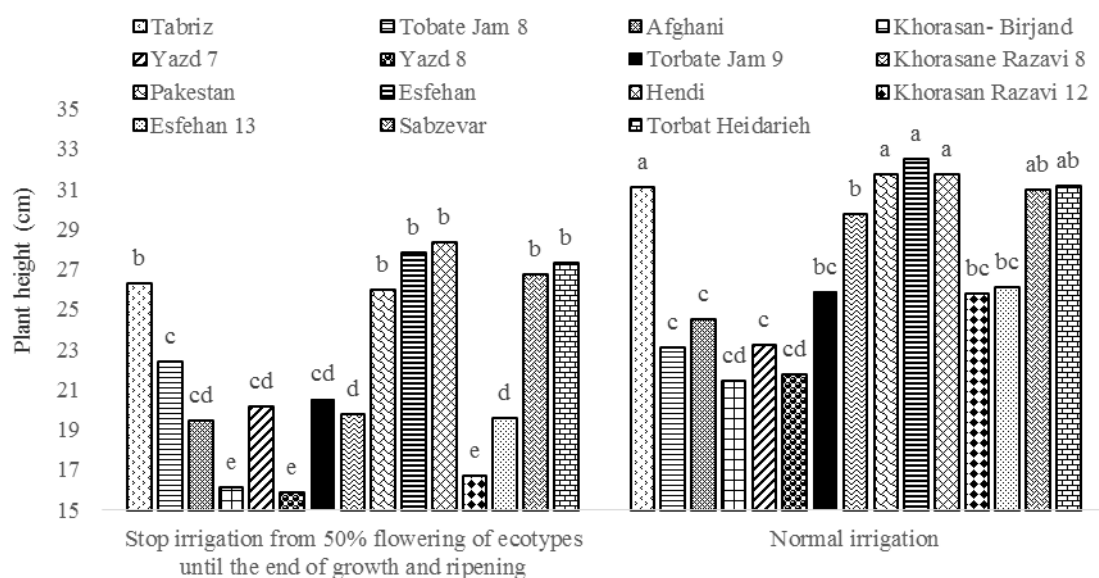
ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس بیانگر آن است که اثر آبیاری با احتمال خطای یک درصد، اثر اکوتیپ و اثرات متقابل اکوتیپ در آبیاری با احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع بوته در تمامی اکوتیپ‌های بررسی شده نسبت به شرایط آبیاری نرمال شد و بیشترین ارتفاع بوته ۳۱/۱ سانتی‌متر مربوط به اکوتیپ تبریز در شرایط آبیاری نرمال بود که با اکوتیپ‌های پاکستان، اصفهان، هندی، سبزوار و تربت حیدریه در یک گروه آماری قرار گرفتند. همچنین کمترین مقدار این شاخص (۱۶/۱ سانتی‌متر) نیز مربوط اکوتیپ خراسان - بیرجند در شرایط تنش خشکی بود که با اکوتیپ‌های یزد ۸ و خراسان رضوی ۱۲ اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۲). تنش خشکی سبب کاهش ارتفاع زیره سبز شد و نتایج حاصل از پژوهش حاضر با سایر محققین روی زیره سبز مطابقت داشت (Moslemi et al., 2023). با قطع آبیاری، ارتفاع گیاه در تمامی اکوتیپ‌ها کاهش یافت و آبیاری نرمال به دلیل فراهم بودن میزان دسترسی کافی به آب و عناصر غذایی سبب افزایش رشد اکوتیپ‌ها شد. در شرایط تنش خشکی، تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه کاهش می‌یابد که به نظر می‌رسد، این امر به کاهش ارتفاع بوته منجر می‌شود. تنش خشکی بعد از استقرار کامل گیاه و در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی اعمال شد، بنابراین در این مرحله گیاه تقریباً رشد طولی خود را سپری کرده است و دیگر مریستم انتهایی رشدی ندارد و اگر رشد طولی هم داشته باشد مربوط به

میان‌گره است و با قطع آبیاری در این مرحله از رشد گیاه، احتمالاً کاهش رشد میان‌گره سبب کاهش ارتفاع بوته شده است (Abbasi et al., 2023). از طرف دیگر، در شرایط تنش خشکی کاهش فشار آماس و به دنبال آن کاهش تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها رخ می‌دهد، همچنین تنش خشکی موجب کاهش فشار آماس سلول‌های محافظ روزنه و کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شود و در اثر آن ارتفاع بوته، سرعت رشد و در نهایت، فتوسنتز گیاه کاهش می‌یابد (Baghbani Arani et al., 2017). نتایج مشابهی توسط سایر محققان گزارش شده است. محققان اعلام داشتند که تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع بوته زیره سبز در تمامی اکوتیپ‌های مورد مطالعه شده است (Moslemi et al., 2023).

تعداد شاخه در بوته

اثر آبیاری و اثر اکوتیپ با احتمال خطای یک درصد بر تعداد شاخه در بوته معنی‌دار شد (جدول ۴). تنش خشکی کاهش تعداد شاخه در بوته را به همراه داشت و در تیمارهای آبیاری بیشترین تعداد شاخه در بوته (۸/۲۲ شاخه)، مربوط به آبیاری نرمال و در اکوتیپ‌ها نیز بیشترین تعداد شاخه در بوته (۹/۳۳ شاخه) مربوط به اکوتیپ هندی بود و کمترین مقدار این شاخص نیز (۶/۷۹ شاخه)، مربوط به اکوتیپ خراسان رضوی بود (جدول ۶). می‌توان دلیل کاهش تعداد شاخه در بوته در شرایط تنش خشکی را این‌گونه توجیه نمود که در شرایط تنش خشکی، سنتز هورمون سیتوکینین از ریشه کاهش یافته و از طریق کاهش تقسیم سلول‌ها، تعداد شاخه در بوته نیز کاهش می‌یابد.



شکل ۲- اثرات متقابل آبیاری و اکوتیپ بر ارتفاع بوته زیره سبز
Fig. 2- Interaction of irrigation and ecotypes on plant height of cumin

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات اجزاء عملکرد زیره سبز
Table 2- Variance analysis of cumin yield components traits

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares			
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه در بوته Branch number in plant	تعداد چتر در بوته Number of umbel in plant	تعداد دانه در چتر Seeds number in the umbel
سال Year (Y)	1	8.45 ^{ns}	3.55 ^{ns}	544 ^{**}	387 ^{**}
آبیاری Irrigation (I)	1	178 ^{**}	28.0 ^{**}	162 ^{**}	256 ^{**}
Y × I	1	20.6 ^{ns}	1.42 ^{ns}	4.47 ^{ns}	3.75 ^{ns}
تکرار Replication (Y × I)	8	89.9	27.9	199	43.3
اکوتیپ Ecotypes (E)	14	32.1 [*]	7.22 ^{**}	85.1 ^{**}	11.4 [*]
E × Y	14	18.8 ^{ns}	1.41 ^{ns}	34.2 ^{ns}	1.46 ^{ns}
E × I	14	63.4 [*]	1.69 ^{ns}	16.8 ^{ns}	2.27 ^{ns}
Y × E × I	14	3.95 ^{ns}	2.74 ^{ns}	10.9 ^{ns}	4.54 ^{ns}
خطا Error	112	8.77	2.09	21.7	2.86
ضریب تغییرات C.V (%)		11.7	10.5	12.9	13.8

** و *: به ترتیب معنی‌دار با احتمال خطای یک و پنج درصد، ns: فاقد اثر معنی‌دار.
ns: not significant, * and **: significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

بوته در شرایط تنش خشکی باشد که باعث کاهش تعداد چتر، تعداد چترک و تعداد دانه در بوته می‌شود (Abbasi et al., 2023). پیرو این امر گزارش شد که تنش خشکی با کاهش فتوسنتز سبب کاهش تعداد چتر در بوته زیره سبز شد (Soormi et al., 2021).

تعداد دانه در چتر

اثر سال، آبیاری با احتمال خطای یک درصد و اثر اکوتیپ با احتمال خطای پنج درصد بر تعداد دانه در چتر معنی‌دار شد (جدول ۴). تعداد دانه در چتر در سال اول ۲۵/۶۳ درصد نسبت به سال دوم افزایش داشت که می‌توان گفت مربوط به رطوبت نسبی بیشتر و دمای بیشتر در مقایسه با سال اول باشد (شکل ۱). عناصر غذایی موجود در خاک در سال دوم بیشتر از سال اول بود که همین امر سبب فراهمی عناصر مورد نیاز برای رشد گیاه شد (جدول ۲). تنش خشکی موجب کاهش تعداد دانه در چتر شد. در تیمارهای آبیاری، بیشترین تعداد دانه در چتر (۱۳/۳ دانه)، مربوط به آبیاری نرمال و در اکوتیپ‌ها نیز بیشترین تعداد دانه در چتر (۱۳/۶ دانه) مربوط به اکوتیپ تبریز بود و کمترین مقدار این شاخص نیز (۱۰ دانه)، مربوط به اکوتیپ خراسان - بیرجند و ۹/۵ دانه مربوط به اکوتیپ یزد ۷ بود (جدول ۶). صفت تعداد دانه در چتر تعیین‌کننده ظرفیت مخزن است، هرچه تعداد دانه بیشتر باشد، گیاه مخزن بزرگ‌تری برای دریافت مواد فتوسنتزی تولید شده دارد و افزایش این صفت منجر به افزایش عملکرد گیاه خواهد شد. گمان می‌رود که تنش خشکی با اختلال در گرده‌افشانی و همچنین کاهش طول دوره گرده‌افشانی، موجب عدم تلقیح مناسب گل‌ها و کاهش تعداد دانه در بوته شده است. کمبود آب قابل جذب در گیاه زیره سبز، منجر به بروز تغییرات ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی از قبیل محدودیت فتوسنتز و بسته شدن روزنه‌ها شد (Batool et al., 2023). کاهش تعداد دانه در تیمارهای تنش خشکی به علت کاهش جذب عناصر غذایی و کاهش فتوسنتز در مرحله پر شدن دانه است که نتایج مشابهی با سایر محققین گزارش شده است (Soares et al., 2018).

عملکرد بیولوژیک

اثر سال، آبیاری، اکوتیپ و اثرات متقابل سال در اکوتیپ و اکوتیپ در آبیاری با احتمال خطای یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵).

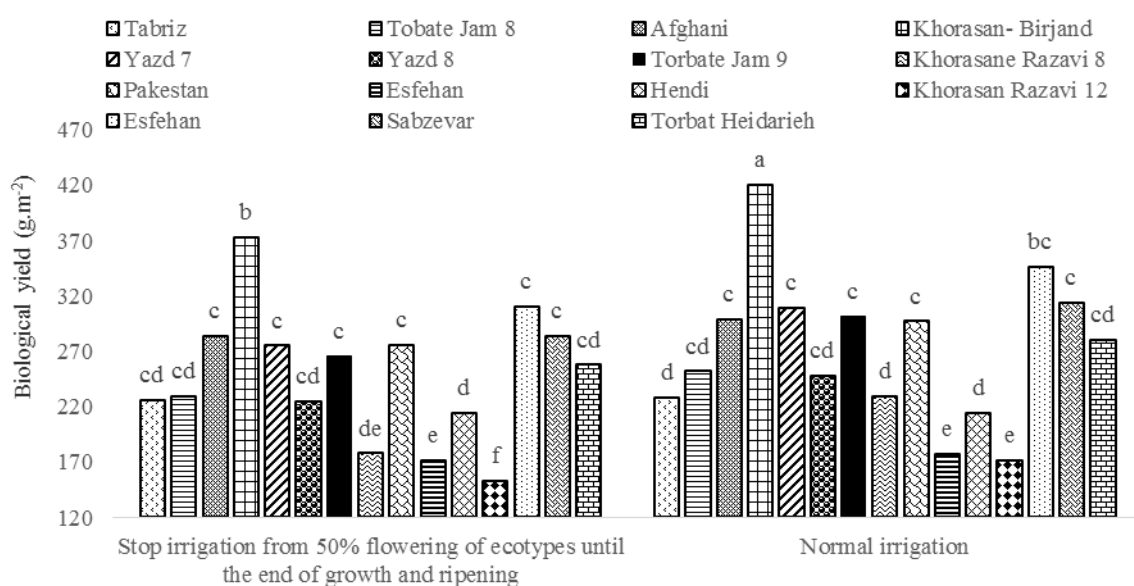
علاوه‌براین، در تیمارهای تنش خشکی به دلیل جذب کمتر نیتروژن، باروری شاخه‌های فرعی کاهش می‌یابد که در نهایت کاهش تعداد شاخه را به همراه دارد. تنش خشکی با کاهش دوره رشد، کاهش میزان فتوسنتز، کاهش طول دوره جذب و انتقال شیره پرورده موجب کاهش تعداد شاخه در بوته می‌شود (Soormi et al., 2021; Moslemi et al., 2023). در همین راستا گزارش شد که اعمال تنش خشکی، کاهش تعداد شاخه در بوته در اکوتیپ‌های مختلف زیره سبز را به همراه داشته است (Tabatabaei et al., 2014).

تعداد چتر در بوته

اثر سال، آبیاری و اثر اکوتیپ با احتمال خطای یک درصد، بر تعداد چتر در بوته معنی‌دار شد (جدول ۴). تعداد چتر در بوته در سال دوم ۱۸/۷ درصد نسبت به سال اول افزایش داشت که احتمال می‌رود، به دلیل رطوبت نسبی بیشتر و دمای بیشتر شرایط محیطی در مقایسه با سال اول باشد. زیرا با توجه به اطلاعات ثبت شده هواشناسی مجموع رطوبت نسبی در ماه‌های دوره رشد گیاه در سال دوم بیشتر از سال اول بوده است (شکل ۱). علاوه‌براین، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و عناصر غذایی موجود در خاک در سال دوم بیشتر از سال اول بود که سبب فراهمی مواد مغذی بیشتر برای گیاه شده است (جدول ۲). تنش خشکی موج کاهش تعداد چتر در بوته شد. در تیمارهای آبیاری بیشترین تعداد چتر در بوته (۲۱/۲ چتر)، مربوط به آبیاری نرمال و در اکوتیپ‌ها نیز بیشترین تعداد چتر در بوته (۹/۳ شاخه) مربوط به اکوتیپ سبزوار (۲۶/۲ چتر) و تربت حیدریه (۲۵/۵ چتر) بود و کمترین مقدار این شاخص نیز (۱۷ چتر)، مربوط به اکوتیپ خراسان رضوی ۸ و ۱۶/۷ چتر در اکوتیپ اصفهان ۸ مشاهده شد (جدول ۶). یکی از صفات مهم در اجزاء عملکرد گیاهان خانواده چتریان، تعداد چتر در بوته است که این صفت به دلیل ارتباط مستقیم با عملکرد دانه، سبب افزایش عملکرد دانه در زیره سبز می‌شود. در شرایط تنش خشکی، تعداد چتر در بوته کاهش یافت که می‌توان گفت، به دلیل کمبود آب و کاهش توانایی فتوسنتز، سبب کاهش انباشت ماده خشک در گیاه می‌شود و گیاه فرصت برای رشد کافی نداشته است و با کاهش تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد چتر در بوته نیز کاهش یافت. علاوه‌براین، می‌توان بیان داشت که کاهش تعداد چتر در بوته نیز به دلیل ریزش گل و سقط دانه‌های تازه تشکیل شده در

علاوه‌براین، در شرایط تنش خشکی تخصیص مواد کربوهیدراتی بین قسمت‌های مختلف گیاه دچار تغییر و اختلال می‌شود و جذب مواد غذایی و انتقال آن‌ها از ریشه به اندام‌های هوایی کاهش می‌یابد. بنابراین، رشدونمو گیاه کاهش می‌یابد. از دیگر دلایل کاهش عملکرد در طول تنش خشکی بیشتر می‌توان به انتساب بیشتر مواد فتوسنتز به ریشه در مقایسه با بخش هوایی گیاه اشاره کرد (Batool et al., 2023). نتایج پژوهش حاضر با نتایج سایر محققین مطابقت داشته است. پژوهشگران اظهار داشتند که تنش خشکی با محدودیت فتوسنتز و عدم انتقال مناسب شیره پرورده به اندام هوایی گیاه سبب کاهش رشد گیاه، ارتفاع گیاه و تعداد شاخه اکوتیپ‌های زیره سبز شد که کاهش این صفات سبب کاهش عملکرد بیولوژیک زیره سبز گردید (Moslemi et al., 2023).

نتایج اثرات متقابل اکوتیپ در آبیاری نشان داد که تنش خشکی کاهش عملکرد بیولوژیک را در تمامی اکوتیپ‌ها به همراه داشت و بیشترین عملکرد بیولوژیک (۴۲۰ گرم در مترمربع) مربوط به اکوتیپ خراسان- بیرجند در شرایط آبیاری نرمال و کمترین مقدار (۱۵۲ گرم در مترمربع) مربوط به اکوتیپ خراسان رضوی ۱۲ بود (شکل ۳). زیره سبز به‌طور کلی، گیاهی مقاوم به کم‌آبی است، اما واکنش اکوتیپ‌های این گیاه نسبت به کم‌آبی متفاوت است. در مطالعه حاضر، اکثر اکوتیپ‌های زیره سبز در شرایط تنش خشکی دچار افت عملکرد بیولوژیک شدند که می‌توان اظهار داشت، کاهش عملکرد بیولوژیک ممکن است به دلیل کاهش بزرگ شدن سلول و پیری بیشتر برگ ناشی از کاهش فشار تورژسانس باشد یا ممکن است به دلیل کاهش فتوسنتز و تغییر ساختار تاج‌پوشش در اثر قطع آبیاری باشد.



شکل ۳- اثرات متقابل آبیاری و اکوتیپ بر عملکرد بیولوژیک زیره سبز
Fig. 3- Interaction of irrigation and ecotypes on biological yield of cumin

دوم بیشتر از سال اول بود که همین امر سبب فراهمی عناصر مورد نیاز برای رشد گیاه شد (جدول ۲). تنش خشکی، کاهش وزن هزار دانه را به همراه داشت و بیشترین مقدار وزن هزار دانه (۴/۲۳ گرم) در آبیاری نرمال مشاهده شد. در میان اکوتیپ‌ها نیز بیشترین مقدار وزن هزار دانه مربوط به اکوتیپ خراسان رضوی ۸، (۴/۳۳ گرم) و اکوتیپ هندی (۴/۳۵ گرم) بود. کمترین مقدار نیز مربوط به اکوتیپ تربت حیدریه (۳/۶۲ گرم) بوده است (جدول ۶). در پژوهش حاضر قطع آبیاری از ۵۰ درصد گل‌دهی اکوتیپ‌ها تا پایان رشد اعمال شد و با

وزن هزار دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس حاکی از معنی‌دار بودن اثر سال با احتمال خطای یک درصد دارد. همچنین اثر آبیاری و اثر اکوتیپ با احتمال خطای پنج درصد بر وزن هزار دانه معنی‌دار شد (جدول ۵). با توجه به نتایج حاصل از مقایسه میانگین، وزن هزار دانه در سال دوم ۸/۵۷ درصد نسبت به سال اول افزایش یافت که می‌توان اظهار داشت، به دلیل رطوبت نسبی و دمای بیشتر در مقایسه با سال اول باشد (شکل ۱). علاوه‌براین، عناصر غذایی موجود در خاک در سال

دانه می‌شود. از طرف دیگر، گیاه برای رهایی از تنش خشکی، رشد خود را سریع‌تر به پایان می‌رساند و طول دوره پر شدن دانه را کاهش می‌دهد، در نتیجه کاهش دوره رشد گیاه سبب کاهش وزن هزار دانه می‌شود (Piri et al., 2019). مشابه با نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر، کاهش وزن هزار دانه در تیمارهای تنش خشکی به‌علت کاهش جذب عناصر غذایی و کاهش فتوسنتز جاری توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Soares et al., 2018).

توجه به قطع آبیاری قبل از مرحله تشکیل دانه، کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش خشکی قابل انتظار بود. صفت وزن هزار دانه بیانگر وضعیت و طول دوره زایشی هر گیاه است و از آن‌جا که با آغاز گل‌دهی و مشخص شدن تعداد دانه در بوته، دانه‌ها شروع به دریافت و ذخیره مقادیری از مواد فتوسنتزی می‌کنند، باید بین وزن هزار دانه در حالت تنش خشکی، در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال تفاوت وجود داشته باشد. در تنش خشکی، سهم مواد فتوسنتزی اختصاص داده شده به هر چتر کاهش یافته که این موضوع موجب کاهش وزن هزار

جدول ۵- تجزیه واریانس سایر صفات اجزاء عملکرد زیره سبز
Table 5- Variance analysis of other attributes of cumin yield components

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares					
		عملکرد بیولوژیک Biological yield	وزن هزار دانه 1000-seeds weight	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس Essential oil yield
سال Year (Y)	1	178983**	4.8**	213**	851**	7.32 ^{ns}	8.76 ^{ns}
آبیاری Irrigation (I)	1	15942**	0.03*	6068**	79.7 ^{ns}	0.51 ^{ns}	2475**
Y × I	1	1986 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	12.1 ^{ns}	104 ^{ns}	2.86 ^{ns}	21.10 ^{ns}
تکرار Replication (Y×I)	8	13656	0.19	4687	215	8.97	138
اکوتیپ Ecotypes (E)	14	43134**	0.45*	1252**	1325**	35.1**	1786**
E × Y	14	1675**	0.23 ^{ns}	75.2 ^{ns}	23.9 ^{ns}	0.83 ^{ns}	1.24 ^{ns}
E × I	14	18807**	0.26 ^{ns}	26.1 ^{ns}	14.7 ^{ns}	1.94 ^{ns}	84.5**
Y × E × I	14	3745 ^{ns}	0.19 ^{ns}	24.6 ^{ns}	21.5 ^{ns}	1.36 ^{ns}	2.28 ^{ns}
خطا Error	112	3650	0.11	116	49.2	4.53	9.51
ضریب تغییرات CV		11.1	10.4	12.4	9.51	8.76	12.3

*** و **: به ترتیب معنی‌دار با احتمال خطای یک و پنج درصد، ns فاقد اثر معنی‌دار.
ns: not significant, * and **: significant at 5% and 1% levels of probability, respectively.

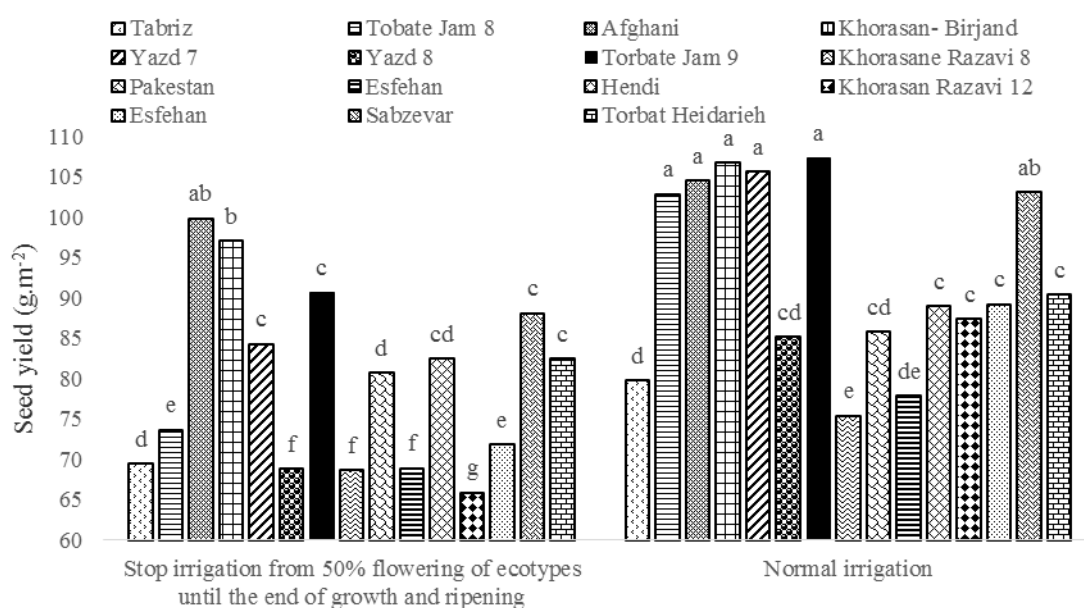
عملکرد دانه

اثر سال، آبیاری، اکوتیپ و اثرات متقابل اکوتیپ در آبیاری با احتمال خطای یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج اثرات متقابل اکوتیپ در آبیاری نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش عملکرد دانه را در تمامی اکوتیپ‌ها به‌جز اکوتیپ افغانی شد و بیشترین عملکرد دانه (۱۰۲/۷ گرم در مترمربع) مربوط به اکوتیپ

تربت جام ۸ در شرایط آبیاری نرمال بود که با اکوتیپ‌های افغانی، خراسان- بیرجند، یزد ۷، تربت جام ۹ و سبزوار در شرایط آبیاری نرمال در یک گروه آماری قرار گرفتند و کمترین مقدار این شاخص (۶۵/۸ گرم در مترمربع) مربوط به اکوتیپ خراسان رضوی ۱۲ بود (شکل ۳). علت معنی‌دار شدن اثر اصلی سال در عملکرد دانه را می‌توان این‌گونه توجیه نمود که مجموع رطوبت نسبی و دمای بیشتر در

کاهش عملکرد دانه را به همراه دارد. بسته شدن روزنه‌ها و افت فتوسنتز از یک طرف و تحت تأثیر قرار گرفتن فعالیت‌های آنزیمی و فرآیندهای مربوطه از طرف دیگر، موجب افت عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی می‌شود (Piri et al., 2019; Pouryousef et al., 2012). پیرو این امر، سایر پژوهشگران نیز بیان داشتند که تنش خشکی عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک زیره سبز را از طریق افت عملکرد فتوسنتز جاری کاهش داد (Abbasi et al., 2023).

مقایسه با سال اول می‌باشد (شکل ۱). عناصر غذایی موجود در خاک در سال دوم بیشتر از سال اول بود که همین امر سبب فراهمی عناصر مورد نیاز برای رشد گیاه شده است (جدول ۲). می‌توان گفت کاهش عملکرد دانه در تنش خشکی حاصل از کوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه و رسیدگی زودتر تیمارهای تحت تنش خشکی باشد. هنگام تنش خشکی، کاهش طول دوره فتوسنتزی، کاهش انتقال مواد حاصل از فتوسنتز جاری به دانه، (کاهش انتقال شیره پرورده) سبب کاهش سهم انتقال مجدد مواد ذخیره شده ساقه به دانه شده و در نهایت،



شکل ۴- اثرات متقابل آبیاری و اکوتیپ بر عملکرد دانه زیره سبز
Fig. 4- Interaction of irrigation and ecotypes on seed yield of cumin

بود که همین امر سبب فراهمی عناصر مورد نیاز جهت رشد گیاه شد (جدول ۲). شاخص برداشت بیان‌کننده درصد نسبی سهم عملکرد دانه از ماده خشک کل می‌باشد. در آزمایش حاضر با توجه به اینکه تنش خشکی در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی اکوتیپ‌ها تا پایان رشد اعمال شد، اعمال تنش خشکی سبب کاهش در عملکرد بیولوژیک از طریق کاهش رشد مریستم‌های انتهایی و همچنین کاهش در عملکرد دانه از طریق کاهش وزن هزار دانه و تعداد چتر در هر بوته شده است که کاهش شاخص برداشت در شرایط تنش خشکی قابل انتظار بود. در راستای نتایج به‌دست آمده، گزارش شده است که اعمال تنش خشکی موجب کاهش عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت شد.

شاخص برداشت

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر سال و اثر آبیاری با احتمال خطای یک درصد بر شاخص برداشت معنی‌دار شد (جدول ۵). شاخص برداشت در سال اول ۲۹/۸۸ درصد نسبت به سال دوم افزایش داشته است. در میان اکوتیپ‌ها، اکوتیپ هندی دارای بیشترین شاخص برداشت (۴۷/۲ درصد) و اکوتیپ‌های یزد ۷ به مقدار ۳۲/۴ درصد و سبزوار دارای کمترین مقدار شاخص برداشت (۳۱/۹ درصد) بود (جدول ۶). علت معنی‌دار شدن اثر سال در شاخص برداشت را می‌توان از جانب عملکرد بیشتر دانه در سال دوم دانست. به‌طور کلی، رطوبت نسبی و دمای هوا در مقایسه با سال اول بیشتر بود (شکل ۱). همچنین عناصر غذایی موجود در خاک در سال دوم بیشتر از سال اول

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات اجزاء عملکرد زیره سبز
Table 6- Comparison of the average attributes of cumin yield components

تیمارها Treatments	تعداد شاخه در بوته Branch number in plant	تعداد چتر در بوته Number of umbel in plant	تعداد دانه در چتر Seeds number in the umbel	وزن هزار دانه Thousand seeds weight	شاخص برداشت Harvest index	درصد اسانس Essential oil percentage
سال Year						
سال اول First year	7.37 ^{a*}	18.5 ^b	14.4 ^a	3.85 ^b	38.1 ^a	1.39 ^a
سال دوم Second year	8.26 ^a	22.0 ^a	11.4 ^b	4.18 ^a	29.3 ^b	1.34 ^a
آبیاری Irrigation						
آبیاری کامل Normal irrigation	8.22 ^a	21.2 ^a	13.3 ^a	4.23 ^a	34.5 ^a	1.54 ^b
قطع آبیاری از ۵۰ درصد گل‌دهی اکوتیپ‌ها تا پایان رشد و رسیدگی Stop irrigation from 50% flowering of ecotypes until the end of growth and ripening	7.02 ^b	19.3 ^b	11.5 ^b	3.70 ^b	34.7 ^a	1.79 ^a
اکوتیپ‌ها Ecotypes						
تبریز Tabriz	7.83 ^{cd}	20.6 ^{bc}	13.6 ^a	3.82 ^e	33.5 ^f	1.82 ^b
تربت جام ۸ Torbate Jam 8	7.41 ^d	19.6 ^d	12 ^b	4.05 ^c	37.8 ^d	1.84 ^b
افغانی Afghani	7.83 ^{cd}	20.6 ^{bc}	12.5 ^b	3.83 ^e	35.1 ^e	1.94 ^a
خراسان-بیرجند Khorasan-Birjand	7.58 ^d	19.7 ^d	10 ^c	3.86 ^e	25.7 ⁱ	1.69 ^c
یزد ۷ Yazd 7	8.5 ^b	21.6 ^b	9.5 ^c	3.91 ^d	32.4 ^{fg}	1.67 ^c
یزد ۸ Yazd 8	8.01 ^c	17.4 ^f	12 ^b	4.17 ^b	39.4 ^c	1.54 ^d
تربت جام ۹ Torbate Jam 9	8.08 ^c	19.8 ^d	12.5 ^b	4.18 ^b	35.0 ^e	1.83 ^b
تربت جام ۸ Khorasane Razavi 8	6.33 ^f	17.0 ^g	12.5 ^b	4.33 ^a	35.4 ^e	1.52 ^d
پاکستان Pakestan	7.91 ^c	20.4 ^{bc}	12 ^b	4.17 ^b	29.8 ^h	1.43 ^e
اصفهان Esfehan	7.51 ^d	18.7 ^e	12 ^b	3.98 ^{cd}	43.0 ^b	1.39 ^e
هندی Hendi	9.33 ^a	20.5 ^{bc}	12 ^b	4.35 ^a	47.2 ^a	1.83 ^b
خراسان رضوی ۱۲ Khorasan Razavi 12	6.79 ^e	20.2 ^c	12.5 ^b	3.84 ^e	33.9 ^f	1.28 ^f
اصفهان ۱۳ Esfehan 13	7.66 ^d	16.7 ^g	12.5 ^b	4.05 ^c	24.4 ^j	1.04 ^h
سبزوار Sabzevar	8.58 ^b	26.2 ^a	12 ^b	3.97 ^{cd}	31.9 ^g	1.18 ^g
تربت حیدریه Torbat Heidarieh	8.53 ^b	25.5 ^{ab}	12.5 ^b	3.62 ^f	33.1 ^f	1.17 ^g

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن با احتمال خطای پنج درصد)

* Means with similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level.

کاهش رطوبت در محیط اطراف ریشه و در شرایط رشد گیاه باعث کاهش اندازه گیاه و وزن خشک اندام‌ها، کاهش ارتفاع، تعداد چتر و تعداد شاخه‌ها شده است که این امر سبب کاهش عملکرد و شاخص برداشت می‌شود. در شرایط تنش خشکی، به دلیل کاهش وزن دانه، عملکرد دانه کاهش می‌یابد و این کاهش نسبت به کاهش عملکرد بیولوژیکی بیشتر است. به همین علت، شاخص برداشت کاهش می‌یابد (Abbasi et al., 2023).

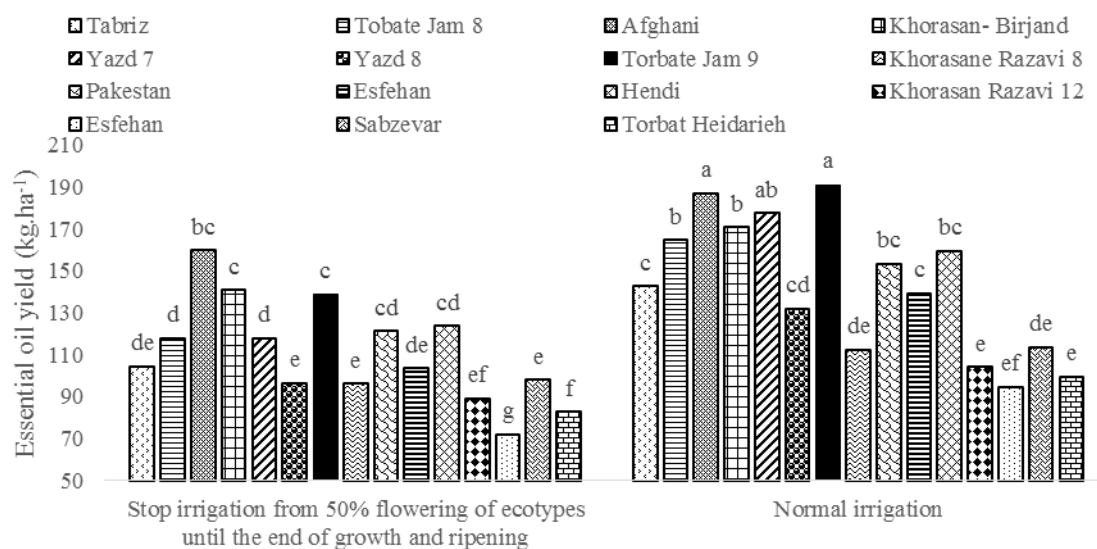
درصد و عملکرد اسانس

اثر آبیاری و اثر اکوتیپ‌ها با احتمال خطای یک درصد بر درصد اسانس معنی‌دار شد. همچنین اثر آبیاری، اکوتیپ و اثرات متقابل آن‌ها با احتمال خطای یک درصد بر عملکرد اسانس معنی‌دار شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین بیانگر آن است که تنش خشکی، درصد اسانس را نسبت به شرایط بدون تنش، ۱۶/۲ درصد افزایش داد. درصد اسانس در اکوتیپ افغانی نسبت به اکوتیپ اصفهان ۱۳/۸۶ درصد افزایش اسانس داشت (جدول ۶). نتایج عملکرد اسانس نشان داد که اکوتیپ‌ها در تیمارهای آبیاری کامل نسبت به تیمارهای تنش خشکی، دارای عملکرد اسانس بیشتری بودند. عملکرد اسانس در اکوتیپ‌های تربت جام ۹ (۱۶۶ درصد)، اکوتیپ افغانی (۱۶۰ درصد) و اکوتیپ یزد ۷ (۱۴۶ درصد) در شرایط آبیاری کامل بیشتر از عملکرد اسانس اکوتیپ اصفهان (کمترین عملکرد اسانس) در شرایط تنش خشکی بود (شکل ۵). گیاهان دارویی برخلاف اغلب گیاهان زراعی که در شرایط تنش دچار کاهش عملکرد و آسیب می‌شوند، تحت تنش تولید اسانس بیشتر و بازده اقتصادی مطلوب‌تری را به همراه دارند. تنش خشکی موجب افزایش درصد اسانس در اغلب گیاهان دارویی شده است. چون در موارد تنش، متابولیت‌های بیشتری تولید شده و این مواد، باعث جلوگیری از عمل اکسایش (اکسیداسیون) در یاخته می‌شوند. متابولیت‌های ثانویه گیاهان دارویی نتیجه بارز تنش‌ها هستند. به گونه‌ای که گزارش شده است، درصد اسانس تحت تأثیر تنش خشکی در اکوتیپ‌های مختلف زیره سبز تا ۵۶ درصد افزایش داشته است (Kazemi et al., 2017). در همین راستا گزارش شده است که درصد اسانس در میوه گیاهان دارویی خانواده چتریان، می‌تواند یک سازوکار سازگاری این گیاهان در برابر تنش خشکی باشد (Olle & Bender, 2010). با این حال، با توجه به نتایج به دست آمده

از پژوهش حاضر، درصد اسانس در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش افزایش داشت که این بیانگر آن است که اکوتیپ‌های زیره نسبت به شرایط تنش مقاوم بودند. عملکرد اسانس چون تابعی از عملکرد دانه و درصد اسانس می‌باشد و تیمارهای دارای درصد اسانس بالا، عملکرد اسانس بالایی ندارند، به همین دلیل با وجود بالا بودن درصد اسانس در شرایط تنش خشکی و به دلیل کمتر بودن عملکرد دانه، عملکرد اسانس کاهش پیدا می‌کند. زیرا با محدودیت در آبیاری در مرحله زایشی گیاه به دلیل کاهش طول دوره پر شدن دانه، گیاه با محدودیت منبع مواجه شده و مواد کمتری به دانه‌ها منتقل می‌شود. به طور کلی، اعمال هر گونه تنش کم‌آبی در طی این مراحل می‌تواند بر روابط منبع و مخزن تأثیر بسیار منفی بگذارد و سبب محدود شدن گنجایش ذخیره دانه، کاهش وزن دانه و در نهایت، کاهش عملکرد دانه شود. گیاهان دارویی با توجه به نوع گونه گیاهان و ژنوتیپ، واکنش متفاوتی نسبت به تنش خشکی دارند. بنابراین، مدیریت آب از نظر تأمین عملکرد گیاه و افزایش اسانس گیاه بسیار حائز اهمیت است (Abbasi et al., 2023). در همین راستا گزارش شده است که در شرایط تنش، درصد اسانس در زیره سبز افزایش پیدا می‌کند، اما تنش خشکی متوسط سبب افزایش درصد اسانس و کاهش عملکرد اسانس زیره سبز شد (Bahrami et al., 2023).

همبستگی صفات

نتایج همبستگی صفات بیانگر آن است که بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار (۰/۹۷۳) بین درصد اسانس و عملکرد دانه رخ داده است. همچنین درصد اسانس و شاخص برداشت (۰/۷۸۷) و وزن هزار دانه (۰/۷۲۱) همبستگی مثبت و معنی‌داری را داشتند. عملکرد دانه با تعداد چتر در بوته (۰/۳۹۶)، شاخص برداشت (۰/۲۸۷) و تعداد دانه در چتر (۰/۳۳۲) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. سایر صفات بررسی شده همبستگی معنی‌دار نداشتند. عملکرد بیولوژیک نیز با صفات ارتفاع گیاه، تعداد شاخه در بوته، تعداد چتر در بوته و تعداد دانه در چتر همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. عملکرد اسانس نیز بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با عملکرد دانه (۰/۹۸۱)، درصد اسانس (۰/۹۲۴) و وزن هزار دانه (۰/۸۲۶) داشت (جدول ۵).



شکل ۵- اثرات متقابل آبیاری و اکوتیپ بر عملکرد اسانس زیره سبز
 Fig. 5- Interaction of irrigation and ecotypes on essential oil yield of cumin

تبریز قرار گرفتند (شکل ۶). مطابق نتایج تجزیه واریانس حاصل از پژوهش حاضر، بین اکوتیپ‌ها از نظر کلیه صفات اختلاف معنی‌دار وجود داشت که نشان‌دهنده وجود تنوع زیاد بین اکوتیپ‌های مورد بررسی برای صفات اندازه‌گیری شده بود. تنوع بین اکوتیپ‌های مورد بررسی با توجه به موقعیت جغرافیایی مناطق نمونه‌برداری شده مورد انتظار بود. تجزیه خوشه‌ای برای پیدا کردن گروه‌های واقعی و همچنین کاهش تعداد داده‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر، هدف شناسایی تعداد کمتری از خوشه‌ها می‌باشد. بنابراین اکوتیپ‌هایی که شباهت بیشتری با یکدیگر دارند، در یک گروه قرار داده می‌شوند و می‌توان گفت که تجزیه خوشه‌ای، اصولی‌ترین روش برای برآورد شباهت بین افراد در یک مجموعه است (Nouraein et al., 2020). براساس نتایج حاصل از گروه‌بندی اکوتیپ‌ها با تجزیه خوشه‌ای براساس روش وارد، برش دندروگرام، اکوتیپ‌ها را به سه گروه تقسیم کرد. بیشترین تعداد اکوتیپ‌ها در گروه سوم (۷ اکوتیپ) و گروه دوم (۶ اکوتیپ) قرار گرفتند. اکوتیپ افغانی، به تنهایی گروه اول را تشکیل داد. با توجه به نوع اکوتیپ‌های قرار گرفته در یک کلاستر، می‌توان گفت اکوتیپ‌های موجود در یک کلاستر از نظر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و مولکولی شباهت زیادی به هم داشتند و اکوتیپ افغانی متفاوت از سایر اکوتیپ‌ها بود.

بررسی همبستگی بین صفات از اهمیت خاصی برخوردار است، زیرا زمانی که برای صفتی گزینش در نظر گرفته می‌شود، باید به تأثیر آن صفت بر صفات دیگر توجه شود. وجود همبستگی بالا و مثبت بین درصد اسانس، عملکرد دانه و عملکرد اسانس بسیار توجه‌کننده و قابل انتظار بود، زیرا با افزایش عملکرد دانه، به علت دسترسی مناسب گیاه به مواد مغذی و به وجود آمدن شرایط محیطی مناسب برای رشد گیاه، خصوصاً انتقال بهتر مواد آلی از ریشه به اندام هوایی و گسترش تشکیل دانه، اسانس موجود در دانه نیز افزایش می‌یابد. نتایج بیانگر آن است که عملکرد دانه تحت تأثیر تعداد چتر در بوته، شاخص برداشت و تعداد دانه در چتر قرار گرفته است و پیرو این امر، سایر پژوهشگران گزارش کردند که عملکرد دانه زیره سبز تحت تأثیر تعداد چتر در بوته و تعداد دانه در چتر قرار دارد و همبستگی مثبتی را گزارش کردند (Moslemi et al., 2023).

تجزیه کلاستر

دندوگرام حاصل از تجزیه کلاستر اکوتیپ‌ها را به سه خوشه گروه‌بندی کرد که در خوشه اول اکوتیپ افغانی، در خوشه دوم اکوتیپ‌های اصفهان، اصفهان ۱۳، خراسان رضوی ۱۲، خراسان رضوی ۸، سبزوار، یزد ۸، در خوشه سوم اکوتیپ‌های تربت حیدریه، تربت جام ۹، تربت جام ۸، پاکستان، یزد ۷، خراسان-بیرجند و

جدول ۷- همبستگی عملکرد دانه و سایر صفات

Table 7- Correlation of grain yield and other traits

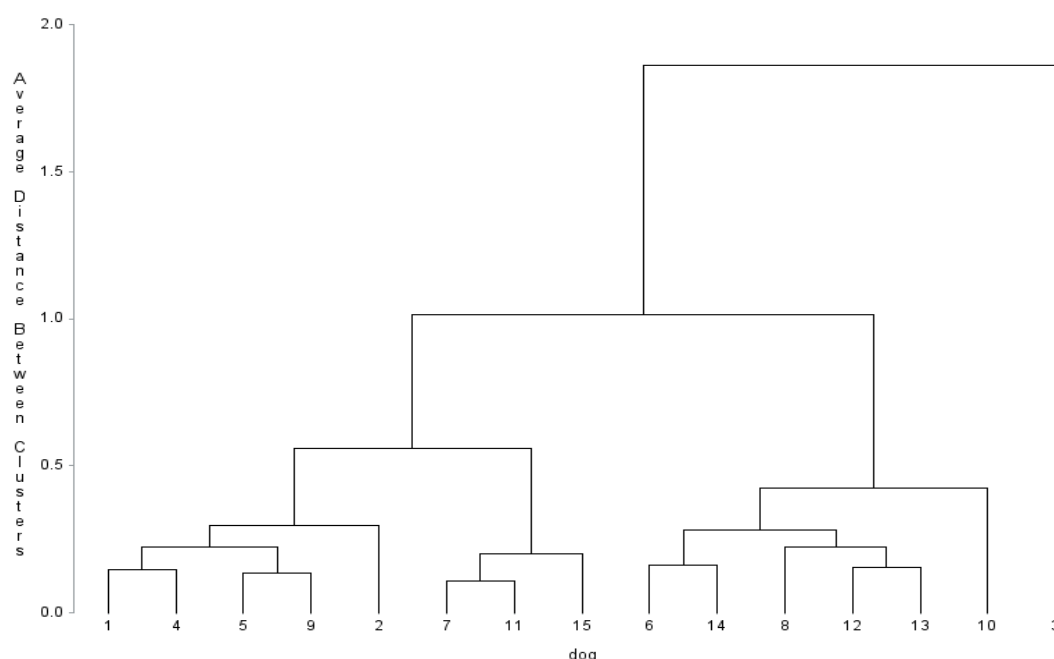
n=60									
ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه در بوته Branch number in plant	تعداد چتر در بوته Number of umbel in plant	تعداد دانه در چتر Seeds number in the umbel	عملکرد بیولوژیک Biological yield	وزن هزار دانه Thousand seeds weight	شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Seed yield	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس Essential oil yield
1	0.416 ^{ns}	0.386 ^{ns}	0.127 ^{ns}	0.234 ^{**}	0.168 ^{ns}	-0.122 ^{ns}	-0.053 ^{ns}	0.345 ^{ns}	0.442 ^{ns}
تعداد شاخه در بوته Branch number in plant	1	0.378 ^{**}	0.055 ^{ns}	0.206 ^{**}	0.191 ^{ns}	0.099 ^{ns}	0.192 ^{ns}	0.283 ^{ns}	0.315 ^{ns}
تعداد چتر در بوته Umbel number in plant		1	0.224 ^{ns}	0.824 ^{**}	0.106 ^{ns}	0.211 ^{**}	0.396 ^{**}	0.411 ^{**}	0.689 ^{**}
تعداد دانه در چتر Seeds number in the umbel			1	0.698 ^{**}	0.193 ^{**}	0.104 ^{**}	0.232 ^{**}	0.549 ^{**}	0.703 ^{**}
عملکرد بیولوژیک Biological yield				1	0.006 ^{ns}	0.184 ^{ns}	0.121 ^{ns}	0.659 ^{**}	0.675 ^{**}
وزن هزار دانه Thousand seeds weight					1	-0.039 ^{ns}	0.270 ^{ns}	0.721 ^{**}	0.826 ^{**}
شاخص برداشت Harvest index						1	0.287 ^{**}	0.787 ^{**}	0.787 ^{**}
عملکرد دانه Seed yield							1	0.973 ^{**}	0.981 ^{**}
درصد اسانس Essential oil percentage								1	0.924 ^{**}
عملکرد اسانس Essential oil yield									1

ns: not significant, **: significant at 1% levels of probability, respectively

معنی دار با احتمال خطای یک درصد. ns: فاقد اثر معنی دار.

در پنج گروه قرار گرفتند، درحالی‌که خوشه‌های اول و دوم، حداکثر عملکرد دانه و برخی اجزاء عملکرد را نشان دادند و خوشه‌های چهارم و پنجم، حداکثر متغیرهای مقاومت به بیماری را نشان دادند (Nouraein et al., 2020).

احتمال می‌رود که اصل و منشأ اکوتیپ‌های قرار گرفته در یک گروه یکسان بوده و در اثر گذشت زمان و تحت تأثیر شرایط محیطی از یکدیگر تا حدودی فاصله گرفتند. بنابراین، اکوتیپ افغانی را می‌توان به‌عنوان اکوتیپ برتر معرفی کرد. نتایج کلاستر محققان دیگر در بررسی اکوتیپ‌های زیره سبز نشان داد که ۶۴ اکوتیپ بررسی شده



شکل ۶- دندوگرام حاصل از تجزیه کلاستر اکوتیپ‌های زیره سبز

Figure 6- Dandogram resulting from cluster analysis of cumin ecotypes

شماره‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، به‌ترتیب اکوتیپ‌های تبریز، تربت جام ۸، افغانی، خراسان-بیرجند، یزد ۷، یزد ۸، تربت جام ۹، خراسان رضوی، پاکستان، اصفهان، اصفهان، هندی، خراسان رضوی، اصفهان، سبزوار، تربت حیدریه می‌باشد
Numbers 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, according to the ecotypes of Tabriz, Torbat Jam 8, Afghani, Khorasan-Birjand, Yazd 7, Yazd 8, Torbat Jam 9, Khorasan Razavi, Pakistan, Isfahan, Indian, Khorasan Razavi, Isfahan, Sabzevar, Torbat Heydarieh.

کرد. بیشترین درصد اسانس مربوط به اکوتیپ افغانی بود. اکوتیپ خراسان رضوی ۱۲ نیز اکوتیپ حساس به تنش خشکی بود، زیرا کمترین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را در شرایط تنش خشکی به همراه داشت. نتایج به‌دست آمده از تجزیه کلاستر، اکوتیپ‌ها را به سه خوشه گروه‌بندی کرد که در خوشه اول اکوتیپ افغانی، در خوشه دوم اکوتیپ‌های اصفهان، اصفهان ۱۳، خراسان رضوی ۱۲، خراسان رضوی ۸، سبزوار، یزد ۸، و در خوشه سوم اکوتیپ‌های تربت حیدریه، هندی، تربت جام ۹، تربت جام ۸، پاکستان، یزد ۷، خراسان-بیرجند و تبریز قرار گرفتند. به‌طور کلی، تنش خشکی کاهش عملکرد اکوتیپ-

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر، حاکی از آن است که اثرات متقابل تنش خشکی و اکوتیپ بر ارتفاع گیاه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه اختلاف معنی‌دار داشت که این اختلاف احتمالاً ناشی از تفاوت ساختار ژنتیکی اکوتیپ‌ها در شرایط تنش و شرایط نرمال می‌باشد و تنش خشکی سبب کاهش عملکرد و صفات مورد مطالعه در تمامی اکوتیپ‌های زیره سبز شد. اما در اکوتیپ افغانی، عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی تفاوت معنی‌داری نداشت و می‌توان این اکوتیپ را به‌عنوان اکوتیپ مقاوم به تنش خشکی معرفی

های مورد مطالعه زیره سبز را به همراه داشت، اما در این میان، اسانس مطلوب معرفی کرد. اکوتیپ افغانی را می توان به عنوان اکوتیپ مقاوم به تنش و دارای

References

1. Abbasi, N., Sohrabi, Y., & Kiani, H. (2023). Using tragacanth gum mitigated the effects of drought stress on the black cumin (*Nigella sativa*) plant. *Agricultural Water Management*, 84(1), 86-109. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108406>
2. Afshar, A. K., Baghizadeh, A., & Mohammadi-Nejad, G. (2016). Evaluation of relationships between morphological traits and grain yield in cumin (*Cuminum cyminum* L.) under normal and drought conditions. *Journal of Crop Breeding*, 18, 160-165.
3. Allaq, A. A., Sidik, N. J., Abdul-Aziz, A., & Ahmed, I.A. (2020). Cumin (*Cuminum cyminum* L.), a review of its ethno pharmacology, photochemistry. *Biomedical Research and Therapy*, 7(9), 4016-4021. <https://doi.org/10.15419/bmrat.v7i9.634>
4. Baghbani-Arani, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mashhadi-Akbar-Boojari, M., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2017). Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. *Industrial Crops and Products*, 109(15), 346-357. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.049>
5. Bahrami, H., Armin, M., Jamimoeini, M., & Abhari, A. (2023). The effect of different irrigation cut-off times on yield and yield components of cumin in weed interference conditions. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 4(2), 291-304. <https://doi.org/10.22034/csrar.2022.291654.1098>
6. Bahraminejad, A., Mohammadi-Nejad, G.H., & Khadir, M. (2011). Genetic diversity evaluation of cumin (*Cuminum cyminum* L.) based on phenotypic traits. *Australian Journal of Crop Science*, 5, 301-307.
7. Batool, M., El-Badri, A. M., Hassan, M.U., Haiyun, Y., Chunyun, W., Zhenkun, Y., Jie, K., Wang, B., & Zhou, G. (2023). Drought stress in *Brassica napus*: Effects, tolerance mechanisms, and management strategies. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42(1), 21-45. <https://doi.org/10.21608/jpp.2015.52096>
8. Ebrahimiyan, M., Ebrahimi, M., Mortazavian, S.M.M., & Ramshini, H. (2017). The structure and genetic diversity of Iranian cumin populations (*Cuminum cyminum* L.) using SCoT molecular markers. *New Genetic*, 2(12), 285-292.
9. Eikani, M. H., Golmohammad, F., Mirza, M., & Rowshanzamir, S. (2007). Extraction of volatile oil from cumin (*Cuminum cyminum* L.) with superheated water. *Journal of Food Process Engineering*, 30, 255-266. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2007.00117.x>
10. Kazemi, H., Mortazavian, S. M. M., & Ghorbani Javid, M. (2017). Physiological responses of cumin (*Cuminum cyminum* L.) to water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(4), 1099-1113. (In Persian with English abstract).
11. Mortazavian, S. M. M., Safari, B., Sadat Noori, S.A., & Foghi, B. (2018). Evaluation of diverse cumin (*Cuminum cyminum* L.) ecotypes for seed yield under normal and water stress condition. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20(1), 359-372.
12. Moslemi, E., Akbarian, M. M., Ravari, S.Z., Yavarzadeh, M.R., & ModaftehBehzadi, N. (2023). Investigation of the effect of drought stress on yield and yield components of *Cuminum cyminum* L. ecotypes in climatic conditions of Kerman province. *Eco Phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 10(4), 107-119. (In Persian).
13. Nouraein, M., Khavari-Khorasani, S., & Akhavan, M. (2020). Screening cumin (*Cuminum cyminum* L.) landraces for resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. cumini. *Australasian Plant Pathology*, 49(1), 295-305. <https://doi.org/10.1007/s13313-020-00707-7>
14. Olle, M., & Bender, I. (2010). The content of oils in umbelliferous crops and its formation. *Agronomy Research*, 8(3), 687-696.
15. Omidbaigi, R. (2007). Production and Processing of Medicinal Plants (Vol. II). Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production. Astan Ghods Publication, Mashhad, Iran. 438 p. (In Persian)
16. Piri, R., Balouchi, H., & Salehi, A. (2019). Improvement of cumin (*Cuminum cyminum*) seed performance under drought stress by seed coating and bio priming. *Scientia Horticulturae*, 257(1), 357-384. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108667>

17. Pouryousef, M., Tavakoli, A., Maleki, M., & Barkhordari, K. (2012). Effects of drought stress and harvesting time on grain yield and its components of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *National Congress on Medicinal Plants*, 315, 16-17. (In Persian).
18. Rasool, A., Bhat, K. M., Sheikh, A., Jan, A., & Hassan, S. (2020). Medicinal plants: Role, distribution and future. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(2), 2111-2114.
19. Soares, C., Carvalho, M. E., Azevedo, R. A., & Fidalgo, F. (2018). Plants facing oxidative challenges—A little help from the antioxidant networks. *Environmental and Experimental Botany*. 161, 4-25.
20. Soorni, J., Roustakhiz, J., Salimi, K. H., & Noori, E. (2021). Effects of drought stress on yield and yield-related traits, antioxidant enzymes and essential oil content of some cumin (*Cuminum cyminum* L.) ecotypes. *Environmental Stress in Crop Science*, 13(4), 1125-1134. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22077/escs.2020.2395.1624>
21. Tabatabaei, S. M., Mohammadi-Nejad, G., & Yousefi, K. (2014). Yield assessment and drought tolerance indices in cumin ecotypes. *Journal of Water Research in Agriculture*, 28(1), 163-170. (In Persian with English abstract).



Agricultural Drought Assessment using Remote Sensing Data (Case study: Tuyserkan County)

Maedeh Malmir¹, Kamran Shayesteh^{2*} & Iman Pazhouhan³

1 and 2- M.Sc. Student and Assistant Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran, respectively.

3- Assistant Professor, Department of Natural Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran.

(*- Corresponding author's Email: k.shayesteh@malayeru.ac.ir)

Received: 12-11-2023
Revised: 18-03-2024
Accepted: 18-03-2024
Available Online: 01-12-2024

How to cite this article:

Malmir, M., Shayesteh, K., & Pazhouhan, I. (2024). Agricultural drought assessment using Remote Sensing Data (Case study: Tuyserkan county). *Journal of Agroecology*, 16(3), 513-531. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/agry.2024.85155.1173>

Introduction

In recent years, with the growing significance of drought and climate change, there is an increasing need for a well-structured plan to implement effective management strategies and monitor drought conditions. Considering the importance of investigating agricultural drought in relation to the yield of agricultural products and the fact that agriculture in Iran has always been affected by the amount and distribution of inappropriate rainfall, and climate change has caused problems in the cultivation conditions in the country by causing anomalies in temperature and precipitation; in recent years, due to the lack of suitable moisture conditions in the soil and the decrease of rainfall in the spring season, the amount of production and the quality of products have suffered serious threats, among these threats is the threat to human food security and, by nature, social and economic problems. Effective monitoring at the right moment can greatly reduce damage to agricultural production. The use of remote sensing and satellite imagery as effective tools for monitoring agricultural drought has gained significant attention from researchers. Remote sensing allows for the study of drought's effects on plant growth, leading to more accurate and impactful results in drought modeling.

Materials and Methods

Tuyserkan city covers an area of 1,556 square kilometers, 7.98% of the area of Hamedan province, in the west of Iran, and it is located along the Zagros mountain range. In this study, the goal is to evaluate the spatial and temporal patterns of agricultural drought in Tuyserkan County using vegetation coverage indicators derived from satellite data, including the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), the Vegetation Condition Index (VCI), the Plant Health Index (VHI), and the Thermal Condition Index (TCI), over a 20-year period and at seasonal and annual scales. The satellite data used in this study are from MODIS imagery. These images are a suitable tool for drought monitoring due to the power of proper spatial separation and providing bands with different wavelengths. After pre-



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

 <https://doi.org/10.22067/agry.2024.85155.1173>

processing these images using ENVI software, surface temperature, and rainfall data (used by interpolation method) are used as effective data in the drought process in the study area during this period.

Results and Discussion

The Vegetation Condition Index (VCI) has a significant correlation with different seasons, as well as with the Standardized Precipitation Index (SPI). Therefore, it can be stated with confidence that this index can be used to monitor temporal and spatial changes in agricultural droughts in the study area with acceptable accuracy. In fact, the months from the fourth to the sixth are the best time for the growth and development of plants because whatever the effect of precipitation, it will show itself during this period, and the highest correlation between the SPI and VCI for the fourth to the sixth months. However, in the VHI for the seventh to ninth months, the meaningful correlation could be because of the fact that the vegetation of Tuyserkan is mostly farmland (ending in October) and orchard (with a high amount of walnuts and almonds, which continue until September). Rahimzadeh et al. (2008) found the best correlation between the VCI and SPI for one to three months in the monitoring of droughts in Northwest Iran, and in this study, the correlation between the VCI and SPI for one to nine months was obtained. Generally, the VCI index provides better results for measuring precipitation, especially in areas that are climatically heterogeneous. As a result, the VCI was selected as the best index for monitoring agricultural droughts in the region.

Conclusion

Based on the calculations performed, the climate of the region matches the seasonality of the Vegetation Coverage Index (VCI) better. Generally, the results of the VCI and SPI indices largely confirm the results of the NDVI index. As a result, the VCI index was chosen as the best index for monitoring agricultural droughts in Tuyserkan County. Additionally, the results derived from the use of the vegetation index VCI indicate the state of droughts in 2008 and 2014 and the state of precipitation in 2007 and 2018 compared to the study period in the region.

Keywords: Standardized Precipitation Index, Thermal Condition Index, Vegetation Condition Index



مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۵۳۱-۵۱۳

ارزیابی خشک سالی کشاورزی با استفاده از داده های سنجش از دور (مطالعه موردی: شهرستان

تویسرکان)

مائه مال میر^۱، کامران شایسته^{۲*} و ایمان پژوهان^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۲

چکیده

امروزه با توجه به اهمیت خشک سالی و تغییر اقلیم، نیازمند یک برنامه منظم برای ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب و پایش خشک سالی جهت به حداقل رساندن زیان های کشاورزی می باشیم. با استفاده از تکنیک سنجش از دور می توان خشک سالی را از طریق اثراتی که روی گیاهان دارد، مطالعه و به نتایج دقیق تر و مؤثرتری برای مدل سازی خشک سالی دست یافت. هدف این تحقیق، ارزیابی الگوهای مکانی و زمانی خشک سالی پوشش گیاهی باغی و باغی کشاورزی شهرستان تویسرکان با استفاده از شاخص های پوشش گیاهی به دست آمده بر مبنای داده های ماهواره ای MODIS شامل: شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)، شاخص سلامت گیاهی (VHI)، شاخص وضعیت دما (TCI)، برای دوره زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ و در مقیاس های زمانی فصلی، چهار ماهه، شش ماهه و سالانه است. نتایج حاصل از همبستگی پیرسون بین شاخص های ماهواره ای و مقادیر شاخص بارش استاندارد (SPI) نشان داد که بین شاخص VCI ماه های آوریل تا ژوئن سال و SPI ماه های ژانویه تا سپتامبر همبستگی برابر با ۰/۵۹۹ و بین شاخص VCI در ماه های آوریل تا ژوئن و SPI ماه های ژانویه تا ژوئن همبستگی (۰/۵۷۰) معنی داری وجود دارد. بر مبنای محاسبات انجام شده، شرایط اقلیمی محدوده با نتایج حاصل از شاخص گیاهی VCI در مقیاس فصلی، تطابق بیشتری دارد. به طور کلی، نتایج شاخص VCI و SPI تا حدود زیادی نتایج شاخص NDVI را تأیید می کند. در نتیجه، شاخص VCI به عنوان بهترین شاخص جهت پایش خشک سالی کشاورزی شهرستان تویسرکان انتخاب گردید. همچنین، شاخص گیاهی VCI نشان دهنده وضعیت خشک سالی در سال های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ و وضعیت ترسالی در سال های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۸ نسبت به دوره مطالعاتی در منطقه بود.

واژه های کلیدی: شاخص بارش، شاخص پوشش گیاهی، شاخص دما

مقدمه

مطالعات متعددی نشان می دهد که خشک سالی باعث کاهش شدید محصولات کشاورزی در سراسر جهان شده است. به عبارتی، خشک سالی بخش های مختلف اقلیم، منابع آب و کشاورزی را تحت تأثیر قرار داده است. توجه به خشک سالی کشاورزی به علت ارتباط تنگاتنگ آن با تولید محصولات کشاورزی اهمیت بیشتری می یابد (Asong et al., 2018; Gidey et al., 2018). از آن جا که خشک سالی یک رویداد مکرر آب و هوایی است که به طور کلی، به عنوان

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

۳- استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

(*) نویسنده مسئول: (Email: k.shayesteh@malayeru.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/agry.2024.85155.1173>

یک دوره زمانی طولانی با کمبود آب و افزایش دمای غیرعادی نسبت به میانگین آماری چند ساله تعریف شده است (Schwarz et al., 2020)، پایش خشکسالی اهمیت بسیار زیادی در ارائه اطلاعات علمی در تدوین سیاست و کاهش خطر خشکسالی دارد. به همین دلیل، پایش و مدیریت خشکسالی امری مهم و حیاتی می‌باشد، زیرا پایش مؤثر و به‌موقع می‌تواند به‌میزان زیادی در به حداقل رساندن زیان‌های کشاورزی مفید باشد (He et al., 2020; West et al., 2020). در گذشته، رویکرد پایش خشکسالی براساس پارامترهای مختلف هواشناسی و هیدرولوژیکی و استفاده از شاخص‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی بوده است که این روش‌ها به‌علت استفاده از آمار ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری به‌صورت نقطه‌ای می‌باشند و از طرفی، پراکندگی ایستگاه‌ها محدودیت‌هایی را در بررسی خشکسالی به‌وجود می‌آوردند (Karimi & Shahidi, 2018). با توجه به اهمیت بررسی خشکسالی کشاورزی در ارتباط با بازدهی محصولات کشاورزی و اینکه کشاورزی در ایران همواره تحت تأثیر مقدار و توزیع نامناسب بارش بوده و تغییر اقلیم با ایجاد ناهنجاری‌های دما و بارش، شرایط کشت در کشور را با مشکلاتی روبه‌رو کرده، در سال‌های اخیر به‌علت نبود شرایط رطوبتی مناسب در خاک و کاهش بارندگی در فصل بهار، مقدار تولید و کیفیت محصولات دچار تهدیدات جدی شده است که از جمله این تهدیدات، تهدید امنیت غذایی انسان و به تبع آن مشکلات اجتماعی و اقتصادی می‌باشد. تحلیل بیان انرژی و رطوبتی اکوسیستم‌ها، به‌ویژه توجه به پدیده خشکسالی ضرورتی است که در مدیریت و اقتصاد کشاورزی جلوه می‌یابد. البته کشور ایران نیز همواره با خشکسالی‌ها عجين بوده و هدف کلی پایش خشکسالی، تهیه و تأمین اطلاعاتی است که مردم و سازمان‌های مسئول در جهت انجام فعالیت‌هایی که باعث افزایش ضریب اطمینان برنامه‌ریزی‌ها و کاهش خسارت‌های ناشی از خشکسالی می‌شوند را تشویق کند. بیشتر سیستم‌های پایش خشکسالی عمدتاً بر مبنای داده‌های هواشناسی استوار است که این سیستم‌ها به‌عنوان مرحله نخست در ارزیابی خشکسالی نقش ارزشمندی را ایفا می‌کنند (Veisi et al., 2018; Soleimani et al., 2018). از این‌رو، برای ایمن‌سازی و غذای کافی برای جمعیت جهان که به‌سرعت در حال رشد است، بیش از هر زمان دیگری به نوآوری‌های تکنولوژیک نیاز است. پیشرفت‌های علمی منجر به درک بهتری از انواع مختلف اجزاء سیستم کشاورزی، از سلول تا سطح میدانی شده است (Jinha et al., 2021). امروزه با به

روی کار آمدن ماهواره‌های سنجش‌ازدور، می‌توان برآورد بهتری از خشکسالی داشت، زیرا در مشاهدات ماهواره‌ای، از نظر مکانی با چالش‌های مشاهدات میدانی از جمله فقدان مقیاس مکانی مواجه نیستیم و به‌دلیل حصول برداشت و پهنه‌وسیعی را که در بر می‌گیرد، در بسیاری از مطالعات خشکسالی رو به افزایش است. بنابراین، ابزار پایش خشکسالی را به‌صورت وسیع و گسترده فراهم آورده و می‌توان به نتایج دقیق‌تر و مؤثرتری برای مدل‌سازی خشکسالی دست یافت (Gidey et al., 2018; Farzaneh et al., 2021; Veisi et al., 2018) دارا بودن شاخص‌های خشکسالی قابل اعتماد و سازگار مبتنی بر سنجش‌ازدور همراه با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نقش مهمی در نقشه‌برداری و نظارت بر خشکسالی کشاورزی ایفا می‌کند. اگر چه خشکسالی‌های کشاورزی پیچیده و تحت تأثیر پارامترهای مختلف آب‌وهوایی جهانی هستند، اما چارچوب گسترده اتخاذ شده در استخراج شاخص‌های گیاهی مختلف از داده‌های ماهواره‌ای سری زمانی، می‌تواند با تغییرات جزئی و متناسب با شرایط محلی در ارزیابی و پایش خشکسالی کشاورزی استفاده شود (Sandeep et al., 2021). فناوری سنجش‌ازدور به‌طور گسترده در بسیاری زمینه‌ها استفاده می‌شود، که طیف وسیعی از مشاهدات را به‌موقع جمع‌آوری کرده و روش‌های جمع‌آوری داده‌ها را با محدودیت کمتری بکار می‌گیرد که کشاورزی یکی از مهم‌ترین زمینه‌ها برای اعمال و تحقیق سنجش‌ازدور است. از طرفی، امکان به‌دست آوردن اطلاعات در مورد کشاورزی را به‌طور منظم با رویکردهای اندازه‌گیری کمترین حضور در محل فراهم می‌کند، ولی داده‌های صحرایی کافی برای پایش کشاورزی با سنجش‌ازدور بسیار مهم است. این روش‌ها برای پایش بررسی وضعیت رشد و بازدهی و سلامت محصولات کشاورزی معمولاً با ترکیبی از باندها و ویژگی‌های مختلف مشخص می‌شوند که برای ایجاد ارتباط با پارامترهای بیوفیزیکی و یا اکوفیزیولوژیکی محصول، مانند شاخص سطح برگ (LAI)، محتوای کلروفیل، محتوای آب گیاه و غیره استفاده می‌شوند. براساس این ویژگی‌ها و مزایا، سنجش‌ازدور پتانسیل قابل توجهی در زمینه ارزیابی سلامت محصولات کشاورزی دارد. بنابراین، پایش رشد محصول و تخمین بازدهی، عایدی‌های اصلی سنجش‌ازدور کشاورزی هستند که نظارت بر رشد محصول و تخمین بازدهی با مطالعه پارامترهای فیزیولوژیکی و ساختاری ارتباط نزدیکی با شرایط رشد محصول دارند،

محقق می‌شود (Lucas et al., 2020). در این میان، با دانش سنجنش‌ازدور به مشاهده تدریجی سطوح زمین و دستیابی سریع به اطلاعات در مقیاس گسترده با صرف زمان و هزینه کم و استفاده از باندهای طیفی موجود در ماهواره، اطلاعاتی دقیق و جامع در هر بازه زمانی و مکانی مهیا می‌شود و این داده‌ها به دلیل داشتن ویژگی‌هایی مانند چند زمانه بودن، چند طیفی بودن، قابلیت تفکیک مکانی و رادیومتریکی مناسب و متنوع و دید وسیع و یکپارچه، قادر به تفکیک عارضه‌ها و پدیده‌های گوناگون کشاورزی از جمله سطح، نوع و الگوهای زمانی و مکانی کشت هستند. مطالعه مکان‌های زیر کشت با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای موجود و تهیه نقشه اراضی زیر کشت آن در هر سال می‌تواند دولت را در مدیریت بهینه این اراضی و برنامه ریزی برای توزیع محصولات کمک کند (Hashemi et al., 2021; Darvand et al., 2021; Mousavi et al., 2021). تصاویر ماهواره‌ای در مطالعات خشک‌سالی، تطابق بسیار خوبی با روش‌های تحلیل آب‌وهوایی نشان می‌دهند که یکی از مؤثرترین شاخص‌ها در بررسی تغییرات و پایش پوشش گیاهی، شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI)^۱ است که به عنوان شاخص سلامت تراکم پوشش گیاهی مطرح می‌شود. این شاخص به طور گسترده‌ای برای ارزیابی پوشش گیاهی، برآورد سلامت محصولات کشاورزی و تشخیص خشک‌سالی مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین برای بررسی تأثیر کاهش بارش بر خشک‌سالی کشاورزی از شاخص‌های VCI^۲ و NDVI و شاخص SPI^۳ می‌توان استفاده نمود و برای برآورد خشک‌سالی کشاورزی از طریق سنجنش‌ازدور، شاخص VCI روش بسیار مناسبی بوده و در مناطقی که ایستگاه‌های هواشناسی به صورت پراکنده هستند و یا اصلاً وجود ندارد، می‌توان از این مدل برای برآورد خشک‌سالی استفاده کرد. زیرا تعداد نقاط نمونه‌برداری در تصاویر ماهواره‌ای بسیار بیشتر از تعداد ایستگاه‌های هواشناسی است. از طرفی، با استفاده از تکنیک‌های سنجنش‌ازدور همراه با GIS^۴ می‌توان با به کارگیری شاخص‌های VCI، VHI^۵ و NDVI کنترل بهتری بر خشک‌سالی کشاورزی داشت. این داده‌ها تقریباً تمام جنبه‌های انتشار خشک‌سالی را نشان می‌دهند و درک ما را از این پدیده

آسان‌تر می‌کند (Gidey et al., 2018; Veisi et al., 2018; Soleimani et al., 2018). به طور کلی، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی برای مقاصد پایش سلامتی و تنش‌های محصولات زراعی می‌تواند یکی از مهم‌ترین کاربردهای سنجنش‌ازدور باشد. برخی پدیده‌ها مانند کاهش میزان سبزیگی در گیاهان، حجم آب در گیاه، کاهش دمای سطح به علت فتوسنتز و مانند آن‌ها می‌توانند سبب تغییر در بازتاب نور از گیاه در یک یا چند باند غیرمرئی یا مرئی شوند. با توجه به تغییرات باندهای مختلف، شاخص‌هایی به صورت نسبی توسط پژوهشگران ارائه شده‌اند که این شاخص‌ها، تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه، پوشش کلی گیاه، زیست‌توده، رطوبت خاک، محتوای آب داخل گیاه و تنش‌های موجود در گیاه است که می‌توان با جمع‌بندی این شاخص‌ها، توصیه‌هایی را برای مدیریت کشاورزی ارائه کرد. این نوع تحلیل‌ها با استفاده از روش‌های سنجنش‌ازدور و تصاویر ماهواره‌ای موجود، این امکان را فراهم آورده است که با هزینه‌ای مقرون به صرفه، هر شش روز یک بار بتوان در هر ۱۰۰ مترمربع از زمین متوجه شد که احتمالاً چه اتفاقی برای گیاه رخ داده است. این روش نسبت به بازدید زمینی برای مزارع بزرگ (خصوصاً ۵۰ هکتار به بالا) مزیت چشم‌گیری دارد. هرچه گیاه سالم‌تر و متراکم‌تر باشد، بازتاب آن در طول موج نزدیک به مادون قرمز بیشتر می‌شود و بازتاب آن در طول موج قرمز کاهش می‌یابد (Iran Space Organization, 2019).

از آنجایی که تغییرات اقلیم موجب خشک‌سالی در چند دهه اخیر شده و محصولات کشاورزی را با افت حاصلخیزی مواجه کرده است، بنابراین، لازم است به بررسی خشک‌سالی پرداخت که منطقه مورد مطالعه ما شهرستان تویسرکان مصون از تغییر اقلیم با ایجاد ناهنجاری‌های دما و بارش، نمی‌باشد و شرایط کشت در این شهرستان با توجه به اینکه عمده درآمد مردم این شهرستان، کشاورزی و دامداری است را با مشکلاتی مواجه کرده است، زیرا متغیر اصلی خشک‌سالی، بارش می‌باشد که به عنوان منبع اصلی آب بیشتر امور کشاورزی و دامی به آن وابسته است را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با توجه به اینکه تاکنون این تحقیق در این منطقه انجام نگرفته است، در نتیجه نیازمند به بررسی ارزیابی خشک‌سالی در چند دهه اخیر می‌باشیم و از طرفی، خصوصیات اراضی کشاورزی از جمله گستردگی سطح پوشش، اجرای پروژه در جبهه‌های کاری مختلف، اولویت اجرایی بخش‌های مختلف و ...، استفاده از ابزارهای کمکی و فناوری

- 1-Normalized Difference Vegetation
- 2-Vegetation Condition Index
- 3-Standardized Precipitation Index
- 4- Geographical Information System
- 5- Vegetation Health Index

است. گندم، جو و کلزا نیز در شهرستان، بیشترین سطح زیر کشت را دارند (Asong et al., 2018).

مشخصات تصاویر

داده‌های دورسنجی مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های سنجنده MODIS^۱ از سری تصاویر ماهواره Terra می‌باشد. بدین منظور، محصول MOD13Q1,006 از سطح ۳ حسگر MODIS انتخاب شد که اثرات ابر را به حداقل می‌رساند. محصول MOD13Q1,006 که داده‌های NDVI و داده‌های شاخص‌های گیاهی یعنی VCI و VHI را در وضوح فضایی ۲۵۰ متر ارائه داده و شامل موزاییکی از تصاویر از مشاهدات روزانه بازتاب‌های دو طرفه در طول ۱۶ روز است و محصول MOD11A2,006، داده‌های دمای سطح زمین یعنی (TCI) را در وضوح فضایی یک کیلومتر ارائه می‌دهد که این شامل موزاییکی از تصاویر از مشاهدات روزانه بازتاب‌ها در طول هشت روز هستند و در قالب فایل‌ها با فرمت hdf^۲ می‌باشند که از سایت <https://search.earthdata.nasa.gov> دانلود شده‌اند (جدول ۱). برای شاخص میزان بارش (SPI) از داده CHIRPS نسخه ۲ نهایی از ۱۱ ایستگاه هواشناسی استفاده گردید. این تصاویر و داده‌ها برای سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ (تمامی ماه‌های سال) استخراج شده است و به دلیل قدرت تفکیک مکانی ۰/۰۵ درجه و ارائه باندهایی با طول موج‌های مختلف، ابزار مناسبی در زمینه پایش خشکسالی هستند (Vijith et al., 2020).

شاخص‌های خشکسالی

الف) شاخص مبتنی بر داده‌های زمینی: شاخص زمین مرجع برای تصاویر ماهواره‌ای، شاخص SPI بوده است که بر مبنای آمار ایستگاه‌های زمینی (روش درون‌یابی) محاسبه شد. این شاخص، یکی از شاخص‌های اساسی است که برای محاسبه آن، نیازمند داشتن میانگین و انحراف معیار درازمدت مقادیر بارندگی برای دوره‌های مورد مطالعه است.

های نوین برای اعمال مدیریت مطلوب در خشکسالی امری اجتناب ناپذیر می‌باشد که استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور و تصاویر ماهواره ای به‌عنوان یک ابزار مفید جهت پایش مکانی و زمانی خشکسالی و همچنین، شناسایی الگوهای اقلیمی و روابط میان عناصر مختلف اقلیمی با یکدیگر می‌تواند کاربرد داشته باشد. در ارتباط با کاربردی بودن تصاویر مادیس در بررسی خشکسالی مطالعات زیادی انجام گرفته است، حمزه و همکاران (Hamzeh et al., 2016) خشکسالی کشاورزی را با استفاده از شاخص NDVI از سنجنده MODIS در استان مرکزی بررسی کردند و نتایج نشان داد که شاخص مذکور برای پایش خشکسالی کشاورزی مناسب‌تر است، همچنین نتایج نشان داد که تصاویر MODIS می‌تواند در تحلیل خشکسالی کشاورزی بسیار کارآمد باشد. در این رابطه، تحقیقات متعددی انجام گرفت که از آن جمله مطالعات، کریمی و همکاران (Karimi & Shahidi, 2017) در حوزه آبخیز قره سو، طاعت‌زاده (Taatzadeh et al., 2021) در شهرستان چرام، فانک و همکاران (Funk et al., 2009) در زینب‌آوره، یوهاس و همکاران (Yuhas et al., 2009) در چین اشاره کرد. به این دلیل، در این پژوهش سعی شد، از قابلیت‌ها و کارایی شاخص پوشش گیاهی NDVI با بهره‌گیری از سنجنده MODIS در مطالعه تغییرات خشکسالی کشاورزی شهرستان تویسرکان استفاده شود که راهی مطمئن و مؤثر برای شناخت و پایش خشکسالی‌ها بوده و نتایج مناسبی را ارائه نمود.

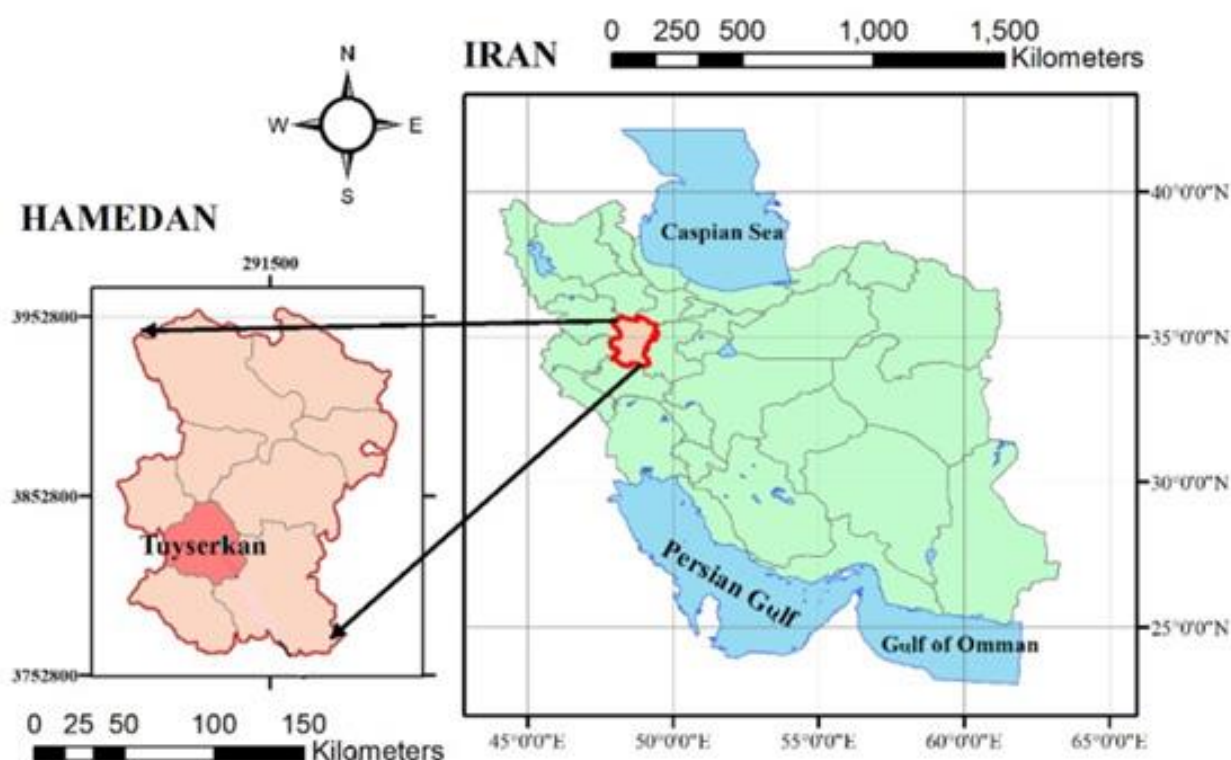
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

شهرستان تویسرکان (شکل ۱) مساحتی معادل ۱۵۵۶ کیلومتر مربع، ۷/۹۸ درصد از مساحت استان همدان، در غرب ایران را در بر گرفته است و کوهستانی می‌باشد که در امتداد رشته‌کوه زاگرس قرار دارد. تویسرکان دارای آب‌وهوای معتدل کوهستانی، و بارش سالانه کم و دمای معتدل است. ارتفاع این شهرستان از سطح دریا ۱۷۸۴ متر بوده و مختصات جغرافیایی آن بین مدار ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و پنج دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی است که طبق آمار رسمی اعلام شده، این شهرستان دارای ۱۸۰ هزار هکتار مرتع و اراضی کشاورزی و بیش از ۵۵ هزار هکتار مساحت زراعت و ۹۵۰۰ هکتار مساحت باغات می‌باشد و با ۵۵۰۰ هکتار باغ گردو و برداشت ۲۰ هزار تن قطب تولید گردو

1- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

2- Hierarchical data forma



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
Fig. 1- Location of the study area

جدول ۱- خصوصیات باندهای طیفی محصول MODIS
Table 1- Characteristics of spectral bands of MODIS product

نوع محصول	شماره باند	بازه زمانی (روز)	قدرت تفکیک طیفی	قدرت تفکیک زمینی (رزولوشن)(متر)	قدرت تفکیک رادیومتری
Product type	Paragraph number	Time frame (days)	Spectral separation power	Territorial separation power (m)(resolution)	Radiometric separation power
مودیس 13Q1 MOD13Q1	1	16	645	250	620-670
مودیس 11A2 MOD11A2	2	8	531	1000	526-235

محاسبه این نمایه، از توزیع گاما برای برازش داده‌های بارش استفاده می‌شود که پس از انجام محاسبه‌های لازم و تعیین پارامترهای مربوط به نمایه SPI انجام می‌گیرد. پس از محاسبه مقدار SPI در هر بازه زمانی، وضعیت رطوبتی به طبقات مختلف تقسیم می‌شود (Karimi & Shahidi, 2017).

(ب) شاخص مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای: پایش خشک‌سالی با استفاده از روش‌های دورسنجی و تصاویر ماهواره‌ای،

کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت، عمدتاً بر روی وضعیت رطوبت خاک و طولانی‌مدت اغلب بر روی آب‌های زیرزمینی، جریان رودخانه و ذخایر آب مؤثر است. این شاخص از طریق معادله ۱ قابل محاسبه است. (Karimi & Shahidi, 2017)

$$SPI = \frac{P_i - P}{S} \quad (1)$$

که در آن، P_i : مقدار بارش در دوره مورد نظر، P : میانگین دراز مدت برای دوره مورد نظر و S : انحراف معیار مقدار بارش است. برای

نیازمند استخراج شاخص‌های مختلف از باندهای طیفی نوری و گرمایی است. در این پژوهش، با استفاده از شاخص NDVI و LST، اقدام به محاسبه و استخراج سه شاخص وضعیت پوشش گیاهی (Vegetation Condition Index) سلامت پوشش گیاهی (Vegetation Health Index) و وضعیت دمایی (Temperature index changes) شده است که در ادامه، به‌طور مختصر شرح داده خواهد شد (Karimi & Shahidi, 2017).

شاخص‌های پوشش گیاهی

۱) شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI)

این شاخص برای اولین بار توسط تاکر جهت سنجش سلامت پوشش گیاهی مطرح گردید. در این شاخص، مقدار عددی هر پیکسل بین +۱ و -۱ متغیر است. مقدار این شاخص برای مناطق دارای پوشش گیاهی تنک (۰/۱) تا متراکم (۰/۸) تغییر می‌کند (Karimi & Shahidi, 2017). هدف ما در ارزیابی پیکسل‌های تصاویر مادیس و محاسبه کسر پوشش گیاهی در شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی، جداسازی مناطق دارای پوشش گیاهی از مناطق غیرپوشش گیاهی برای هر یک از نقاط نمونه‌برداری است. ساده‌ترین کار برای این راه استفاده از حد آستانه است. بدین صورت که مناطقی که شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی آن‌ها بالاتر از ۰/۲ است، به عنوان مناطق دارای پوشش گیاهی فرض شد. مقادیر آستانه با توجه به شرایط منطقه، اطلاعات جانبی و علم و تجربه، تعیین و اعمال می‌شود. معمولاً بهترین مقادیر در یک فرآیند سعی و خطا به‌دست می‌آید (Mather & Koch, 2010) و حد آستانه برای هر کدام از تصاویر در نظر گرفته شد.

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad \text{معادله (۲)}$$

۲) شاخص وضعیت گیاهی (VCI)

این شاخص اولین بار به‌وسیله Kogan در سال ۱۹۹۷ پیشنهاد شد. VCI، شاخصی است که وضعیت پوشش گیاهی را برحسب NDVImax و NDVImin برای یک منطقه خاص در درازمدت بیان کرده و به‌صورت زیر تعریف می‌شود (Thenkabail & Gamage, 2004).

$$100 \times \text{VCI} = \frac{\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\min}}{\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min}} \quad \text{معادله (۳)}$$

که در آن، NDVImax و NDVImin در طول یک ماه محاسبه می‌شود و از نمایه ماه مورد نظر است. شرایط پوشش گیاهی زمین به‌وسیله شاخص VCI بر حسب درصد بیان می‌شود. اگر مقدار این شاخص بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد باشد، نشان‌دهنده شرایط مطلوب یا شرایط بالای نرمال می‌باشد. درحالی‌که اگر VCI به صفر نزدیک شود، نشان‌دهنده وجود یک خشکسالی شدید در ماه است. مطالعات متعدد نشان می‌دهد که شاخص VCI نسبت به شاخص NDVI نتایج بهتری را برای بررسی میزان بارندگی خصوصاً در مناطقی که از نظر جغرافیایی غیرهمگون هستند، نشان می‌دهد (Thenkabail & Gamage, 2004).

۳) شاخص وضعیت دما TCI

این شاخص نیز به‌وسیله Kogan سال ۱۹۹۷ مطرح شد که براساس دمای درخشندگی استوار است و برای بررسی عملکرد پوشش گیاهی نسبت به دما ارائه شده است. در این شاخص، زمانی که دما به بالاترین مقدار خود می‌رسد، خشکسالی نیز به حد نصاب خود می‌رسد که با استفاده از معادله ۴ نشان داده می‌شود (Kogan et al., 2005).

$$\text{TCI} = \frac{\text{BT}_{\max} - \text{BT}_i}{\text{BT}_{\max} - \text{BT}_{\min}} \quad \text{معادله (۴)}$$

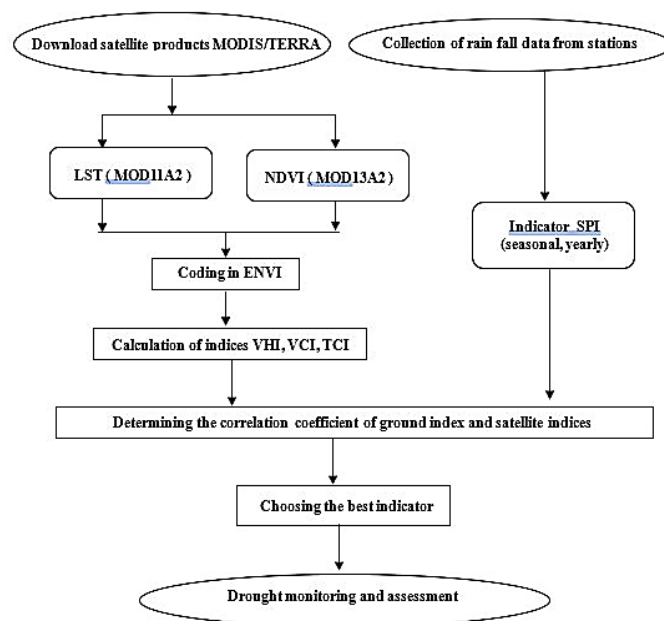
که در آن، BT: دمای درخشندگی، $\text{BT}_{\min}$ و $\text{BT}_{\max}$: به ترتیب مقدار دمای درخشندگی بیشینه و کمینه برای یک پریود زمانی بلندمدت است.

۴) شاخص سلامت پوشش گیاه VHI

این نمایه، ترکیبی از نمایه‌های VCI و TCI است که با استفاده از داده‌های ماهواره NOAA سنجیده AVHRR برای نمایه تنش خشکسالی که تابعی از تازگی پوشش گیاهی و دما است، محاسبه شده و برای سلامت پوشش گیاهی به‌کار برده می‌شود. به عبارت دیگر، اثر ترکیبی تنش رطوبت و گرما بوده و به کمک معادله ۵ محاسبه می‌شود. (Kogan et al., 2005)

$$\text{VHI} = a\text{VCI} + b\text{TCI} \quad \text{معادله (۵)}$$

که در آن، VCI و TCI: نمایه شرایط دما و a و b: ضرایبی هستند که سهم نمایه‌های VCI و TCI را در VHI به‌صورت کمی در می‌آورند.



شکل ۲- فلورچارت تحقیق
Fig. 2- Research flowchart

روش پژوهش

(Vegetation Health Index) در بخش کشاورزی استفاده خواهد شد. فلورچارت تحقیق در شکل شماره ۲ آورده شده است.

نتایج و بحث

در این بخش، ابتدا نتایج به‌دست آمده از خشک‌سالی هواشناسی مستخرج از داده‌های اخذ شده از ایستگاه‌های هواشناسی و سپس نقشه‌های خشک‌سالی کشاورزی مستخرج از داده‌های ماهواره‌ای ارائه شده است و در نهایت، به مقایسه و ارزیابی این نقشه‌ها پرداخته شده و اقدام به ارائه شاخص مناسب جهت پایش خشک‌سالی منطقه مورد مطالعه گردیده است.

نتایج حاصل از تحلیل خشک‌سالی هواشناسی با استفاده از داده‌های زمینی

نمودار پهنه‌بندی بارش سالانه تهیه شده با استفاده از شاخص SPI برای پوشش گیاهی باغی و باغی‌کشاورزی منطقه در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ ارائه شده است. با استناد به نمودار میزان بارش ماه‌های ژانویه تا ژوئن (شکل ۳)، ژانویه تا نوامبر (شکل ۴) و آوریل تا ژوئن (شکل ۵) در سال ۲۰۱۴ با کمترین بارش مواجه بودند که بر میزان

تکنیک سنجش‌ازدور، نقش مهمی در پایش فرآیند خشک‌سالی از طریق بررسی اثراتی که بر روی پوشش گیاهی، سلامت محصولات کشاورزی و تغییرات در تولیدات محصولات کشاورزی دارد. در این مطالعه، تحلیل خشک‌سالی پوشش گیاهی باغی و باغی‌کشاورزی شهرستان تویسرکان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ صورت می‌گیرد. این تصاویر به دلیل قدرت تفکیک مکانی مناسب و ارائه باندهایی با طول موج‌های مختلف، ابزار مناسبی در زمینه پایش خشک‌سالی هستند. بعد از پیش‌پردازش این تصاویر با استفاده از نرم افزار ENVI^۱ همچنین از داده‌های دمای سطح زمین و میزان بارندگی (به روش درون‌یابی مورد استفاده قرار گرفته) به عنوان داده‌های مؤثر در فرآیند خشک‌سالی در منطقه مورد مطالعه در طی این مدت استفاده می‌شود. برای بررسی شرایط خشک‌سالی از دو شاخص شامل شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی (Normalized Difference Vegetation)، شاخص وضعیت پوشش گیاهی (Vegetation Condition Index)، شاخص وضعیت دما (Temperature index changes) و شاخص سلامتی گیاه

1- Environment Visualizing Image

شاخص وضعیت گیاهی (VCI)^۱ و شاخص سلامت گیاهی (VHI)^۲ کشاورزی و باغی کشاورزی تأثیرگذار بوده و باعث کاهش این دو شاخص گردیده است، از طرفی، میزان شاخص وضعیت حرارتی افزایش را نشان می‌دهد. در سال ۲۰۱۸ در نمودار بیشترین بارش را داشتند که سبب افزایش شاخص وضعیت گیاهی (VCI) و شاخص سلامت گیاهی (VHI) شده و میزان شاخص وضعیت حرارتی (TCI)^۳ کاهش را نشان می‌دهد. کلیه ایستگاه‌های منطقه از سال ۲۰۰۲ الی ۲۰۲۱ وضعیت بارش و تأثیر آن بر پوشش گیاهی کشاورزی و باغی کشاورزی منطقه به صورت خطی افزایش را نشان می‌دهند. با توجه به این سه شکل ۳، ۴ و ۵، در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۴، ۲۰۰۵، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹، ۲۰۱۰، ۲۰۱۱، ۲۰۱۲، ۲۰۱۳، ۲۰۱۵، ۲۰۱۶، ۲۰۱۷، ۲۰۱۹، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ ترسالی با سطوح مختلف در قسمت‌های مختلف منطقه مشخص است که در سال ۲۰۰۸ بعد از سال ۲۰۱۴ شرایط کم‌بارش با خشکسالی، و سال ۲۰۰۷ شرایط نرمال با تمایل به ترسالی را نشان می‌دهند، البته لازم به ذکر است که نمودار یک تا شش ماه از ماه‌های پرباران منطقه تهیه شده است، بنابراین چنین نتیجه‌ای در مقایسه با دوره زمانی سالانه، کاملاً منطبق بر واقعیت و انتظار است.

نتایج حاصل از خشکسالی کشاورزی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

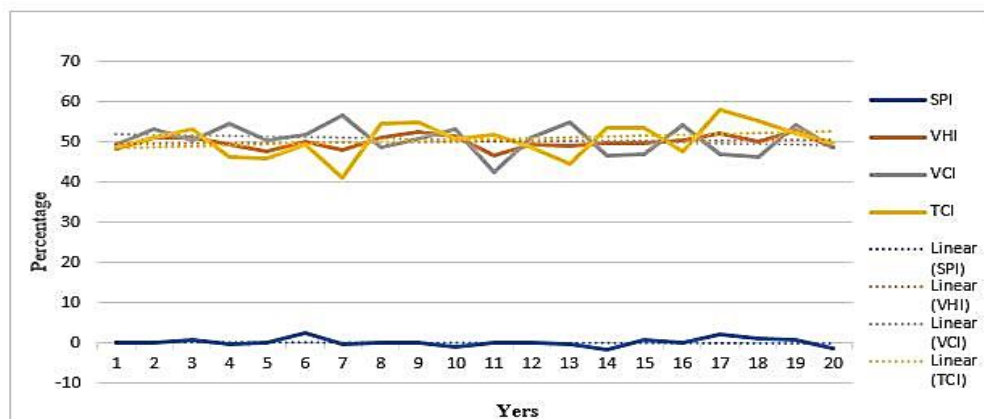
نتایج حاصل از تغییرات شاخص‌های مرتبط با پوشش گیاهی منطقه (VCI و NDVI) برای سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۱۸ ترسالی شدید بین سال‌ها و ۲۰۰۸، ۲۰۱۴ خشکسالی بسیار شدید بین سال‌های مورد مطالعه در شکل ۶ ارائه شده است.

همان‌طور که از شکل ۶ مشخص است، قسمت اعظم منطقه، پوشش معمولی و نیمه‌مترکم دارد و مناطق ضعیف با پوشش گیاهی تنک مساحت کم و متفاوتی را در طی دوره این چهار ساله نشان می‌دهد. براساس نتایج به‌دست آمده از شاخص VCI میزان خشکسالی در نواحی غرب و جنوب شرقی منطقه، بیشتر است که البته در همه سال‌ها از یک الگوی منظم و یکسان پیروی نمی‌کند که دلیل آن نیز می‌تواند به تراکم بارندگی در سال‌های مختلف و یا نوع مدیریت

زراعی و باغی هم باشد. در بین سال‌های مختلف مورد مطالعه، سال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ دارای شرایط خشکسالی متوسط و خفیف می‌باشد که این نتایج با نتایج حاصل از شاخص SPI مستخرج از داده‌های زمینی هم‌خوانی نسبتاً خوبی داشت و بیانگر کارایی این شاخص در تخمین خشکسالی کشاورزی متأثر از کمبود بارش در این سال بود. همچنین براساس نتایج سال ۲۰۰۷ و ۲۰۱۸ نیز با مقادیر بالای VCI گویای شرایط مساعد گیاهی و به عبارتی ترسالی بود، که مجدداً با میزان بارندگی در این سال‌ها به‌نسبت کل دوره مورد مطالعه هم‌خوانی دارد و با استفاده از شاخص VCI شرایط غالب شرایط متمایل به ترسالی را برای این سال‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که در قسمت روش تحقیق آورده شد، این شاخص از روی تغییرات شاخص NDVI در طول دوره مطالعه استخراج شده است، اما نتایج آن‌ها تا حدی با یکدیگر متفاوت است. علت تفاوت نتایج حاصل از این شاخص در مقایسه با شاخص NDVI، این است که این شاخص نوسانات کوتاه مدت که مربوط به آب‌وهواست را از تغییرات بلندمدت جدا می‌کند. در نتیجه با استفاده از شاخص VCI در طول دوره آماری، منطقه مورد مطالعه با شرایط خشکسالی شدیدی مواجه نیست.

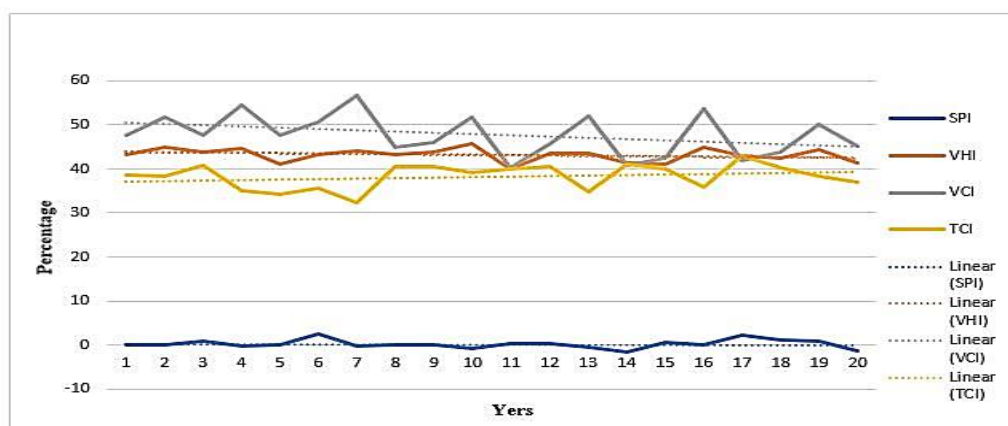
نتایج حاصل از شاخص TCI که بیانگر وضعیت تغییرات دمایی در منطقه می‌باشد در شکل ۷ ارائه شده است. نتایج به‌دست آمده از شاخص TCI، مقادیر نسبتاً بالای این شاخص با توزیع مکانی مختلف در تمامی سال‌ها در نواحی مختلف منطقه را نشان می‌دهد. شرایط دمایی سطحی کم‌نوسان، ولی تفاوت‌های زیاد در میزان پوشش گیاهی در ماه‌های متمایز و زمین‌های با پوشش گیاهی متنوع در منطقه را می‌توان دلیل این امر دانست. از آنجایی که شهرستان تویسرکان جزء نواحی نسبتاً خشک با پوشش گیاهی متوسط تا کم می‌باشد، با استفاده از این شاخص برخلاف شاخص وضعیت پوشش گیاهی VCI که اراضی کشاورزی و مراتع در تصاویر به‌صورت مجزا دیده می‌شود، تفکیک دقیقی در آن‌ها مشاهده نمی‌شود و کارایی آن را در بررسی مقادیر خشکسالی با ابهام روبه‌رو می‌کند. جهت بررسی دقیق‌تر استفاده از داده‌های حرارت سطح به‌عنوان شاخصی از خشکسالی در ادامه به بررسی وضعیت تغییرات این پارامتر در ارتباط با پوشش گیاهی توسط شاخص VHI که بیانگر وضعیت سلامت گیاهی منطقه می‌باشد، پرداخته شده است.

- 1-Vegetation Condition Index
- 2- Vegetation Health Index
- 3 - Temperature index changes



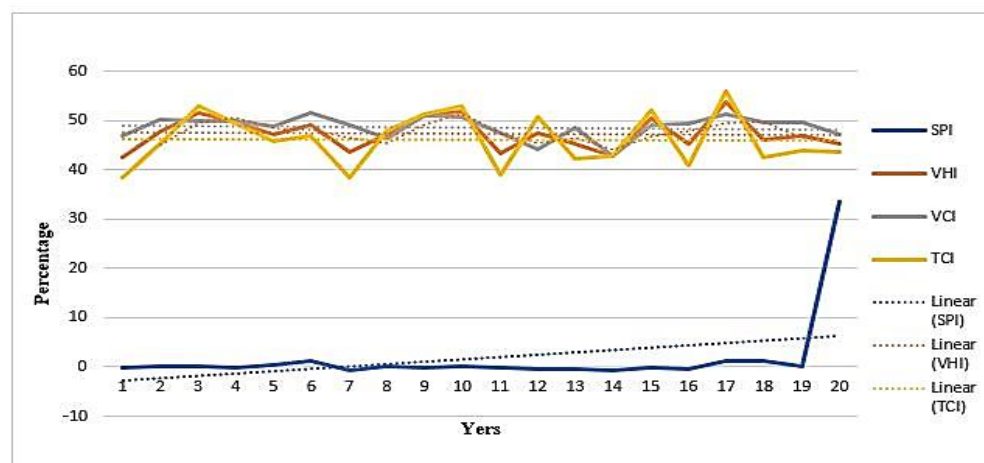
شکل ۳- وضعیت شاخص‌ها ۱-۶ ماه

Fig. 3- Indicators for 1-6 months



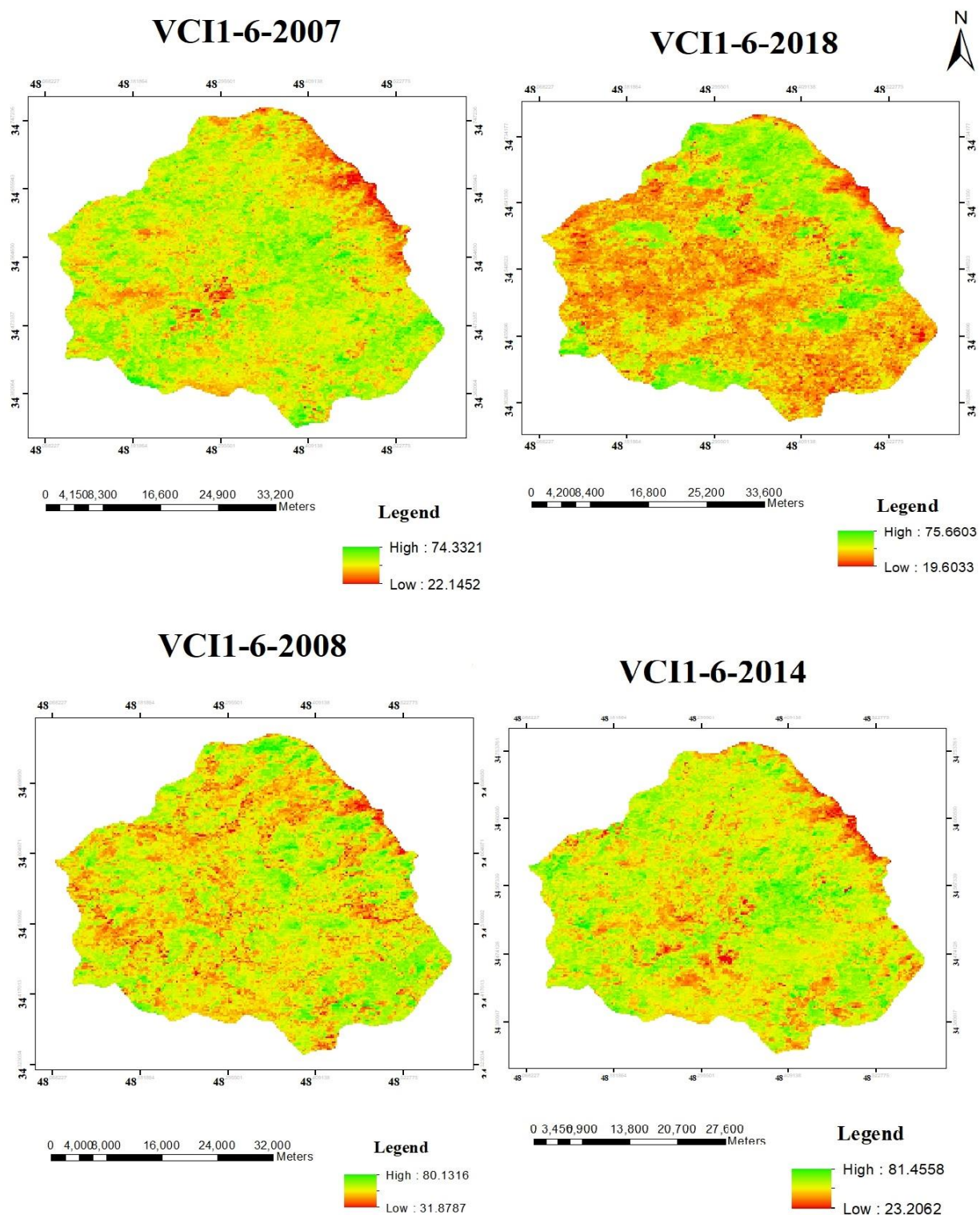
شکل ۴- وضعیت شاخص‌ها ۱-۹ ماه

Fig. 4- Indicators for 1-9 months



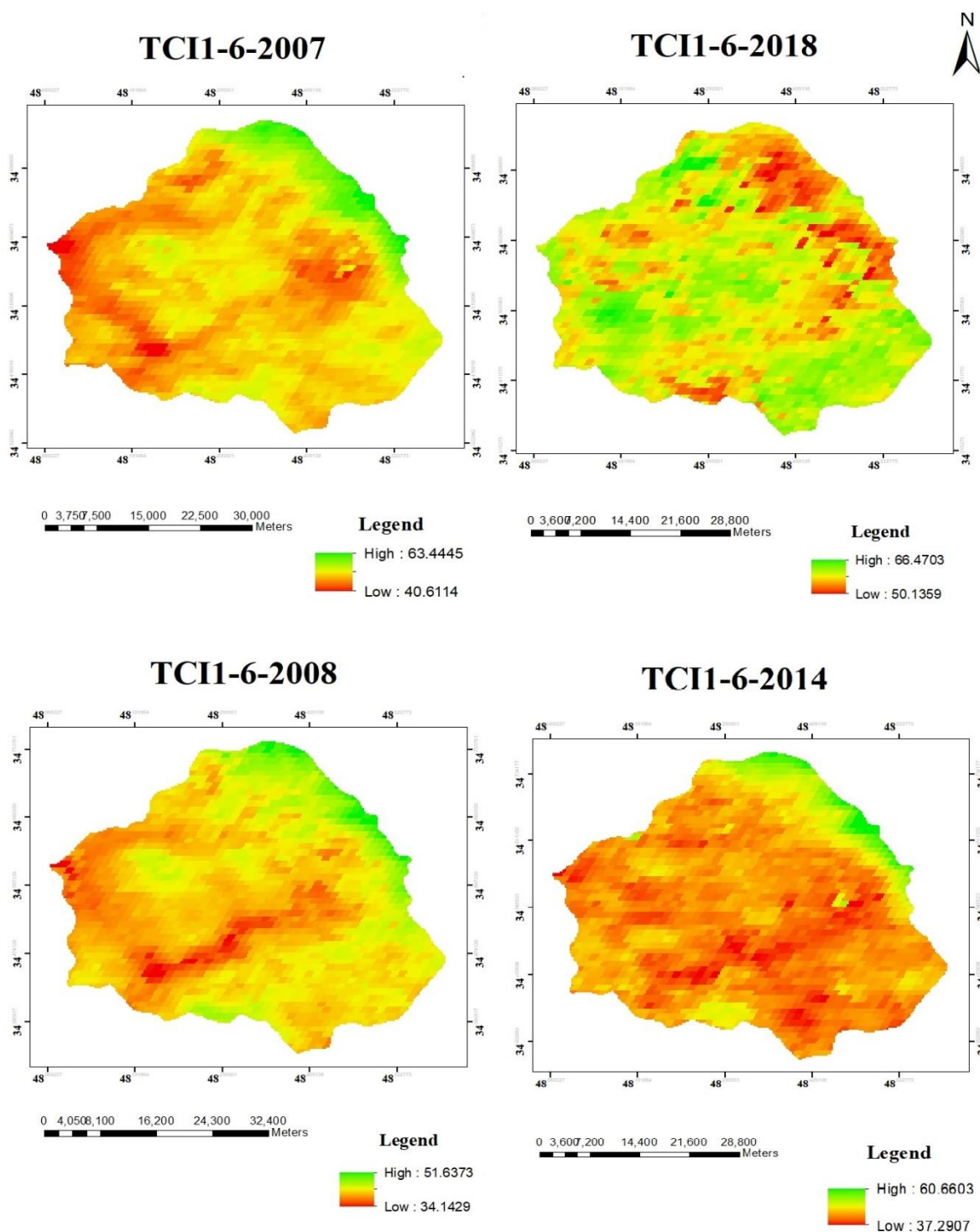
شکل ۵- وضعیت شاخص‌ها ۴-۶ ماه

Fig. 5- Chart of for 4-6 months



شکل ۶- تغییرات پوشش گیاهی سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۸، ۲۰۱۴، ۲۰۱۸

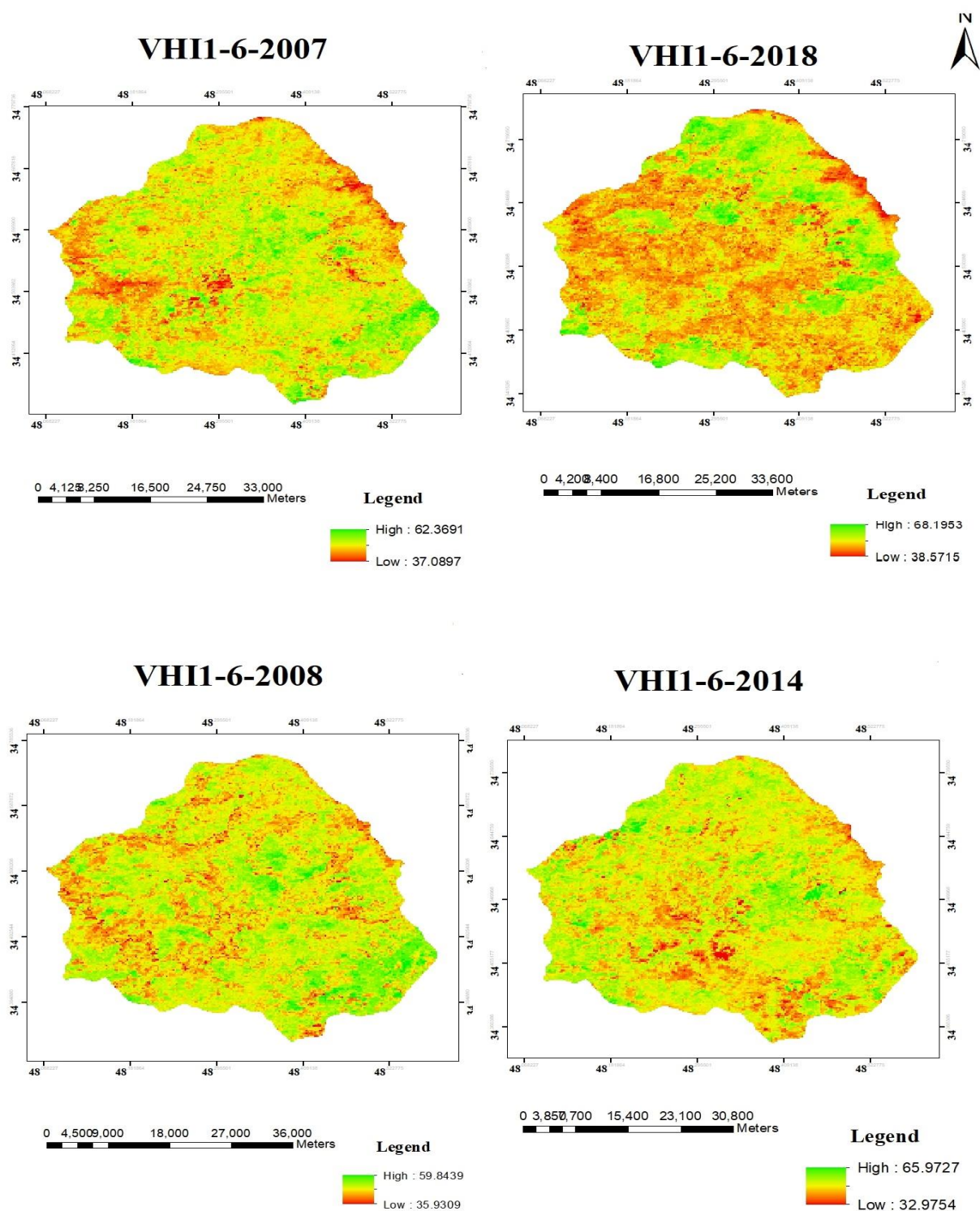
Fig. 6- Vegetation changes in 2018, 2014, 2008, 2007



شکل ۷- تغییرات شاخص دمایی سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۸، ۲۰۱۴، ۲۰۱۸
Fig. 7- Temperature index changes in 2007, 2008, 2014, 2018

گیاهی در یک منطقه وسیع دارد، شرایطی که در این منطقه وجود ندارد، که همین امر دلیل عدم کارایی و توانایی این شاخص در به تصویر کشیدن دقیق نواحی و سال‌های متأثر از خشکسالی می‌باشد.

با توجه به شکل ۸، شاخص VHI دارای مقادیر نسبتاً بالا با تغییرات نسبتاً اندک در سال‌های مختلف می‌باشد. نکته مهم و قابل ذکر این است که شاخص VHI، نیاز به وجود تراکم و تنوع پوشش



شکل ۸- شاخص سلامت محصولات کشاورزی سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۸، ۲۰۱۴، ۲۰۱۸
Fig. 8- Health index of agricultural products in 2007, 2008, 2014, 2018

جدول ۲- ضریب همبستگی بین شاخص فصلی و سالانه با میانگین فصلی و سالانه شاخص‌های ماهوارهای
Table 2- Correlation coefficient between seasonal and annual SPI index with seasonal and annual average of satellite indices

	شاخص وضعیت گیاهی											
	Thermal condition index						Vegetation health index					
	10-12	7-9	4-6	1-9	1-6	1-3	10-12	7-9	4-6	1-9	1-6	1-3
شاخص استاندارد بارش Standardized Precipitation Index	-0.027	-0.210	-0.04	-0.14	0.117	-0.095	0.050	-0.25	0.13	-0.30	-0.06	0.03
	-0.268	-0.320	0.319	0.148	0.338	-0.027	-0.15	-0.18	0.46*	-0.19	0.049	0.30
	0.076	-0.377	0.323	0.222	0.189	0.428	-0.02	-0.499*	0.462*	0.20	0.131	0.38

*معنی دار در سطح ۵ درصد، **معنی دار در سطح یک درصد

significant at the 5% level, **significant at the 1% level

در قسمت‌های بعد، نتایج ضریب همبستگی شاخص زمینی با شاخص‌های ماهواره‌ای بیان خواهد شد. از آنجایی که شاخص VHI ضریب همبستگی بالایی با شاخص بارش در تمام فصول را ندارد، نمی‌توان با قطعیت نتایج نقشه‌های تهیه شده با استفاده از شاخص VHI را تعمیم داد. بنابراین همان‌طور که ملاحظه گردید، شاخص‌های VHI و TCI که مرتبط با وضعیت حرارتی و سلامت گیاهان هستند، از توانایی خوبی در به تصویر کشیدن تغییرات خشکسالی نداشتند که علت آن هم وضعیت خاص کم‌پوشش گیاهی منطقه توپسرکان و غالب بودن شرایط خشکی نسبی در سرتاسر این منطقه است که این امر لزوم استفاده از شاخص‌های مرتبط با پوشش گیاهی همانند VCI را که واکنش بهتری نسبت به تغییرات بارندگی دارند را برای این منطقه روشن می‌کند. جهت تبیین بهتر این موضوع در قسمت بعد به تحلیل کمی ارتباط بین نتایج حاصل از شاخص‌های مختلف مستخرج از داده‌های ماهواره‌ای و خشکسالی هواشناسی مستخرج از داده‌های بارندگی پرداخته شده است.

مقایسه خشکسالی‌های کشاورزی و هواشناسی و انتخاب شاخص بهینه پایش خشکسالی

براساس هدف اصلی این تحقیق که ارزیابی دقت تصاویر ماهواره‌ای در برآورد خشکسالی و مقایسه خشکسالی‌های کشاورزی و هواشناسی و در نهایت، ارائه شاخص بهینه جهت پایش خشکسالی کشاورزی در منطقه بود. بدین منظور، در پیکسل‌های متناظر با ایستگاه‌های هواشناسی مقادیر حاصل از تمامی شاخص‌های مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد و اقدام به مقایسه و بررسی ضریب همبستگی میانگین فصلی و سالانه شاخص‌های ماهواره‌ای با شاخص SPI زمینی گردید. این نتایج در جدول ۲ ارائه شده است.

براساس مقادیر این جدول، سطح همبستگی بین میانگین فصلی SPI یک تا نه ماهه با VCI چهار تا شش ماهه برابر با ۰/۵۹۹ مشاهده شد که دلیل این امر نیز فاصله زمانی بین رخداد بارش و پاسخ گیاه است. این فاصله زمانی در هر منطقه متفاوت است. بر مبنای جدول ۲ به دست آمده از محاسبات آماری، در بین شاخص‌های ماهواره‌ای ضعیف‌ترین سطح همبستگی را شاخص TCI با شاخص SPI دارد.

رابطه همبستگی مناسب و سطح معنی‌داری نیز تنها بین شاخص SPI با شاخص‌های گیاهی VCI و VHI وجود دارد. نکته حائز اهمیت این است که همبستگی ضعیف شاخص ماهواره‌ای TCI از نظر علمی کاملاً توجیه‌پذیر است. در مورد شاخص VHI، نیاز به وجود تراکم و تنوع پوشش گیاهی در یک منطقه داریم، بنابراین این شاخص در این منطقه برای SPI یک تا سه ماهه نمی‌تواند به بهترین نحو خشکسالی را مدل کند و در نتیجه، ضرایب همبستگی ضعیفی نیز با شاخص بارندگی دارد. اما در SPI یک تا سه ماهه با VHI چهار تا شش ماه مقدار $0/46$ ، SPI یک تا نه ماهه با VHI هفت تا نه ماهه مقدار $0/949$ ضریب همبستگی معنی‌داری وجود دارد و می‌توان سلامت پوشش گیاهی منطقه را مورد مطالعه قرار داد. همان‌گونه که از نتایج جدول ۲ مشخص است، شاخص VCI چهار تا شش ماهه همبستگی معنی‌داری با فصول مختلف و با شاخص SPI دارد. بنابراین، با اطمینان می‌توان بیان داشت که این شاخص جهت پایش تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی کشاورزی با دقتی قابل قبول در منطقه مورد مطالعه استفاده نمود. در واقع، ماه‌های چهارم تا ششم بهترین زمان رشد و نمو گیاهان است، چرا که اثر بارندگی هر چه باشد، در این دوره خودش را نشان می‌دهد و بیشترین همبستگی، بین SPI با VHI چهار تا شش ماهه است. هر چند که در VHI هفت تا نه ماهه هم معنی‌دار بوده که این می‌تواند به دلیل پوشش گیاهی توپسیرکان که بیشتر پوشش کشاورزی (تا تیر ماه تمام می‌شود) و باغی (سطح زیادی از گردو و بادام است و تا شهریور ادامه پیدا می‌کند) است، باشد. رحیم زاده و همکاران (Rahimzadeh et al., 2008) در پایش خشکسالی در شمال غرب ایران، بهترین همبستگی بین VCI را با SPI یک تا سه ماهه به‌دست آوردند و در مطالعه حاضر، این همبستگی بین شاخص VCI و SPI یک تا نه ماه به‌دست آمد که به‌طور کلی، در این مطالعات، شاخص VCI نتایج بهتری را برای بررسی میزان بارندگی خصوصاً در مناطقی که از نظر جغرافیایی غیرهمگون هستند، نشان می‌دهد. در نتیجه، شاخص VCI به‌عنوان بهترین شاخص جهت پایش خشکسالی کشاورزی منطقه انتخاب گردید. همچنین نتایج به‌دست آمده از به‌کارگیری شاخص گیاهی VCI، نشان‌دهنده وضعیت خشکسالی در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۴ و وضعیت ترسالی در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ نسبت به دوره مطالعاتی در منطقه می‌باشد که با نتایج تحقیقات میدانی معاونت برنامه‌ریزی و

امور اقتصادی و اداره کل هواشناسی در مورد نسبت میزان محصولات کشاورزی تولید شده به‌میزان بارندگی بلندمدت شهرستان توپسیرکان در این سال‌ها همخوانی دارد که در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۴ میزان بارندگی سالانه به‌ترتیب برابر $254/2$ میلی‌متر (۲۰۰۸) و $335/9$ میلی‌متر (۲۰۱۴) و میزان محصولات باغی و باغی‌کشاورزی برای این سال‌ها به‌ترتیب برابر 35182 و 159100 تن (۲۰۰۸) و 37473 و 101517 تن (۲۰۱۴) بوده و در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۸ میزان بارندگی سالانه به‌ترتیب برابر $604/4$ میلی‌متر (۲۰۰۷) و 386 میلی‌متر (۲۰۱۸) و میزان محصولات باغی و باغی‌کشاورزی برای این سال‌ها به‌ترتیب برابر 37844 و 199329 تن (۲۰۰۷) و 45514 و 171492 تن (۲۰۱۸) می‌باشد. به‌وضوح مشخص شد که سال‌هایی با بارندگی بیشتر به‌دلیل رطوبت بیشتر در منطقه پوشش گیاهی در منطقه رشد بهتری دارند و این رشد در سال‌های خشک که میزان بارندگی در آن کم است، کم‌تر می‌شود (Thomás et al., 2015). در تجزیه و تحلیل اولیه خشکسالی در سال ۲۰۱۲ در مناطق نیمه‌خشک آلاگواس با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی از طریق سنجنده مودیس به این نتیجه رسید که خشکسالی زمانی تأثیر خودش را بر پوشش گیاهی می‌گذارد که یک منطقه، بارش کافی برای مدت زمان طولانی را نداشته باشد که منجر به کمبود آب می‌شود. در مناطقی که خشکسالی شدید به‌طور دائم رخ می‌دهد، عوامل مؤثر و سازوکارهای فیزیکی بسیار پیچیده هستند، همان‌طور که در سال ۲۰۰۸ برای منطقه توپسیرکان با وجود بارش کم در این سال، تأثیر چندانی در تولید میزان محصولات باغی و باغی‌کشاورزی نداشته است که به‌دلیل بارش خوب سال ۲۰۰۷ می‌باشد (Gidey et al., 2018) با استفاده از شاخص‌های VCI، VHI، NDVI، و TCI، روابط آماری بین خشکسالی هواشناسی و کشاورزی در شمال اتیوپی را نشان دادند که همه شاخص‌ها همبستگی بالایی با شاخص SPI دارند، اما شاخص VHI برای منطقه مورد مطالعه جهت درک بهتر تغییرات خشکسالی موثرتر است. ولی در پژوهش حاضر، میزان همبستگی شاخص VCI بیشتر از شاخص VHI بود که این تفاوت نتایج می‌تواند به‌دلیل شرایط متفاوت توپوگرافی دو منطقه باشد. در این مطالعه نتایج نشان می‌دهد که محدوده مطالعاتی به‌طور کلی از پوشش گیاهی متوسط تا کم برخوردار است. بر مبنای محاسبه‌های انجام شده شرایط اقلیمی محدوده با نتایج حاصل از شاخص گیاهی VCI، در مقیاس فصلی، تطابق بیشتری دارد.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف بررسی و ارزیابی خشکسالی کشاورزی شهرستان تویسرکان با استفاده از علم سنجش‌ازدور در یک دوره ۲۰ ساله (۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱) با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس انجام گرفت که خشکسالی این ناحیه با شاخص‌های سلامت گیاهی (VHI)، وضعیت گیاهی (VCI)، وضعیت حرارتی (TCI) و بارش (SPI) بررسی و ارزیابی شدند و نتایج براساس این شاخص‌ها، خشکسالی کشاورزی در طی دوره ۲۰ ساله در کلاس‌های خیلی شدید، شدید و متوسط در شهرستان تویسرکان رخ داده است که غالب خشکسالی‌های این منطقه در برخی از سال‌ها با شدت ملایم بوده است. تلفیق (SPI) با نقشه‌های بارندگی برای تهیه نقشه پوشش گیاهی (NDVI) نشان می‌دهد که سال ۲۰۱۸ و ۲۰۰۷ ترسالتین و سال ۲۰۱۴ و ۲۰۰۸ خشکسالی شدید بوده است. همچنین استفاده از شاخص‌های خشکسالی سنجش‌ازدور می‌تواند مشکلات دسترسی به داده‌های هواشناسی را در مناطق صعب‌العبور و وسیع برطرف کند، چرا

که تصاویر ماهواره‌ای با پوشش گسترده امکان بررسی خشکسالی را فراهم می‌آورد و با ارائه نقشه‌های خشکسالی برنامه‌ریزان را در امر برنامه‌ریزی یاری می‌نماید و این امر موجب کاهش اثرات نامطلوب خشکسالی بر زندگی ساکنان یک ناحیه می‌شود. استفاده از شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)، شاخص وضعیت حرارتی (TCI)، شاخص وضعیت سلامت پوشش گیاهی (VHI)، شاخص بارش (SPI) و شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI) در این پژوهش در ارتباط با تحلیل خشکسالی کشاورزی، نتایج خوبی را ارائه داد و نتایج مطالعه حاضر گویای این است که استفاده از شاخص‌های ماهواره‌ای و تکنیک سنجش‌ازدور، ابزار مفیدی جهت پایش خشکسالی یک ناحیه است و استفاده از این روش‌ها می‌تواند در کاهش هزینه و زمان و ارائه اطلاعات جامع مؤثر باشد. نتایج این تحقیق، مبانی نظری مهم برای برنامه‌ریزی، مدیریت، توسعه حفاظت از پوشش گیاهی منطقه‌ای و کشاورزی در شهرستان تویسرکان را فراهم می‌کند.

References

1. Asong, Z.E., Wheeler, H.S., Bonsal, B., Razavi, S., & Kurkute S. (2018). Historical drought patterns over Canada and their teleconnections with large-scale climate signals. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(6), 145-159. <https://doi.org/10.5194/hess>
2. Dosarani, M., Wali, A., Sepehr, A., & Komaki, C. (2015). Drought survey on vegetation using MODIS meter in Razavi Khorasan. *Scientific and Research Journal of Desert Ecosystem Engineering*, 4(7), 1-8. (In Persian with English abstract)
3. Darvand, S., Khosravi, H., Eskandari Domain, H., & Eskandari Domain, H. (2021). Investigating the trend of changes in NDVI index obtained from Modis sensor images. *Iran Watershed Association, Destruction and Restoration of Natural Lands*, 1(2), 69-79. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/20.1001.1.27174425.1399.1.2.7.8>
4. Funk, C., & Budd, M.E. (2009). Phenologically Tuned MODIS NDVI-based production normally estimates for Zimbabwe, Remote Sensing of Environment. *Journal Article*, 113(1), 115-125. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.08.015>
5. Farzaneh, S., Shah Hosseini, R., & Kordpour, A. (2021). Studying the estimation of providing an efficient index based on the combination of satellite gravimetric data and ground station information for pre-drought in Iran. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Information*, 30(1), 117,12-1. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22131/sepehr.2021.244447>
6. Bahramlou, R., Old, A., Jolani, S.H., Samavatian, M., Tabar, A., & Khodayvandi, M., (2021). Excerpt of basic statistics of 1400. Hamedan. Ba'ath Square, Meshki Alley, corner of Imran St., 4th floor, Tel: 38215550-6 farsighted: 38234110. Agricultural Jihad Organization of Hamedan Province - Vice President of Planning and Economic Affairs - Department of Statistics, Information Technology and Network Equipment. Doi: www.hm.agri-jahad.ir. (In Persian with English abstract)
7. Gouveia, C., Trigo, R.M., & Dacamra, C. (2009). Drought and vegetation stress monitoring in Portugal sing satellite data. *Journal of Natural Hazards Earth System Sciences*, 9(1), 185.195. <https://doi.org/10.5194/nhess>
8. Gidey, E., Dikinya, O., Sebego, R., Segosebe, E., & Zenebe, A. (2018). Using drought indices to model the statistical relationships between meteorological and agricultural drought in raya and its environs, Northern

- Ethiopia. *Journal of Earth Systems and Environment*, 2(1), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s41748-018-0055-9>
9. Hamzeh, S., Farahani, Z., Mahdavi, S., Chater Abgun, A., & Gholamnia, M. (2017). Temporal and spatial monitoring using remote sensing data in the Central province of Iran. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 4 (3), 53-70. (In Persian with English abstract). <https://doi: jsaeh.khu.ac.ir on 2023-10-29>
10. He, Y., Chen, F., Jia, H., Wang, L., & Bondur, V.G. (2020). Different drought legacies of rain-fed and irrigated croplands in a typical Russian agricultural Region. *Remote Sensing*, 12(11), 1-23. <https://doi.org/10.3390/rs12111700>
11. Hashemi, A., Yazdan Panah, H., & Momeni, M. (2021). Estimating the main stages of orange tree phenology using remote sensing of a sample of gardens in the southeast of Fars province. *Geography and Environmental Planning*, 32(2), 119-134. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22108/GEP.2021.125910.1373>
12. Jinha, J., Murillo, M., Anjin, C., Mahendra, B., Akash, A., & Juan, L.B. (2021). The potential of remote sensing and artificial intelligence as tools to improve the resilience of agriculture production systems. *Current Opinion in Biotechnology*, 70(1), 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2020.09.003>
13. Kogan, F.N., Stark, R., Gitelson, A., Jargalsaikhan, L., Dugrajav, C., & Tsooj, S. (2005). Derivation of pasture biomass in Mongolia from AVHRR-based vegetation health indices. *International Journal of Remote Sensing*, 25(14), 2889-2896. <https://doi.org/10.1080/01431160410001697619>
- Karimi, M., & Shahidi, K. (2017). Survey of meteorological, hydrological and agricultural drought using drought indicators in Qarasu watershed. *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources*, 9(2), 1-16. (In Persian with English abstract). doi:girs.iaubushehr.ac.ir
14. Karimi, M., & Shahidi, K. (2018). Survey of meteorological, hydrological and agricultural drought using drought indicators in Qarasu watershed. *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources*, 10(2), 1-19. (In Persian with English abstract). doi:girs.iaubushehr.ac.ir
15. Lucas, V., Oldoni, I., Del Arco, S., Michelle Cristina, A., Picoli, R., & José, G.F. (2020). LEM + dataset: For agricultural remote sensing applications. *Earth Observation and Geoinformatics Division, National Institute for Space Research, São José dos Campos, Brazil*, 33(1), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106553>
16. Mather, P.M., & Koch, M. (2010). Computer processing of remotely-sensed images an introduction. *John Wiley and Sons*, 12(1), 29-66. <https://doi.org/10.1002/9780470666517.ch2>
17. Mirmousavi, H., & Karimi, M. (2013). Studying the effect of drought on vegetation using MODIS sensor images in Kurdistan province. *Geography and Development*, 31(11), 57-76. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/sid.ir/paper/77245/fa>
18. Ministry of Communications and Information Technology, Iran Space Agency, Remote Sensing. (2019). (In Persian with English abstract). <https://doi:rs.isa.ir>
19. Masoumeh, T. (2021). Time series evaluation of the health index of agricultural products using remote sensing data in Cheram city, master's thesis in the field of natural resources science and engineering - land evaluation and preparation. Khatam Al Anbia Behbahan University of Technology. 45. (In Persian with English abstract)
20. Rahimzadeh, P., Darvishsefat, A. Khalili, A., & Makhdom, M. (2008). Using AVHRR-based vegetation indices for drought monitoring in the Northwest of Iran. *Journal of Arid Environments*, 72(1), 1086-1096. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2007.12.004>
21. Soleimani, K., Darvishi, S., & Shokrian, F. (2019). Analysis of agricultural drought using remote sensing indicators in Marivan city. *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources*, 10(2), 1-19. (In Persian with English abstract). doi:girs.iaubushehr.ac.ir
22. Schwarz, M., Landmann, T., Cornish, N., Wetzels, K. F., Siebert, S., & Franke, J. (2020). A spatially transferable drought hazard and drought risk modeling approach based on remote sensing data. *Remote Sensing*, 12(2), 237-245. <https://doi.org/10.3390/rs12020237>
23. Sandeep, P., Obi Reddy, G.P., Jegankumar, R., & Arun Kumar, K.C. (2021). Monitoring of agricultural drought in semi-arid ecosystem of Peninsular India through indices derived from time-series CHIRPS and MODIS datasets. *Ecological Indicators*, 121(1), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107033>
24. Thenkabail, P. S., Gamage, M.S.D.N., & Smakhtin, V.U. (2004). The use of note sensing data for drought assessment and monitoring in southwest Asia. *IWMI Research Report* 85, 25, 1-35. <https://doi.org/10.3910/2009.086>
25. Thomás, F.R., Frederico, T.D. & Jéssica, R.G. (2015). Preliminary analysis of drought in 2012 in semi-arid of

- alagoas using indices of vegetation through sensor modis. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 5(1), 1-12. [dio:10.29150/jhrs.v5.1.p001-012](https://doi.org/10.29150/jhrs.v5.1.p001-012)
26. Veisi, V., Qavam, M., & Bazarafshan, M. (2018). The effects of drought on changes in pasture cover with an emphasis on telemetry indicators in the Salfchagan Nizar watershed. *Scientific Journal of Pasture and Desert Research in Iran*, 62(3), 1-12. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijdr.2019.120018>
27. Vijith, H., & Dodge-Wan, D. (2020). Applicability of MODIS land cover and Enhanced Vegetation Index (EVI) for the assessment of spatial and temporal changes in strength of vegetation in tropical rainforest region of Borneo. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, (35), 100311. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100311>.
28. West, H., Quinn, N., & Horswell, M. (2019). Remote sensing for drought monitoring and impact assessment: Progress, past challenges and future opportunities. *Remote Sensing of Environment*, (232), 111291. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019>
29. Yuhas, A.N., & Schuderer, L.A. (2009). MODIS derived NDVI characterization of drought induced evergreen die off in western North America. *Journal of Geographical Research*, 47(1), 1-94. <https://doi.org/10.1111/j.1745-871.2008.0055>



Response of Agronomic Characteristics and Yield of Garlic Plant (*Allium sativum* L.) to Different Levels of Planting Density and Nutrition

Hadi Khavari ¹ & Masoud Rafiee ^{2*}

1- Young Researchers and Elite Club, Khorramabad branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran.

2- Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran.

(*- Corresponding author's Email: m.rafiei@areeo.ac.ir)

Received: 12-11-2023
Revised: 17-06-2024
Accepted: 03-07-2024
Available Online: 01-12-2024

How to cite this article:

Khavari, H., & Rafiee, M. (2024). Response of agronomic characteristics and yield of garlic plant (*Allium sativum* L.) to different levels of planting density and nutrition. *Journal of Agroecology*, 16(3), 533-551. (In Persian with English abstract)

<https://doi.org/10.22067/agry.2024.85318.1174>

Introduction

Garlic (*Allium sativum* L.), a member of the Liliaceae family, is the second most important crop after onion (*Allium cepa* L.) among vegetables. It is widely used as a food spice and medicinal herb in many parts of the world, making it one of the key crops cultivated during the cool season. Garlic economic yield is affected by various agronomic factors such as optimum planting distance (plant density) and proper supply of the required nutrition (proper nutrition) of this plant. The selection of suitable planting density can increase the productivity of crops. On the other hand, meeting the nutritional needs of crops is also a great necessity in order to increase the production of crops. Humic acid, as a natural and environmentally friendly organic acid, has a positive effect on the absorption of nutrients by crops, and it is very important for the transfer and availability of micronutrient elements in the plant. The most important factor limiting crop yield in many parts of the world macro and micronutrient deficiency in soil is more. Suitable nutrition due to the balanced application of fertilizers, with regard to the physiological needs of crops, can reasonably provide access to the expected yield. Nutrition is another factor affecting the growth and performance of garlic plants. Research has shown that the growth and yield of this plant are largely influenced by the management of the supply of various nutrients.

Materials and Methods

This experiment was conducted as a factorial layout based on a randomized complete block design with three replications during the growing season of 2016- 2017 at the experimental field of Beiranshahr city of Khorramabad



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/agry.2024.85318.1174>

in Lorestan Province, Iran. Before conducting the experiment to determine the physical and chemical properties of soil samples were collected from 0-30 cm depth of soil. The treatments were comprised of two factors were studied: Planting density at three levels: D₁, D₂, D₃; 32, 42, and 52 Density (Plant. m⁻²), respectively, and Nutrition On four levels: N₁, N₂, N₃, and N₄ (control, Humic acid, totalize fertilizer 20-20-20, Humic acid+Totalize fertilizer 20-20-20), respectively. For treated with humic acid, Garlic cloves before planting in a proportion of 50 ml per kilogram, Clove was treated. Totalize fertilizer 20-20-20 was used at the rate of 80 kg/ha in the farm. Traits such as plant height, stem diameter, leaf number, Garlic diameter, cloves number in garlic, Garlic weight, and economic yield were measured. In this study, Hamedan White Garlic was used for cultivation.

Results and Discussion

The results indicated that the main effects of nutrition, plant height, and the number of cloves in garlic were significant, as well as the interaction between planting density and nutrition (treatment 42: density in plants per square meter with Totalize fertilizer 20-20-20). Significant increases were observed in stem diameter, number of leaves, garlic diameter, garlic weight, and economic yield. The analysis of variance (Table 4) revealed that nutrition had a significant effect on plant height ($p \leq 0.01$). The main effect of planting density was significant ($p \leq 0.05$), while both nutrition ($p \leq 0.001$) and the interaction of planting density and nutrition ($p \leq 0.01$) significantly affected stem diameter and the number of leaves. Additionally, nutrition and the interaction of planting density and nutrition had significant effects on garlic diameter ($p \leq 0.001$). According to the analysis of variance (Table 4), nutrition had a significant effect ($p \leq 0.01$) on the number of cloves. The results also demonstrated that the main effects of density and nutrition, as well as their interaction, positively and statistically significantly influenced garlic weight and economic yield at the $p \leq 0.001$ level.

Conclusions

The results of this experiment showed that the garlic plant exhibited varying responses to different planting densities and levels of nutrition. Increasing planting density reduced plant height, stem diameter, leaf number, garlic diameter, Cloves number in garlic, and garlic weight. Increase the plant density of garlic from 32 to 42 to 52 plants. m⁻² significantly increased the economic yield, respectively. Because of the increase in garlic planted per hectare. The results showed that the effect of different levels of Planting Density and Nutrition was significant on garlic grain yield. The highest mean of garlic grain yield as a provisioning service was obtained from 42 Plants per m⁻² in nutrition with totalize fertilizer 20-20-20 (25756 kg. ha⁻¹), and the lowest garlic grain yield was obtained in control treatment with non-fertilizer application and 32 plants per m⁻² (14314 kg.ha⁻¹). Therefore, with the optimal use of this fertilizer (Humic acid and total fertilizer), the effects of growth and yield on plants are somewhat enhanced, and it is recommended for use in a similar climate.

Keywords: Cloves number, Hamedan White Garlic, Totalize micronutrient fertilizer, Humic acid

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۵۳۳-۵۵۱

پاسخ خصوصیات زراعی و عملکرد گیاه سیر (*Allium sativum* L.) به سطوح مختلف تراکم کاشت و تغذیه

هادی خاوری^۱ و مسعود رفیعی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۳

چکیده

به منظور ارزیابی و مقایسه اثر تراکم کاشت و تغذیه بر خصوصیات زراعی و عملکرد گیاه سیر (*Allium sativum* L.)، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در منطقه بیران شهر لرستان در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ اجرا شد. فاکتورها شامل تراکم کاشت در سه سطح (۳۲، ۴۲ و ۵۲ بوته در مترمربع) و تغذیه در چهار سطح (شاهد، اسید هیومیک، کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ و اسید هیومیک + کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰) بودند. نتایج نشان داد که اثر ساده تراکم کاشت بر قطر ساقه، تعداد برگ، وزن و عملکرد سیر؛ و اثر تیمارهای تغذیه بر ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ، قطر سیر، تعداد سیرچه، وزن و عملکرد سیر معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل تیمارهای تراکم و تغذیه بر قطر ساقه، تعداد برگ، قطر، وزن و عملکرد سیر معنی‌دار بود. بیشترین میانگین قطر سیر (۷/۳ سانتی‌متر) و وزن سیر (۸۶/۳۳ گرم) در تیمار تراکم کاشت ۳۲ بوته در مترمربع در شرایط تغذیه با اسید هیومیک + کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ مشاهده شد. بیشترین میانگین عملکرد سیر به ترتیب (۲۵۷۵۶، ۲۴۸۲۱ و ۲۴۷۰۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار تراکم کاشت ۴۲ بوته در مترمربع در تیمار تغذیه با کود کامل؛ تراکم کاشت ۵۲ بوته در مترمربع در تیمار تغذیه با کود کامل؛ و تراکم کاشت ۵۲ بوته در مترمربع در تغذیه با اسید هیومیک + کود کامل به دست آمد؛ که نسبت به کمترین میانگین عملکرد سیر (۱۴۳۱۴ کیلوگرم در هکتار) در تیمار تراکم کاشت ۳۲ بوته در مترمربع در شرایط تیمار عدم تغذیه به ترتیب به میزان ۷۹/۹، ۷۳/۴ و ۷۲/۵ درصد افزایش نشان داد. به طور کلی، این نتایج نشان داد که تغذیه، رشد و عملکرد گیاه سیر را به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. تغذیه گیاه سیر با اسید هیومیک و کود کامل می‌تواند از طریق توسعه سیستم ریشه‌ای و اندام‌های هوایی و همچنین بهبود جذب آب، فراهمی عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف و نیز تراکم مطلوب بوته‌ها برای استفاده حداکثر از منابع موجود، موجب بهبود رشد و خصوصیات زراعی به‌ویژه قطر و وزن سیر و در نتیجه، افزایش تولید و عملکرد گیاه سیر گردد که می‌تواند در جهت حفظ سلامت محیط زیست و افزایش محصول تولیدی و همچنین بهبود خصوصیات زراعی و عملکرد این گیاه با ارزش مد نظر قرار گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: اسید هیومیک، تعداد سیرچه، سیر سفید همدان، کود کامل ریزمغذی

مقدمه

سیر (*Allium sativum* L.) متعلق به خانواده Liliaceae و جنس *Allium* می‌باشد. این جنس شامل بیش از ۶۰۰ گونه مختلف است که در سراسر آمریکای شمالی، اروپا، شمال آفریقا و آسیا یافت می‌شود. در حدود ۳۰ گونه آن به‌طور مستقیم برای اهداف خوراکی استفاده می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها شامل پیاز خوراکی (*Allium* C_{epa} L.)، سیر، تره فرنگی (*Allium porrum* L.)، پیازچه (*Allium*

۱- عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد خرم آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم آباد، ایران.

۲- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران.

(*)- نویسنده مسئول: Email: m.rafiiei@areeo.ac.ir

وزن تر و خشک سوخ، قطر و وزن خشک سیرچه و افزایش ارتفاع و عملکرد سیر و تعداد سیرچه در سوخ گردید و تراکم کاشت مطلوب نیز با توجه به حصول مقادیر بیشتر ارتفاع بوته، تعداد سیرچه در سوخ و عملکرد بالاتر، تراکم کشت ۵۵ بوته در مترمربع بود (Akbari et al., 2016b).

در تحقیقی در کشور پاکستان نیز اثر تراکم کاشت ۳۸ بوته در مترمربع بر رشد، عملکرد و کیفیت سیر مثبت و معنی‌دار گزارش شد، به‌طوری‌که عملکرد سیر در این تراکم کاشت نسبت به تراکم‌های کاشت ۲۴ و ۳۰ بوته در مترمربع به‌ترتیب به‌میزان ۱۷/۶ و ۱۰/۳ درصد افزایش تولید اقتصادی را نشان داد (Muneer et al., 2017). در پژوهش دیگری نیز بیان شد که تراکم کاشت موجب افزایش معنی‌دار عملکرد و وزن سیر گردید و تراکم کاشت ۷۴۰ هزار بوته در هکتار با ۲۴۱۰۸ کیلوگرم در هکتار، بیشترین عملکرد را داشت (Khodadadi & Nosrati, 2011).

از طرفی، مدیریت زراعی مطلوب و همچنین فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز رشد گیاه که در افزایش عملکرد نقش معنی‌داری دارند، دارای ضرورت زیادی است؛ بهره‌وری در بوم‌نظام‌های زراعی تا حد زیادی تحت تأثیر رعایت فاصله مناسب بین بوته‌ها (تراکم بوته مطلوب) و تغذیه مناسب گیاهان قرار می‌گیرد که این عوامل می‌توانند موجب تغییر در مراحل فنولوژی و عملکرد نهایی گیاهان زراعی گردند (Souza et al., 2011; Fernandes et al., Trani et al., 2008; 2011).

اسید هیومیک به‌عنوان یک اسید آلی طبیعی و سازگار با محیط زیست، اثر مثبتی بر جذب مواد غذایی توسط گیاهان زراعی دارد و برای انتقال و در دسترس بودن عناصر ریزمغذی در گیاه بسیار مهم است. ۶۵ تا ۷۰ درصد مواد آلی موجود در خاک شامل مواد هیومیک (اسیدهای هیومیک و فلاویک) می‌باشد؛ که این ترکیبات محصول تجزیه بافت‌های گیاهی هستند، و به‌طور عمده مشتقاتی از چوبی شدن دیواره سلولی می‌باشند. گروه‌های اصلی در بردارنده اسید هیومیک شامل کربوکسیل‌ها، هیدروکسیل‌های فنل، هیدروکسیل‌های الکل، کتون‌ها و کینون‌ها می‌باشند (Bohme & Thi Lua, 1997; Russo & Berlyn, 1990). در بین کودهای سازگار با طبیعت، اسید هیومیک به‌عنوان یک اسید آلی بدون اثرات مخرب زیست‌محیطی موجب بهبود ساختار فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک شده و به‌دلیل دارا بودن ترکیبات هورمونی، اثرات مثبت و معنی‌داری بر

schoenoprasum L. و موسیر (*Allium ascalanicum L.*) است (Leisova-svobodova et al., 2023). گیاه سیر به‌عنوان ادویه و دارو در بسیاری از نقاط جهان به‌طور گسترده استفاده می‌شود (Carson, 1987; Rahman et al., 2012)؛ و یک محصول مناسب برای کشت در فصل سرد است (El-Sabban & Abouazra, 2008). این گیاه دارویی دارای خواص ضد میکروبی، آنتی‌پروتوزوآل (از بین بردن باکتری‌ها و انگل‌ها)، آنتی‌موتازن (ضد جهش‌زا)، آنتی‌پلاتلیت (رقیق‌کننده خون) و ضد چربی خون است، همچنین آل‌سین به‌عنوان مهم‌ترین ماده مؤثره سیر به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی شناخته شده است (Rahman et al., 2012). امروزه این گیاه علاوه بر خواص ادویه‌ای و دارویی فراوان، به یک گیاه صنعتی با ارزش تجاری بالا تبدیل شده است. عملکرد سیر به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر عوامل مختلف مدیریت زراعی شامل رعایت تراکم کاشت مطلوب در بین بوته‌ها و همچنین کاربرد مناسب مواد غذایی مورد نیاز این گیاه در طی مراحل رشد آن می‌باشد (Muneer et al., 2017; Nori et al., 2012; Haciseferogullari et al., 2005).

کشت محصولات زراعی با رعایت تراکم کاشت مطلوب یکی از مهم‌ترین عواملی است که از طریق کمک به استفاده حداکثر گیاه از منابع خاک و آب نقش مهمی در افزایش عملکرد محصول و بهره‌وری آن دارد؛ افزایش نامطلوب تعداد بوته در واحد سطح می‌تواند موجب افزایش رقابت درون گونه‌ای در جذب نور، آب و مواد غذایی گردیده است و در نهایت، کیفیت محصول تولیدی را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ تراکم گیاهی پایین‌تر از حد مطلوب نیز به‌واسطه کاهش تعداد گیاه در واحد سطح، عملکرد اقتصادی مناسبی نخواهد داشت (Geremew et al., 2010; Rahman & Talukdar, 2003; Etoh & Simon, 2002).

در این رابطه، محققان در پژوهش‌های مزرعه‌ای متعددی، اثربخشی تراکم کاشت را بر عملکرد و خصوصیات زراعی گیاه سیر گزارش نموده‌اند. در پژوهشی، اثر تنش خشکی بر عملکرد، اجزاء عملکرد و آنتی‌اکسیدان در دو اکوتیپ سیر با تراکم‌های کاشت مختلف ۳۰، ۴۰ و ۵۰ بوته در مترمربع، بررسی و گزارش شد که برای حصول عملکردی مناسب، باید از مواجهه این گیاه با تنش خشکی اجتناب نمود و تراکم ۵۰ بوته در مترمربع با توجه به پاسخ مناسب سیر و کسب عملکرد بالاتر نسبت به دو تراکم کاشت دیگر، به‌عنوان تراکم مطلوب شناخته شد (Akbari et al., 2016a).

در مطالعه دیگری گزارش شد که افزایش تراکم، باعث کاهش

شاخص‌های کمی و کیفی محصولات زراعی دارد (Koocheki et al., 2016).

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی اثر تراکم کاشت و تغذیه بر رشد و عملکرد گیاه سیر، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر مبنای طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای واقع در منطقه بیران شهر استان لرستان با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۶۵۳ متر از سطح دریا، در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. عوامل مورد بررسی شامل تراکم کاشت در سه سطح ($D_1=32$ ، $D_2=42$ و $D_3=52$ بوته در مترمربع) و تغذیه در چهار سطح (شاهد N_1 ، اسید هیومیک N_2 ، کود کامل $N_3=20-20-20$ و اسید هیومیک به همراه کود کامل $N_4=20-20-20$) بودند. زمین محل اجرای آزمایش در سال زراعی قبل به کشت گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) اختصاص داشت. قبل از انجام آزمایش جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک محل آزمایش نمونه‌برداری انجام شد. خصوصیات خاک محل انجام آزمایش در جدول ۱ آورده شده است. توصیه کودی با توجه به نتایج آزمایش خاک انجام شد به این صورت که میزان ۹۵ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم K_2SO_4 (محتوی ۵۰ درصد پتاسیم و ۱۷/۵ درصد گوگرد)، ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود دی آمونیوم فسفات گرانوله P_2O_5 (محتوی ۴۶ درصد فسفر و ۱۸ درصد نیتروژن) به صورت دست‌پاش و مخلوط با خاک مزرعه قبل از کاشت سیرچه‌ها و همچنین کود نیتروژن N_2 گرانوله از منبع اوره ۴۶ درصد به میزان ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار به صورت سرک و همراه با آبیاری اول به صورت دست‌پاش در اختیار بوته‌ها قرار گرفت.

در پژوهشی گزارش شد که کاربرد اسید هیومیک اثر مثبت و معنی‌داری بر بهبود شاخص‌های رشد و عملکرد زعفران (*Crocus sativus* L.) داشت (Koocheki et al., 2016). در تحقیقات دیگری نیز گزارش شده است که اسید هیومیک بر تعداد برگ، تعداد سیرچه، وزن سیرچه، عملکرد سیر، محتوای کلروفیل، درصد اسانس و میزان آلیسین گیاه سیر به طور قابل توجهی اثرگذار بوده است (Zeinali & Moradi., 2015). در پژوهش دیگری گزارش شد که محلول‌پاشی اسید هیومیک می‌تواند موجب افزایش عملکرد سیر، کیفیت و همچنین طول عمر انبارداری سیر شود (Abdel-Razzak & El-Sharkawy, 2013).

از مهم‌ترین عوامل محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی در بسیاری از نقاط دنیا، کمبود عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در بیشتر خاک‌های زراعی است (FAO, 2003). تغذیه مناسب به واسطه کاربرد متعادل کودها، با توجه به نیازهای فیزیولوژیکی گیاهان زراعی می‌تواند منجر به دستیابی عملکرد مورد انتظار گردد (Ryan, 2008). تحقیقات نشان داده است که رشد و عملکرد این گیاه تا حد زیادی تحت تأثیر مدیریت عرضه عناصر غذایی مختلف قرار می‌گیرد (Diriba-Shiferaw et al., 2013).

با توجه به اهمیت گیاه دارویی و صنعتی سیر و همچنین لزوم دستیابی به روش‌های مناسب کشت و تولید با کیفیت این گیاه، پژوهش حاضر با هدف دستیابی به بهترین تراکم کاشت و شرایط تغذیه‌ای برای این گیاه با ارزش، در منطقه بیران شهر استان لرستان اجرا شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical characteristics of experimental field

بافت Texture	رس Clay	لای Silt (%)	شن Sand	مس Cu	روی Zn	منگنز Mg (mg.kg ⁻¹)	آهن Fe	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N (%)	کربن الی Organic C (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	عمق Depth (cm)
Silty لوم رسی سیلت دار Clay Loam	37	58	5	0.89	0.97	5.80	3.92	251	9.7	0.09	0.68	0.59	7.2	0-30

fertilizer) ایران (جدول ۲) مورد استفاده قرار گرفت و سیرچه‌های بذری (سیر سفید) از کشاورزان منطقه توپسرکان استان همدان تهیه شد.

در این آزمایش، اسید هیومیک با نام تجاری (HUMIXTRACT) ساخت کشور اسپانیا و کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ با نام تجاری (NutriPad) ساخت شرکت پادنا کود (PADENA)

جدول ۲- مشخصات اسید هیومیک و کود کامل مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Characteristics of humic acid and Totalize fertilizer used in the experiment

Table 2 Characteristics of humic acid and Potassium fertilizer used in the experiment											
نام تجاری Commercial name	محتوا Content										
Humixtract	کل عصاره هیومیک Total humic extract (%)			اسید هیومیک Humic acids (%)	پلی کربوکسیلیک اسید Polycarboxilic acid (%)		کل ماده آلی Total organic matter (%)	اکسید کلسیم Calcium oxide (%)	اکسید پتاسیم Potassium oxide (%)		
	70			38	32		70	1	10		
NutriPad 20-20-20	عناصر غذایی پر مصرف Macro Nutrients (%)				عناصر غذایی کم مصرف Micro nutrients mg.kg ⁻¹)						
	فسفر نیتروژن N			پتاسیم K	بور B	مس Cu	آهن Fe	منیزیم Mn	مولیبدن Mo	روی Zn	آمینو اسید Amino acid
	20	20	20	200	300	1200	300	50	900	8000	

بهینه‌سازی و برنامه‌ریزی مدیریت مصرف آب کشاورزی^۱ استفاده شد. آبیاری با روش فارویی در طی مراحل رشدونمو براساس شرایط اقلیمی منطقه و نیاز زراعی گیاه توسط پمپ آب دیزلی انجام شد. اولین آبیاری پس از پایان بارندگی در ۱۹ اردیبهشت ۱۳۹۶ در ۱۷۴ روز پس از کاشت و مراحل بعدی آبیاری هر شش روز یک بار انجام شد. شروع سبز شدن بوته‌ها و حضور گیاهچه‌های سیر در سطح زمین در نیمه دوم اسفند ماه بود. میانگین حجم آب مصرفی در طی دوره رشدونمو گیاه سیر با احتساب مرحله آخر آبیاری (جهت سهولت در برداشت) در حدود ۱۰۵۸/۴ مترمکعب در هکتار (توسط کنتور آب هوشمند کشاورزی نصب شده در دهانه لوله پمپ دیزلی اندازه‌گیری شد) و تعداد دفعات آبیاری تا پایان فصل رشد هشت مرحله بود و محصول نهایی در تاریخ ششم تیر ماه ۱۳۹۶ برداشت شد. مبارزه با علف‌های هرز در طی مراحل رشدونمو بوته‌ها به‌صورت وجین دستی و طی سه مرحله انجام شد. پس از پایان بارندگی و بالا رفتن درجه حرارت هوا، علائم آلودگی به بیماری زنگ در اثر قارچ *Puccinia allii* در مزرعه مشاهده گردید که جهت مبارزه علیه این بیماری در مرحله یوردینیوم (اوایل فصل رشد زنگ) از سم قارچ‌کش پروپیکونازول (Propiconazole) با نام تجاری تیلت ساخت شرکت بهاور شیمی ایران به‌نسبت ۱/۲۵ در هزار استفاده شد.

جهت آماده‌سازی بستر کاشت، پس از برداشت محصول لوبیا، زمین مورد نظر توسط گاواهن برگردان‌دار در اوایل مهر ماه سال ۱۳۹۵ شخم زده شد. پس از تسطیح زمین، توسط فاروئر شیارهایی با فاصله ۳۰ سانتی‌متر ایجاد شد و سپس سیرچه‌ها به‌روش دستی در عمق پنج تا هشت سانتی‌متری خاک و در تاریخ ۲۵ آبان ماه ۱۳۹۵ به‌صورت انتظاری (بدون انجام آبیاری در زمان کاشت به‌دلیل شروع بارندگی در زمان کاشت) کشت شدند. هر واحد آزمایش شامل چهار خط کاشت به‌طول شش متر با فاصله ۳۰ سانتی‌متر بین ردیف‌های کاشت به‌طور ثابت و فاصله سیرچه‌ها روی ردیف به‌ترتیب ۱۰/۵، ۸ و ۶/۵ سانتی‌متر برای رسیدن به تراکم‌های کاشت ۳۲، ۴۲ و ۵۲ بوته در مترمربع بود. فاصله بین واحدهای آزمایشی یک متر و بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد. برای تیمارهای تغذیه با اسید هیومیک، سیرچه‌ها قبل از کاشت به‌نسبت ۵۰ میلی‌لیتر به‌ازای هر کیلوگرم سیرچه تیمار شدند (Ghasemi et al., 2020). کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ به‌میزان ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار با توجه به دستورالعمل شرکت سازنده استفاده شد. به این صورت که قبل از کاشت، پس از ایجاد شیار، مقدار مشخص شده از کود کامل در طول خط کاشت در زیر سیرچه‌ها ریخته شد و سپس روی آن با خاک پوشانده شد. اولین بارندگی مؤثر برای مزرعه در تاریخ ۱۲ آذر ماه ثبت شد و مجموع بارندگی تا پایان فصل رشد در حدود ۴۵۲/۵ میلی‌متر بود. میانگین بارندگی و درجه حرارت در طول فصل رشد براساس آمار هواشناسی استان لرستان در جدول ۳ آورده شده است.

برای محاسبه نیاز این گیاه در منطقه مورد آزمایش از نرم‌افزار

1- Optimizing Agricultural Water Use and Management (OPTIWAT)

جدول ۳- آمار هواشناسی استان لرستان در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵
Table 1- Meteorological statistics of Lorestan province in 2016-17 crop year

ماه Month	بارندگی Rainfall (mm)	حداقل دمای مطلق Absolute minimum temperature (°C)	حداکثر دمای مطلق Absolute maximum temperature (°C)	تعداد روزهای یخبندان Number of frost days	رطوبت نسبی Relative humidity (%)
مهر October	14	7.4	35.4	0	36
آبان November	190.8	1.5	28.2	0	69
آذر December	125.4	-4.8	20.4	14	67
دی January	57.5	-3.7	18.8	17	65
بهمن February	30.6	-5.4	19.2	16	60
اسفند March	63.9	-0.2	23	2	58
فروردین April	244	-0.6	23.4	0	62
اردیبهشت May	17.2	4.5	37	0	52
خرداد June	0	8.3	39	0	32

در پایان فصل رشد، بعد از گذشت ۲۲۳ روز پس از کاشت و با مشاهده علائم رسیدگی برداشت (خشک شدن برگ‌های پایین و نوک برگ‌های بالا و همچنین باریک شدن طوقه) برداشت بوته‌ها جهت تعیین عملکرد با در نظر گرفتن اثر حاشیه (حذف دو خط کناری و ۵۰ سانتی‌متر از بالا و پایین هر خط کاشت) در سطح ۱/۵ مترمربع انجام شد و پس از خشک کردن تا رسیدن به رطوبت مناسب برای انبارداری (بوته‌ها به صورت دسته‌های ۱۵ تایی در سایه به صورت آویزان قرار گرفت تا اینکه بعد از گذشت حدود ۲۵ روز با توزین تصادفی به وزن ثابتی رسیدند) عملکرد سیر اندازه‌گیری شد. ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ در بوته، قطر سیر، تعداد سیرچه در سیر و وزن سیر با انتخاب تصادفی تعداد ۱۰ بوته از هر واحد آزمایشی تعیین شد. به این صورت که برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته در پایان مراحل رشد رویشی گیاه با در نظر گرفتن اثر حاشیه ارتفاع ۱۰ بوته (از طوقه گیاه تا بالاترین سطح گیاه) از هر واحد آزمایشی به صورت جداگانه توسط متر فلزی اندازه‌گیری شد و در نهایت، میانگین حسابی این اعداد به عنوان ارتفاع بوته ثبت شد. برای اندازه‌گیری قطر ساقه نیز در پایان مرحله رشد رویشی گیاه با در نظر گرفتن اثر حاشیه، قطر ساقه

۱۰ بوته (قسمت بالای طوقه گیاه) از هر واحد آزمایشی به صورت جداگانه توسط کولیس ورنیه‌دار اندازه‌گیری شد و در نهایت، میانگین حسابی این اعداد به عنوان قطر ساقه ثبت شد. همچنین با در نظر گرفتن اثر حاشیه، تعداد برگ‌های ۱۰ بوته از هر واحد آزمایشی به صورت جداگانه شمارش شد و در نهایت، میانگین حسابی این اعداد به عنوان تعداد برگ در بوته ثبت شد. برای اندازه‌گیری قطر سیر نیز در مرحله برداشت نهایی بوته‌ها با در نظر گرفتن اثر حاشیه، قطر سیر ۱۰ بوته از هر واحد آزمایشی به صورت جداگانه توسط کولیس ورنیه‌دار اندازه‌گیری شد و در نهایت، میانگین حسابی این اعداد به عنوان قطر سیر ثبت شد. همچنین با در نظر گرفتن اثر حاشیه، تعداد سیرچه‌ها یا حبه در سیر ۱۰ بوته از هر واحد آزمایشی به صورت جداگانه شمارش شد و در نهایت، میانگین حسابی این اعداد به عنوان تعداد سیرچه در سیر ثبت شد. همچنین وزن سیر تعداد ۱۰ بوته از هر واحد آزمایشی به صورت جداگانه نیز با در نظر گرفتن اثر حاشیه توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم توزین و در نهایت، میانگین حسابی این اعداد به عنوان وزن سیر ثبت شد (مقادیر ارائه شده به عنوان وزن سیر یا محصول نهایی شامل وزن ساقه‌های متصل به سیرچه یا حبه

به طول حدود ۱۰ سانتی متر و مجموع سیرچه های سیر می باشد). در نهایت، داده ها با استفاده از نرم افزار SAS Ver 9. 1. 3 تجزیه واریانس گردید و مقایسه میانگین تیمارهای مورد بررسی نیز با آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای محاسبه ضرایب همبستگی از نرم افزار SPSS Ver 16.0 و برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel 2016 استفاده گردید.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده های آزمایش (جدول ۴) اثر تغذیه ($p \leq 0.01$) بر ارتفاع بوته گیاه سیر معنی دار بود.

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تراکم کاشت (D) و تغذیه (N) بر صفات مورد مطالعه سیر

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) the effect of (D) Density and (N) Nutrition on studied traits of garlic

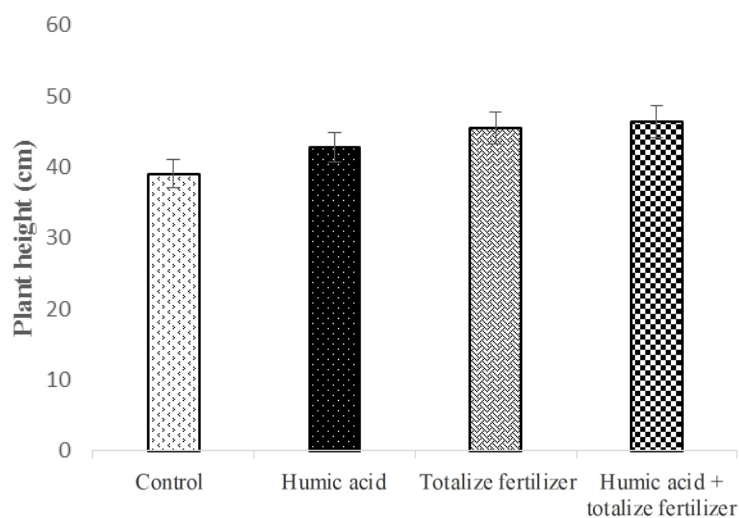
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	قطر ساقه Stem diameter	تعداد برگ Leafs number	قطر سیر Garlic diameter	تعداد سیرچه در سیر Cloves number in garlic	وزن سیر Garlic weight	عملکرد سیر Garlic yield
تکرار Replication	2	25.54 ^{ns}	0.093 ^{ns}	0.246 ^{ns}	0.465 ^{ns}	1.36 ^{ns}	45.90 ^{ns}	5874268.0 ^{ns}
تراکم Density (D)	2	15.21 ^{ns}	0.238 [*]	11.98 ^{**}	1.121 ^{ns}	19.44 ^{ns}	1180.30 ^{***}	53828397.5 ^{**}
تغذیه Nutrition (N)	3	98.11 ^{**}	1.154 ^{***}	25.36 ^{***}	9.84 ^{***}	37.13 ^{**}	1222.92 ^{***}	100562434.2 ^{***}
D × N	6	32.55 ^{ns}	0.399 ^{**}	10.43 ^{**}	3.08 ^{***}	17.17 ^{ns}	694.91 ^{***}	41830647.5 ^{***}
خطا Error	22	17.33	0.062	1.518	0.334	8.482	26.49	4198487.0
ضریب تغییرات C.V (%)	-	9.58	14.96	10.19	9.76	24.55	9.45	9.87

***: معنی دار در سطح احتمال ($p \leq 0.001$); **: معنی دار در سطح احتمال ($p \leq 0.01$); *: معنی دار در سطح احتمال ($p \leq 0.05$) و ns: غیر معنی دار.

ns: nonsignificant; *: significant at $p \leq 0.05$; **: significant at $p \leq 0.01$ and ***: significant at $p \leq 0.001$.

اثر مثبت بر متابولیسم سلول های گیاهی و همچنین با قدرت کلات کنندگی و افزایش جذب عناصر غذایی سبب افزایش رشد و ارتفاع گیاه سیر می شود (Yousif, 2018). سایر محققان نیز گزارش کردند که فراهمی بیشتر عناصر غذایی قابل دسترس برای گیاه از طریق مصرف متعادل کودهای شیمیایی ریزمغذی می تواند موجب بهبود رشد رویشی و در نتیجه، افزایش ارتفاع بوته در گیاه سیر گردد (Khorramdel & Shooride, 2012). همچنین در رابطه با توسعه زیست توده اندام های هوایی و افزایش ارتفاع بوته به واسطه به کارگیری اسید هیومیک و عناصر غذایی در خاک مزرعه، نتایج مشابهی توسط سایر پژوهشگران در گیاه سیر (Abdel-Razzak & El-Sharkawy, 2013; Diriba-Shiferaw et al., 2013; Zaki et al., 2014; Zaman et al., 2011) و پیاز خوراکی (Abreham et al., 2014) گزارش شده است که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

ارتفاع بوته در سطوح مختلف تیمار تغذیه نسبت به شاهد (عدم کاربرد اسید هیومیک و کود کامل ریزمغذی) افزایش معنی داری نشان داد؛ مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین میزان ارتفاع بوته (۴۶/۴۴ سانتی متر) مربوط به تیمار تغذیه با اسید هیومیک + کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ بوده و کمترین میزان آن (۳۹/۰۵ سانتی متر) مربوط به شاهد بود، به طوری که ارتفاع بوته در تیمار تغذیه با اسید هیومیک + کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ به میزان ۱۸/۹ درصد بیشتر از شاهد بود (شکل ۱). این موضوع نشان می دهد که کاربرد دوگانه اسید هیومیک و کود کامل ریزمغذی احتمالاً به واسطه افزایش حجم ریشه و همچنین در کنار فراهمی عناصر غذایی در خاک مزرعه، توانست در جذب آب و مواد غذایی به گیاه سیر کمک بیشتری کرده و موجب شد که اثر مثبت و معنی دار بر رشد این گیاه و در نتیجه، افزایش ارتفاع بوته بگذارد. در این خصوص گزارش شده است که اسید هیومیک با

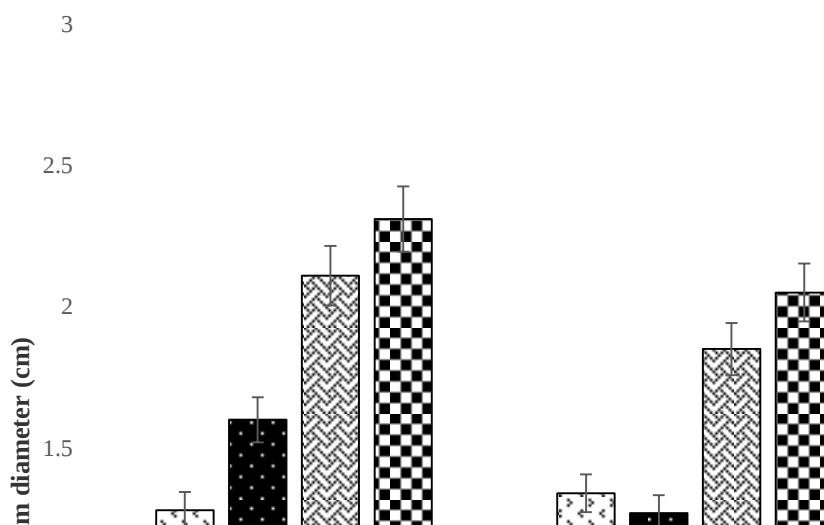


شکل ۱- اثر ساده تغذیه بر ارتفاع بوته سیر
Fig. 1- Main effect of nutrition on plant height of garlic
 Plant height Least Significant Difference 4.07 (LSD 0.05)

قطر ساقه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر تراکم کاشت تغذیه ($p \leq 0.05$)، و اثر متقابل تراکم کاشت و تغذیه ($p \leq 0.01$) بر قطر ساقه گیاه سیر معنی‌دار بود (جدول ۴). بررسی اثر متقابل تراکم کاشت و تغذیه بر قطر ساقه نشان داد که کاربرد همزمان اسید هیومیک + کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ تفاوت معنی‌داری را

در قطر ساقه گیاه سیر در مقایسه با شاهد داشت، به‌طوری‌که بیشترین میزان قطر ساقه (۲/۳۱ سانتی‌متر) در تیمار تراکم کاشت ۳۲ بوته در مترمربع در شرایط تغذیه با اسید هیومیک + کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ به‌دست آمد که نسبت به کمترین میزان قطر ساقه (۱/۲۷ سانتی‌متر)، در تیمار تراکم کاشت ۵۲ بوته در مترمربع در شاهد، به‌میزان ۸۱/۸ درصد افزایش داشت (شکل ۲).



شکل ۲- اثر متقابل تراکم کاشت و تغذیه بر قطر ساقه سیر
Fig. 2- Effect of interaction density and nutrition on stem diameter of garlic
 Stem diameter Least Significant Difference 0.423 (LSD 0.05)

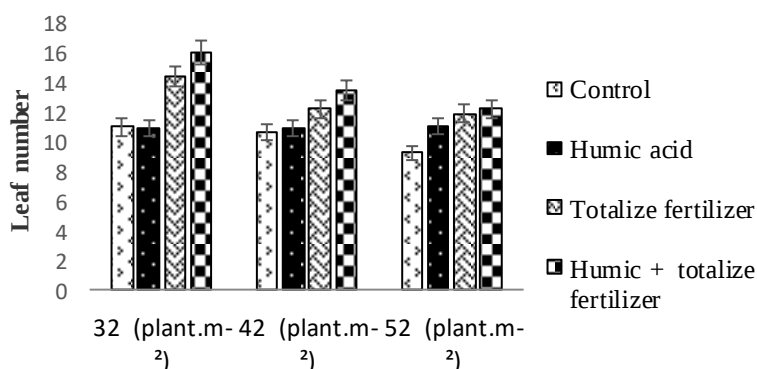
درصدی را نشان داد (Ghasemi et al., 2020). در رابطه با اثر تغذیه با اسید هیومیک و کود کامل ریزمغذی بر بهبود شاخص‌های رشد و قطر ساقه نیز نتایج مشابهی توسط دیربا-شیفرآو و همکاران (Diriba-Shiferaw et al., 2013) و عبدل-رزاک و ال-شراکوی (Abdel-Razzak & El-Sharkawy, 2013) روی گیاه سیر، آلام و همکاران (Alam et al., 2010) روی پیاز خوراکی، گزارش شده است که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

تعداد برگ در بوته

با توجه به نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس (جدول ۴)، اثر تراکم کاشت ($p \leq 0/01$)، تغذیه ($p \leq 0/01$) و همچنین اثر متقابل تراکم کاشت و تغذیه ($p \leq 0/01$) بر تعداد برگ در بوته گیاه سیر اثرگذار بود.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با کاربرد توأم اسید آلی طبیعی و کود کامل، تعداد برگ در بوته گیاه سیر افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین شمار برگ در بوته (۱۶/۱۳ برگ) در تیمار تراکم کاشت ۳۲ بوته در مترمربع و کاربرد همزمان اسید هیومیک + کود کامل ۲۰-۲۰ کاشت ۲۰-۲۰ نسبت به کمترین میزان آن (۹/۳۳ برگ) در تیمار تراکم کاشت ۵۲ بوته در مترمربع در شاهد به‌میزان ۷۲/۸ درصد افزایش داشت (شکل ۳).

نتایج این آزمایش نشان داد که قطر ساقه گیاه سیر به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر تراکم کاشت و تغذیه قرار گرفت. به نظر می‌رسد که با افزایش تراکم بوته (۵۲ بوته در مترمربع)، شرایط رقابتی بر سر جذب نور، آب و مواد غذایی در بین بوته‌ها ایجاد شده و به‌دنبال آن، قطر ساقه نسبت به تراکم‌های پایین‌تر (۳۲ و ۴۲ بوته در مترمربع) کاهش یافته است. در این پژوهش با افزایش تراکم، قطر ساقه در گیاه سیر کاهش یافت. از طرفی، کاربرد اسید هیومیک در کنار کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ توانست تا حد زیادی این کاهش قطر ساقه را که به‌دلیل شرایط تغذیه‌ای ایجاد شده بود را جبران کند؛ از این طریق که ممکن است با فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز بوته‌ها، موجب بهبود استقرار بوته‌ها و در نتیجه، افزایش قطر ساقه گردید، به‌طوری‌که قطر ساقه در تیمار تراکم بوته ۳۲ (۲/۳۱ سانتی‌متر)، ۴۲ (۲/۰۵ سانتی‌متر) و ۵۵ (۱/۶۶ سانتی‌متر) بوته در مترمربع در شرایط تغذیه با اسید هیومیک + کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ نسب به شاهد (۱/۲۹ سانتی‌متر) به‌ترتیب به‌میزان ۷۹/۰۶، ۵۸/۹ و ۲۸/۶ درصد افزایش یافت (شکل ۲). محققان گزارش کردند که اسید هیومیک می‌تواند موجب جذب بهتر آب و انتقال مواد غذایی در گیاه شده و از این طریق، سبب افزایش رشد ریشه و قطر ساقه می‌گردد (Moghbali & Arvin, 2014). همچنین محققان گزارش کردند که قطر ساقه سیر در تیمار کاربرد اسید هیومیک نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان داد، به طوری‌که قطر ساقه در تیمار کاربرد اسید هیومیک افزایش ۱۲/۷



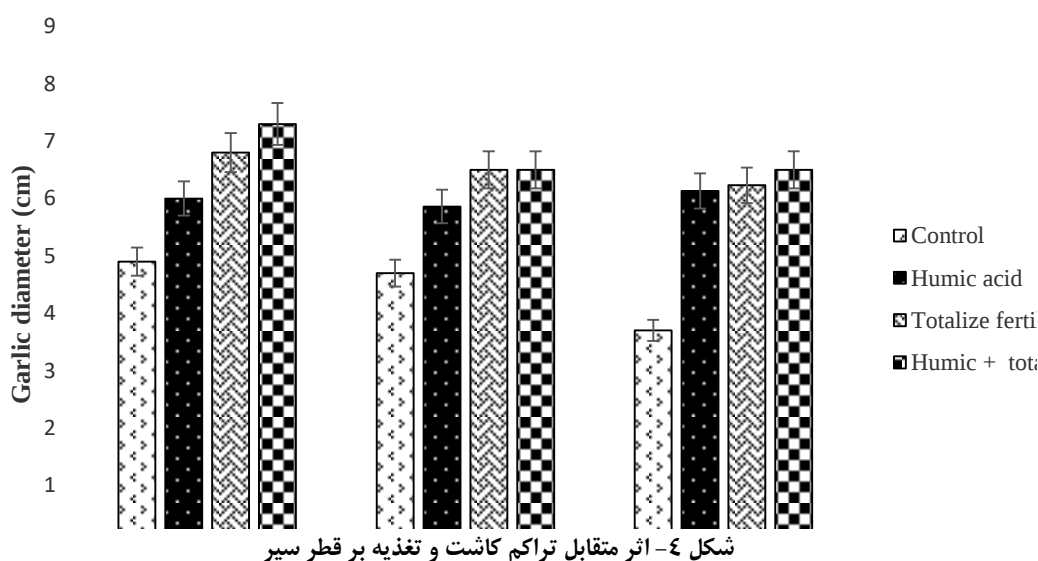
شکل ۳- اثر متقابل تراکم کاشت و تغذیه بر تعداد برگ سیر

Fig. 3- Effect of interaction density and nutrition on leaf number of garlic
Leaf number Least Significant Difference 2.08 (LSD 0.05)

تعداد برگ در بوته گزارش شده است که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

قطر سیر

با توجه به نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس، اثر تغذیه و همچنین اثر متقابل تراکم کاشت و تغذیه ($p \leq 0.001$) بر قطر سیر معنی دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها نشان داد که بیشترین میزان قطر سیر (۷/۳ سانتی متر) در تیمار تراکم کاشت ۳۲ بوته در مترمربع در تغذیه با اسید هیومیک + کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ و کمترین آن (۳/۷ سانتی متر) در تیمار تراکم کاشت ۵۲ بوته در مترمربع در شاهد به دست آمد که قطر سیر به میزان ۹۷/۲ درصد افزایش داشت (شکل ۴).



شکل ۴- اثر متقابل تراکم کاشت و تغذیه بر قطر سیر
Fig. 4- Effect of interaction density and nutrition on garlic diameter
Garlic diameter Least Significant Difference 0.098 (LSD 0.05)

طور معنی داری کاهش یافت. در این خصوص می توان چنین بیان داشت که رقابت بین بوته ها جهت دریافت مواد فتوسنتزی می تواند موجب کاهش کارایی فعالیت بوته ها برای نمو ساقه و برگ ها گردد که در نتیجه، موجب کاهش قطر سیر خواهد شد.

دیگر پژوهشگران نیز گزارش نمودند که افزایش تراکم، باعث کاهش وزن تر و خشک سیر، قطر و وزن خشک سیرچه در سیر و

به نظر می رسد که تراکم کاشت با تعداد برگ در بوته رابطه معکوس و تغذیه با تعداد برگ در بوته گیاه سیر رابطه مستقیم دارد، به طوری که با افزایش تراکم، ارتفاع بوته و در نتیجه، تعداد برگ در بوته کاهش می یابد. در این رابطه می توان بیان داشت که کاهش تراکم و ایجاد فضای مناسب رشد برای بوته ها احتمالاً می تواند موجب کاهش رقابت در بین بوته ها برای دستیابی به نور و در نتیجه، رشد بهتر آن ها در کنار تغذیه مناسب گردد. در پژوهش های مزرعه ای انجام شده نتایج مشابهی توسط شافک و همکاران (Shafeek et al., 2015)، عبدل - رزاک و ال - شرکاوی (Abdel-Razzak & El-Zeinali, 2013) و همچنین زینلی و همکاران (Sharkawy, 2013) بر گیاه سیر در رابطه با اثر تراکم کاشت و به - کارگیری اسید هیومیک و کودهای زیستی و آلی در افزایش رشد و

در تفسیر نتیجه حاصل از افزایش میزان قطر سیر در تراکم های مختلف کاشت و تغذیه، می توان اظهار داشت که برتری میزان قطر سیر در تیمار تراکم کاشت ۳۲ بوته در مترمربع در تغذیه با اسید هیومیک + کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ می تواند به دلیل بهبود رشد رویشی و همچنین دسترسی کافی بوته ها به نور و عناصر غذایی در خاک مزرعه باشد. با افزایش تراکم بوته ها در واحد سطح، قطر سیر نیز به -

افزایش ارتفاع و عملکرد سیر و تعداد سیرچه در سیر گردید (Akbari et al., 2016b) که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

کاربرد اسید هیومیک در کنار کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ توانست از طریق بهبود خصوصیات کمی بوته‌ها نظیر ارتفاع بوته، قطر ساقه و همچنین افزایش تعداد برگ‌های فعال، کارایی جامعه گیاهی را در طول فصل رویش بهبود بخشد که در نتیجه، موجب افزایش قطر سیر به ترتیب به میزان (۶۴/۷، ۴۵/۷ و ۴۲/۲ درصد) در تراکم‌های مختلف کاشت ۳۲ (۷/۳ سانتی‌متر)، ۴۲ (۶/۵ سانتی‌متر) و ۵۲ (۶/۳ سانتی‌متر) بوته در مترمربع نسبت به تیمار تراکم کاشت ۳۲ (۴/۴۳ سانتی‌متر) بوته در مترمربع و عدم کاربرد اسید هیومیک و کود کامل ریزمغذی (با کمترین میزان قطر سیر) شده است (شکل ۴). این نتایج بیانگر آن است که فراهمی عناصر غذایی در محیط رشد گیاه سیر، علاوه بر ایجاد شرایط مناسب برای رشد مطلوب بوته‌ها، می‌تواند اثر کاهشی افزایش تراکم را بر خصوصیات زراعی این گیاه مانند قطر سیر به میزان چشمگیری جبران کند. در این خصوص همچنین عبدل-رزاک و ال-شراکوی (Abdel-Razzak & El-Sharkawy, 2013) نیز بیان داشتند که کاربرد کود زیستی (Halex-2) به همراه محلول-پاشی اسید هیومیک موجب افزایش معنی‌دار رشد، عملکرد کیفی، خاصیت انبارداری و همچنین قطر سیر در مقایسه با شاهد شد.

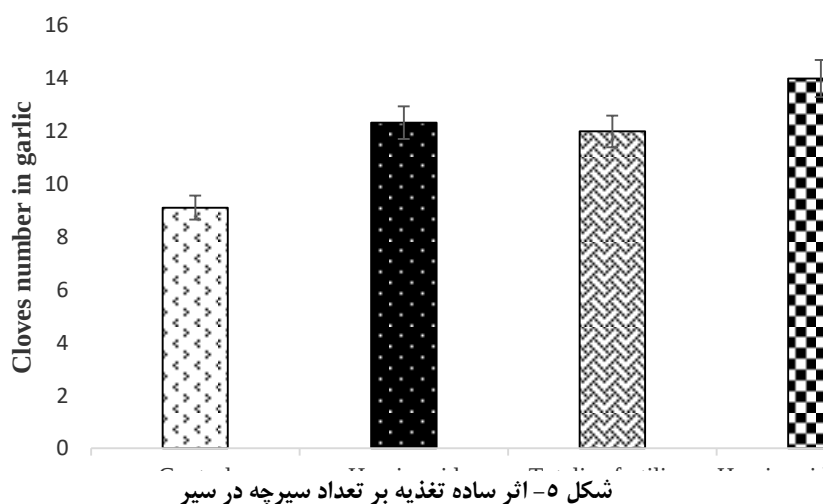
تعداد سیرچه در سیر

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس، تغذیه ($p \leq 0/01$) بر تعداد سیرچه در سیر اثرگذار بود (جدول ۴). تعداد سیرچه در سیر تحت تأثیر تراکم‌های مختلف کاشت قرار نگرفت که احتمالاً این صفت به عنوان یکی از صفات اجزاء عملکرد سیر، بیشتر تحت تأثیر اکوتیپ و شرایط تغذیه‌ای گیاه است و نسبت به محیط و فاصله کاشت روند ثابتی را به لحاظ کمیت نشان می‌دهد که این نتیجه با نتایج آزمایش اکبری و همکاران (Akbari et al., 2016a) مطابقت دارد؛ اما تعداد سیرچه در سیر در سطوح مختلف تغذیه افزایش یافت؛ مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها نشان داد که بین سطوح مختلف تغذیه به لحاظ افزایش تعداد سیرچه در سیر تفاوت معنی‌داری وجود دارد. به طوری که بیشترین تعداد سیرچه در سیر (۱۴/۰۰ سیرچه) در تیمار کاربرد همزمان اسید هیومیک + کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ به دست آمد که نسبت به کمترین میزان آن (۹/۱۱ سیرچه) در شاهد به میزان ۵۳/۶ درصد افزایش داشت (شکل ۵). در خصوص اثر توأم به کارگیری اسید هیومیک و کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ می‌توان بیان داشت که

افزایش قابلیت دسترسی و همچنین فراهم بودن عناصر غذایی مختلف مورد نیاز برای رشد مطلوب بوته‌ها، موجب بهبود توسعه ریشه و همچنین خصوصیات رشدی گیاه مانند توسعه اندام‌های هوایی گردید؛ که در نتیجه توانست تعداد سیرچه در سیر را افزایش دهد. در این خصوص دارابی و دهقانی (Darabi & Dehghani, 2010) بیان داشتند که تعداد سیرچه موجود در سوخ از عوامل مهم در بازارپسندی سیر می‌باشد و با زیاد شدن تعداد سیرچه از بازارپسندی محصول به طور قابل توجهی کاسته خواهد شد. با توجه به یافته‌های این پژوهش، فراهمی عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف به صورت متعادل و براساس شرایط خاک مزرعه مورد کشت در کنار به کارگیری اسید هیومیک، می‌تواند تا حد چشمگیری موجب افزایش تعداد سیرچه در سیر با حفظ کیفیت بازارپسندی آن گردد. در پژوهش‌های مزرعه‌ای انجام شده، نتایج مشابهی توسط سایر محققان در رابطه با اثر تراکم کاشت و تغذیه گیاه سیر با کاربرد اسید هیومیک گزارش شده است (Zeinali & Moradi, 2015; Shafeek Muneer et al., 2017) (et al., 2015) که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

وزن سیر

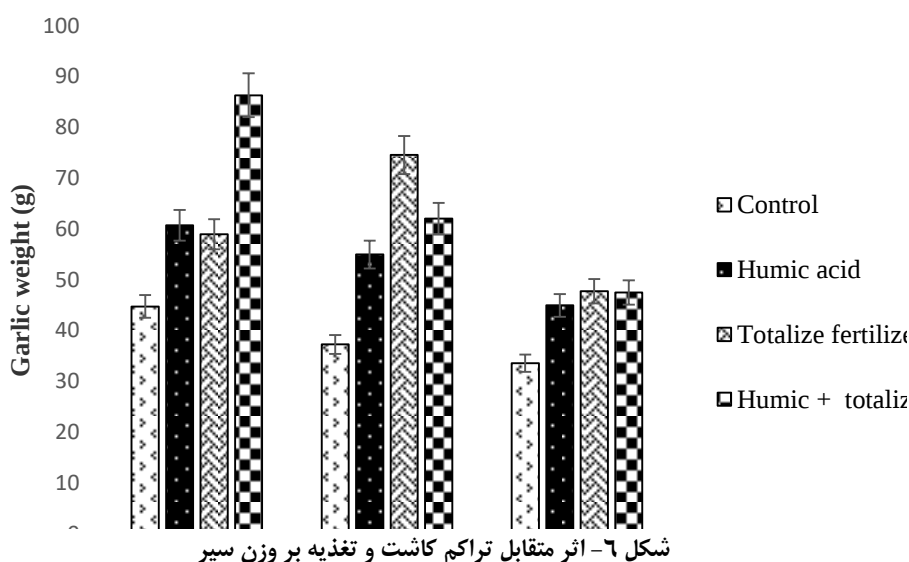
نتایج تجزیه واریانس آزمایش (جدول ۴) نشان داد که اثر تراکم کاشت، تغذیه و همچنین اثر متقابل تراکم کاشت و تغذیه به طور معنی‌داری ($p \leq 0/001$) بر وزن سیر اثرگذار بود. مقایسه میانگین تیمارها نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین سطوح مختلف اثر متقابل تراکم کاشت و تغذیه بر وزن سیر بود، به طوری که بیشترین وزن سیر (۸۶/۳۳ گرم) در تیمار تراکم کاشت ۳۲ بوته در مترمربع در تغذیه گیاه سیر با اسید هیومیک + کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ و کمترین آن (۳۳/۵۶ گرم) در تیمار ۵۲ بوته در مترمربع در شاهد، مشاهده شد (شکل ۶). با افزایش تراکم کاشت وزن سیر به طور نسبی کاهش یافت، بیشترین وزن سیر در هر بوته در تیمارهایی که با تراکم پایین تر کاشته شده بود به دست آمد. متوسط وزن سیر در تراکم کاشت ۴۲ بوته در مترمربع بود، به این ترتیب که وزن سیر در تیمار تراکم کاشت ۳۲ بوته در مترمربع و کاربرد همزمان اسید هیومیک + کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ در حدود ۸۶/۳۳ گرم به ترتیب ۳۹/۱ و ۸۱/۷ درصد بیشتر از تراکم‌های کاشت ۴۲ و ۵۲ بوته در مترمربع بود (شکل ۶). کاربرد اسید هیومیک در کنار کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ توانست وزن سیر را در تیمارهای مختلف تراکم کاشت ۲۳، ۴۲ و ۵۲ بوته در مترمربع به ترتیب ۵۱/۸، ۶۰ و ۷۰/۶ درصد نسبت به شاهد افزایش دهد (شکل ۶).



شکل ۵- اثر ساده تغذیه بر تعداد سیرچه در سیر
Fig. 5- Main effect of nutrition on cloves number in garlic
Cloves number in garlic Least Significant Difference 2.84 (LSD 0.05).

قابل ملاحظه عملکرد نهایی محصول تولیدی در زراعت این گیاه گردد. در این خصوص گزارش شده است که تغذیه گیاه زعفران (*Crocus sativus* L.) توسط اسید هیومیک ضمن تقویت بنه‌های خواهری بر تولید گل و کلاله زعفران اثرات قابل ملاحظه‌ای بر جا گذاشت (Koocheki et al., 2016) که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

به نظر می‌رسد که ایجاد شرایط مناسب تغذیه‌ای برای گیاه سیر در ابتدای فصل رشد توانست موجب بهبود خصوصیات رشدی و اختصاص بیشتر مواد فتوسنتزی به اندام‌های اقتصادی گردد که در نتیجه، وزن سیر در تیمارهای مختلف تغذیه به‌طور معنی‌دار نسبت به شاهد افزایش یافت. تغذیه مناسب گیاه سیر با افزایش قطر و همچنین تعداد سیرچه در سیر توانست در نهایت، وزن سیر را به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر قرار دهد که این افزایش وزن سیر می‌تواند موجب افزایش



شکل ۶- اثر متقابل تراکم کاشت و تغذیه بر وزن سیر
Fig. 6- Effect of interaction density and nutrition on garlic weight
Garlic weight Least Significant Difference 8.71 (LSD 0.05)

عملکرد سیر

نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه واریانس این آزمایش نشان داد که تراکم کاشت، تغذیه و همچنین اثر متقابل تراکم کاشت و تغذیه به‌طور معنی‌داری ($p \leq 0.001$) بر عملکرد سیر اثرگذار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین میزان عملکرد سیر به‌ترتیب (۲۵۷۵۶، ۲۴۸۲۱ و ۲۴۷۰۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار تراکم کاشت ۴۲ بوته در مترمربع در تغذیه با کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰؛ تراکم کاشت ۵۲ بوته در مترمربع در تیمار تغذیه با کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰؛ و تراکم کاشت ۵۲ بوته در مترمربع در تغذیه با اسید هیومیک + کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ به‌دست آمد، که همگی در یک کلاس آماری (A) قرار گرفتند؛ که نسبت به عملکرد سیر در شاهد برای تراکم کاشت ۴۲ و ۵۲ بوته در مترمربع (۱۵۶۵۲ و ۱۷۴۵۴ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب به‌میزان ۶۴/۵، ۴۲/۲ و ۴۱/۵ درصد افزایش نشان داد (شکل ۷). در این بررسی کمترین عملکرد سیر نیز (۱۴۳۱۴ کیلوگرم در هکتار) در تیمار تراکم کاشت ۳۲ بوته در مترمربع در شاهد به‌دست آمد (شکل ۷).

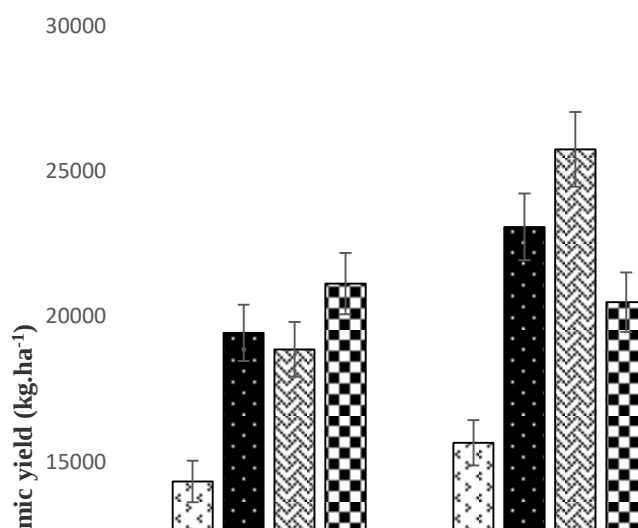
کمتر بودن مقدار اجزاء عملکرد در تراکم کاشت ۵۲ بوته در مترمربع می‌تواند به‌دلیل پایین بودن قدرت رقابتی گیاه سیر نسبت به سایر گیاهان زراعی در دستیابی به منابع محیطی به‌ویژه نور خورشید و همچنین سایه‌اندازی بوته‌ها بر روی یکدیگر باشد که این نتایج با نتایج اسماعیلیان و همکاران (Esmailian et al., 2022) مطابقت دارد. این محققان دلیل کاهش عملکرد و خصوصیات زراعی سیر را در کاشت متراکم، به اثرات رقابتی به‌ویژه سایه‌اندازی بوته‌ها بر یکدیگر نسبت دادند که از طریق کاهش فتوسنتز، کاهش معنی‌دار عملکرد سیر را به همراه داشته است (Akbari Esmailian et al., 2022) ; (et al., 2016).

در تراکم کاشت ۵۲ بوته در مترمربع اگرچه وزن سیر به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، اما به‌دلیل افزایش تعداد بوته‌ها در واحد سطح، عملکرد سیر نیز نسبت به تراکم‌های کاشت ۳۲ و ۴۲ بوته در مترمربع به‌ترتیب ۶۹/۲ و ۷۵/۹ درصد افزایش داشت (شکل ۷) که با نتایج اکبری و همکاران (Akbari et al., 2016)، خدادادی و

نصرتی (Khodadadi & Nosrati, 2011) و دارابی و دهقانی (Darabi & Dehghani, 2010) در رابطه با افزایش عملکرد سیر تحت تأثیر تراکم‌های مختلف کاشت مطابقت دارد. نتایج آزمایش نشان‌دهنده عملکرد بالاتر سیر در تراکم‌های کاشت ۳۲، ۴۲ و ۵۲ بوته در مترمربع در شرایط تغذیه با اسید هیومیک و کود کامل ریزمغذی به‌صورت جداگانه و ترکیب با هم نسبت به شاهد (بدون مصرف اسید هیومیک و کود کامل ریزمغذی) است که نشان‌دهنده فراهم شدن شرایط رشد و تغذیه‌ای بهتر برای بوته‌ها و شدت رقابت کمتر درون گونه‌ای برای افزایش رشد و عملکرد سیر بوده است.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین (شکل ۷)، در تراکم ۴۲ بوته در مترمربع و کاربرد توأم اسید هیومیک و کود کامل، عملکرد کل از تراکم ۵۲ و ۳۲ بوته در مترمربع کمتر شده است که احتمالاً به‌دلیل افزایش بیشتر رشد ریشه، تعداد برگ، قطر ساقه و قطر سیر در این تیمار نسبت به سایر تیمارها بوده است که در نتیجه این افزایش خصوصیات زراعی، بوته‌ها برای تولید نهایی با کمبود عناصر غذایی عرضه شده در خاک مزرعه مواجه شده‌اند و عملکرد کل نیز نسبت به این تیمارها کاهش داشته است.

به‌طور کلی، این نتایج نشان می‌دهد که تغذیه، رشد و عملکرد گیاه سیر را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. به نظر می‌رسد که تغذیه گیاه سیر توانسته است از طریق توسعه سیستم ریشه‌ای و اندام‌های هوایی و همچنین بهبود جذب آب، فراهمی عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف و نیز تراکم مطلوب بوته‌ها برای استفاده حداکثر از منابع موجود، موجب بهبود رشد و خصوصیات زراعی مانند قطر و وزن سیر و در نتیجه افزایش تولید و عملکرد گیاه سیر گردد. دیگر پژوهشگران نیز بیان داشتند که خصوصیات رشد و عملکرد گیاه سیر و زعفران به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر شرایط تغذیه‌ای و کاربرد اسید هیومیک قرار می‌گیرد (Amin et al., 2017; Koocheki et al., 2016; Abdel-Razzak & El-Sharkawy, 2013; Zeinali & Moradi, 2015; Ahmadi et al., 2017; Shafeek et al., 2015) که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.



شکل ۷- اثر متقابل تراکم کاشت و تغذیه بر عملکرد سیر

Fig. 7- Effect of interaction density and nutrition on garlic yield
Garlic weight Least Significant Difference 3469.6 (LSD 0.05)

همبستگی صفات

بررسی همبستگی صفات (جدول ۵) نشان داد که همبستگی مثبت و قوی ($p \leq 0.01$) بین صفات قطر سیر و همچنین وزن سیر با عملکرد سیر وجود دارد. بین صفات ارتفاع بوته با قطر ساقه، تعداد برگ در بوته، قطر سیر ($p \leq 0.01$)، تعداد سیرچه در سیر ($p \leq 0.05$) و همچنین وزن سیر ($p \leq 0.01$)؛ قطر ساقه با تعداد برگ در بوته، قطر سیر ($p \leq 0.01$)، تعداد سیرچه در سیر ($p \leq 0.05$) و همچنین

وزن سیر ($p \leq 0.01$)؛ تعداد برگ در بوته با قطر سیر، تعداد سیرچه در سیر و وزن سیر ($p \leq 0.01$)؛ قطر سیر با تعداد سیرچه در سیر و همچنین وزن سیر ($p \leq 0.01$)؛ تعداد سیرچه در سیر با وزن سیر ($p \leq 0.01$) نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. بنابراین، صفات زراعی مهم و تأثیرگذار در تعیین عملکرد نهایی گیاه سیر به ترتیب قطر سیر و وزن سیر می‌باشند (شکل ۸).

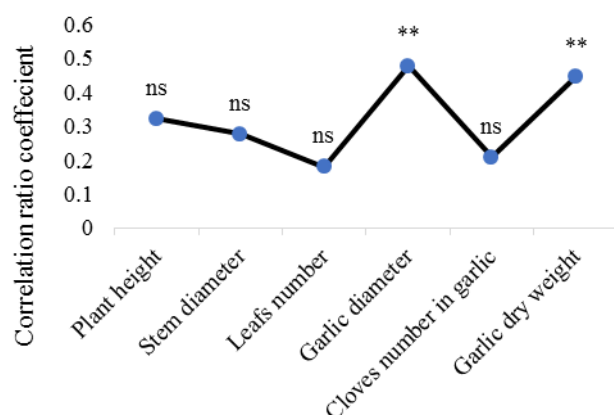
جدول ۵- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه گیاه سیر

Table 5- Correlation coefficients between studied traits of garlic plant

ردیف No.		1	2	3	4	5	6	7
1	ارتفاع بوته Plant height (cm)	1						
2	قطر ساقه Stem diameter (cm)	0.580 **	1					
3	تعداد برگ Leaf number	0.465 **	0.658 **	1				
4	قطر سیر Garlic diameter (cm)	0.565 **	0.711 **	0.696 **	1			
5	تعداد سیرچه در سیر Cloves number in garlic	0.384 *	0.407 *	0.566 **	0.585 **	1		
6	وزن سیر Garlic weight (g)	0.516 **	0.653 **	0.661 **	0.665 **	0.547 **	1	
7	عملکرد سیر Garlic yield (kg.ha ⁻¹)	0.322 ns	0.276 ns	0.181 ns	0.477 **	0.209 ns	0.445 **	1

***: معنی‌دار در سطح احتمال ($p \leq 0.01$); **: معنی‌دار در سطح احتمال ($p \leq 0.05$) و ns: غیرمعنی‌دار.

ns, nonsignificant; *, significant at $p \leq 0.05$; **, significant at $p \leq 0.01$.



شکل ۸- همبستگی بین عملکرد سیر و خصوصیات مورد مطالعه گیاه سیر

Fig. 8- Coefficients of correlation between garlic yield and studied traits of garlic plant

***، معنی‌دار در سطح احتمال (0.01)؛ *، معنی‌دار در سطح احتمال (0.05) و ns، غیرمعنی‌دار.

ns, nonsignificant; *, significant at $p \leq 0.05$; **, significant at $p \leq 0.01$.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که گیاه سیر به تراکم‌های مختلف کاشت و تغذیه، پاسخ متفاوتی نشان می‌دهد. افزایش تراکم کاشت موجب کاهش ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ، قطر سیر، تعداد سیرچه در سیر و وزن سیر شد. اما عملکرد سیر در تراکم‌های بالاتر به دلیل افزایش تعداد بوته در واحد سطح افزایش یافت. کیفیت محصول تولیدی به لحاظ بازارپسندی تحت تأثیر تراکم‌های مختلف کاشت تا حد زیادی تفاوت نشان داد. همچنین خصوصیات مورد مطالعه، پاسخ مثبت و معنی‌داری را نسبت به تیمارهای مختلف تغذیه نشان داد. اگرچه کیفیت و اندازه سیرچه‌های تولید شده تحت تأثیر افزایش تراکم کاشت این گیاه پایین‌تر بود، اما ایجاد شرایط تغذیه‌ای مناسب برای این گیاه توانست تا حد زیادی صفات مهم در تعیین بازارپسندی و ارزش اقتصادی محصول مانند قطر، تعداد سیرچه و وزن سیر را به طور معنی‌داری بهبود بخشد. یافته‌ها نشان داد که تغذیه اهمیت زیادی در بهره‌وری گیاه سیر دارد و همراه با مدیریت خوب (مبارزه به‌موقع با بیماری‌ها و آفات) و همچنین رعایت تراکم مطلوب بین بوته‌ها، عملکرد سیر و همچنین کیفیت سیرچه‌های تولیدی را به لحاظ وزنی به طور معنی‌دار افزایش می‌دهد. به طور کلی، نتایج این آزمایش نشان داد که:

- ۱- اثر تراکم بوته بر ارتفاع بوته معنی‌دار نبود و بلندترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار تغذیه با اسید هیومیک + کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ بود.

۲- قطر ساقه گیاه سیر به طور معنی‌دار تحت تأثیر تراکم کاشت و تغذیه قرار گرفت که بیشترین میزان قطر ساقه در تیمار تراکم کاشت ۳۲ بوته در مترمربع در شرایط تغذیه با اسید هیومیک + کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ به دست آمد.

۳- اثر تراکم کاشت، تغذیه و همچنین اثر متقابل تراکم کاشت و تغذیه بر تعداد برگ در بوته گیاه سیر اثرگذار بود. بیشترین شمار برگ در بوته در تیمار تراکم کاشت ۳۲ بوته در مترمربع و کاربرد همزمان اسید هیومیک + کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ مشاهده شد.

۴- اثر تغذیه و همچنین اثر متقابل تراکم کاشت و تغذیه بر قطر سیر معنی‌دار بود، بیشترین میزان قطر سیر در تیمار تراکم کاشت ۳۲ بوته در مترمربع در تغذیه با اسید هیومیک + کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ به دست آمد.

۵- تغذیه بر تعداد سیرچه در سیر اثرگذار بود و تعداد سیرچه در سیر تحت تأثیر تراکم‌های مختلف کاشت قرار نگرفت، و بیشترین تعداد سیرچه در سیر در تیمار کاربرد همزمان اسید هیومیک + کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ به دست آمد.

۶- اثر تراکم کاشت، تغذیه و همچنین اثر متقابل تراکم کاشت و تغذیه به طور معنی‌داری بر وزن سیر اثرگذار بود، بیشترین وزن سیر در تیمار تراکم کاشت ۳۲ بوته در مترمربع در تغذیه گیاه سیر با اسید هیومیک + کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ مشاهده شد.

۷- تراکم کاشت، تغذیه و همچنین اثر متقابل تراکم کاشت و تغذیه به طور معنی‌داری بر عملکرد سیر اثرگذار بود، بیشترین عملکرد

اقتصادی مناسب و همچنین بهبود سایر صفات زراعی شامل ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ در بوته، قطر سیر، تعداد سیرچه و وزن سیر، زراعت این گیاه را در شرایط آب‌وهوایی منطقه بیران‌شهر لرستان و مناطقی با اقلیم مشابه کشاورزی، با رعایت تراکم بوته مناسب و نیز کاربرد اسید هیومیک + کود کامل حاوی عناصر پرمصرف و کم-مصرف، در جهت حفظ پایداری در کشاورزی و همچنین افزایش سلامت محصول تولید شده در این گیاه باارزش توصیه نمود.

سیر به‌میزان ۲۵۷۵۶، ۲۴۸۲۱ و ۲۴۷۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب در تیمارهای تراکم کاشت ۴۲ بوته در مترمربع در تغذیه با کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰؛ تراکم کاشت ۵۲ بوته در مترمربع در تغذیه با کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰؛ و تراکم کاشت ۵۲ بوته در مترمربع در تغذیه توأم اسید هیومیک + کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ به‌دست آمد که همگی در یک کلاس آماری قرار گرفتند. با توجه به نتایج این آزمایش، می‌توان برای دستیابی به عملکرد

References

1. Abdel-Razzak, H.S., & El-Sharkawy, G.A. (2013). Effect of biofertilizer and humic acid application on growth, yield, quality and storability of two garlic (*Allium Sativum* L.) cultivars. *Asian Journal of Crop Science*, 5(1), 48-64. <https://doi.org/10.3923/ajcs.2013.48.64>
2. Abreham, M., Bizuayehu, T., & Essubalew, G. (2014). Growth and bulb yield garlic varieties affected by nitrogen and phosphorus application at Mesqan Woreda, South Central Ethiopia. *Sky Journal of Agricultural Research*, 3(11), 201-207. <https://doi.org/249.255/sjar.2014.201.207>
3. Akbari, S., Kafi, M., & Rezvan Beidokhti, S. (2016a). The effects of drought stress on yield, yield components and anti-oxidant of two garlic (*Allium sativum* L.) ecotypes with different planting densities. *Journal of Agroecology*, 8(1), 95-106. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JAG.V8I1.47373>
4. Akbari, S., Kafi, M., & Rezvan Beidokhti, S. (2016b). Effect of Drought Stress on Growth and Morphological Characteristics of Two Garlic (*Allium sativum* L.) Ecotypes in Different Planting Densities. *Journal of Agroecology*, 9(2), 559-574. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v9i2.62141>
5. Alam, M.N., Abedin, M.J., & Azad, M.A.K. (2010). Effect of micronutrients on growth and yield of onion under calcareous soil environment. *International Research Journal of Plant Science*, 1(3), 056-061. <https://doi.org/20.122895/IJB.N895.101-120>
6. Amin, Z., Fallah, S., & Abbasi Surki, A. (2017). The effect of type and application method of fertilizer treatments on growth and yield of medicinal garlic. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 15(1), 185-203. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/GSC.V15I1.51177>
7. Ahmadi, F., Aminifard, M. H., Khayyat, M., & Samadzade, A. R. 2017. Effects of different humic acid levels and planting density on antioxidant activities and active ingredients of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy & Technology*, 5(1), 61-71. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22048/jsat.2017.40889>
8. Bohme, M., & Thi Lua, H. (1997). Influence of mineral and organic treatments in the rhizosphere on the growth of tomato plants. *Acta Horticulturae*, 450, 161-168. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.450.18>
9. Carson, J.F. (1987). Chemistry and biological properties of onions and garlic. *Food Reviews International*, 3, 1-103. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.450.18>
10. Darabi, A., & Dehghani, A. (2010). Effect of planting date and planting density on yield, yield components and rust disease severity in Ramhormoz selected garlic in Behbahan region. *Seed and Plant Production*, 26(1), 43-55. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/SPPJ.2017.110393>
11. Diriba-Shiferaw, G., Nigussie-Dechassa, R., Woldetsadik, K., Getachew, T., & Sharma, J.J. (2013). Growth and nutrients content and uptake of garlic (*Allium sativum* L.) as influenced by different types of fertilizers and soils. *Science, Technology and Arts Research Journal*, 2(3), 35-50. <https://doi.org/10.4314/star.v2i3.98727>
12. El-Sabban, F., & Abouazra, H. (2008). Effect of garlic on atherosclerosis and its factors. *EMHJ-Eastern Mediterranean Health Journal*, 14(1), 195-205. <https://doi.org/10665/117426>
13. Esmaeilian, Y., Eshghizadeh, M., & 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. <https://doi.org/10.22067/agry.2021.20274.0>
14. Etoh, T., & Simon, P.W. (2002). Diversity, fertility and seed production of garlic: 101-117. In: Rabinowitch, H.D. and Currah, L., (Eds.). *Allium Crop Science: Recent Advances*. CABI, Wallingford, UK, 528 p.

- <https://doi.org/10.1079/9780851995106.010>
15. Fernandes, L. J. C., Villas Bôas, R. L., Backes, C., Lima, C. P. & Büll, L. T. (2011). Contribution of nitrogen concentrations in garlic cloves treated with doses of N in side dressing. *Horticultura Brasileira*, 29(11), 26-31. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362011000100005>
 16. Food and Agricultural Organization, FAO. (2003). Global review of area and production of garlic, 135-139.
 17. Ghasemi, K., Akbarpour, V., & Mohammadi, M. (2020). Morphological and phytochemical response of garlic (*Allium sativum*) to sulphur, humic acid and vermicompost nutrition. *Journal of Horticultural Plant Nutrition*, 3(1), 23-36. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22070/HPN.2020.4573.1032>
 18. Geremew, A., Teshome, A., Kasaye, T., & Ament, C. (2010). Effect of intra-row spacing on yield of three onion (*Allium cepa* L.) varieties at Adami Tulu Agricultural Research Center (Mid Rift valley of Ethiopia). *Journal of Horticulture and Forestry*, 2(1), 007-011. <https://doi.org/10.22069/JHF.2010.007-011>
 19. Haciseferogullari, H., Ozcan, M., Demir, F., & Calisir, S. (2005). Some nutritional and technological properties of garlic (*Allium sativum* L.). *Journal of Food Engineering*, 68(2005), 463-469. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.06.024>
 20. Khodadadi, M., & Nosrati, A.E. (2011). Effect of sowing date and planting density on yield and yield components of white garlic of Hamadan. *Seed and Plant Production*, 27(4), 491-500. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/SPPJ.2017.110450>
 21. Khorramdel, S., & Shoorideh, H. (2012). Effect of different nitrogen fertilizer and various mulch rates on yield and yield component of garlic (*Allium sativum* L.). *Journal of Agroecology (Quarterly)*, 4(4), 316-326. <https://doi.org/10.22067/JAG.V4I4.17815>
 22. Koocheki, A., Fallahi, H.R., Amiri, M.B., & Ehyaei, H.R. (2016). Effects of humic acid application and mother corm weight on yield and growth of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Agroecology*, 7(4), 425-442. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JAG.V7I4.53822>
 23. Leisova-svobodova, L., Stavelikova, H., & Zamecnik, J. (2023). Evaluation of genetic diversity and phenotypic description of garlic (*Allium sativum* L.) from the Czech field collection. *Scientia Horticulturae*, 323(1), 112506. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112506>
 24. Muneer, N., Hussain, M., Ahmad, M.J., Khan, N., Hussain, N., & Hussain, B. (2017). Effect of planting density on growth, yield and quality of garlic at Rawalakot, Azad Kashmir. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR)*, 10(1), 42-51. <https://doi.org/10.222370/ijaar.2017.42-51>
 25. Moghbeli, T., & Arvin, M.J. 2014. Effect of seed preparation with growth regulators on germination, growth and yield of melon fruit. *Journal of Production and Processing of Agricultural and Horticultural Products*, 4(14), 23-33. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/jppahp.2014.561148.23-33>
 26. Nori, M., Bayat, F., & Esmaeili, A. (2012). Changes of vegetative growth indices and yield of garlic (*Allium sativum* L.) in different sources and levels of nitrogen fertilizer. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4(18), 1394-1400. <https://doi.org/10.22034/IUVS.2015.15357>
 27. Rahman, A.K.M., & Talukdar, MP. (2003). Influence of date of planting and plant spacing on the growth and yield of garlic. *Bangladesh Journal of Agriculture* 11(2): 19-26. <https://doi.org/10.22271/bja.2003.v9.i1an.11664>
 28. Rahman, M.M., Fazlic, V., & Saad, N.W. (2012). Antioxidant properties of raw garlic (*Allium sativum*) extract. *International Food Research Journal*, 19(2), 589-591. <https://doi.org/10.47836/ifrj.30.5.01>
 29. Russo, R.O., & Beriyn, GP. (1990). The use of organic biostimulants to help low-input sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, 1(2), 19-42. https://doi.org/10.1300/J064v01n02_04
 30. Ryan, J. (2008). A perspective on balanced fertilization in the Mediterranean region. *The Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(2), 79-89. <https://doi.org/10.4522/tjaf.322.79-89>
 31. Sedaghati, A.R., Kafi, M., Rezvan Bidokhti, Sh., & 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 abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2016.105891>
 32. Shafeek, M.R., Aisha, H., Asmaa, R.A., Magda, M., Hafez, M., & Fatma, A.R. (2015). Improving growth and productivity of garlic plants (*Allium sativum* L.) as affected by the addition of organic manure and humic acid levels in sandy soil conditions. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4(9), 644-656. <https://doi.org/10.1016/j.cmas.2015.137809>

33. Souza, R. J., Macêdo, F. S., Carvalho, J. G., Santos, B. R., & Leite, L. V. R. (2011). Absorption march of nutrients in vernalized garlic originated from tissue culture cultivated under nitrogen doses. *Horticultura Brasileira*, 29(1), 498-503. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362011000400009>
34. Trani, P. E., Camargo, M. S., Foltran, D. E., Hiroce, R., Arruda, F. B., & Sawazaki, H. E. (2008). Yield and lateral shoot growing of garlic influenced by nitrogen, potassium and mulching. *Horticultura Brasileira*, 26(8), 330-334. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362008000300008>
35. Yousif, K.H. (2018). Effect of humic acid and seaweeds extracts on growth, yield and nutrient content of garlic (*Allium sativum* L.). *Journal of University of Duhok*, 21(1), 8-18. <https://doi.org/10.26682/avuod.2019.21.1.2>
36. Zaki, H., Toney, H., & Abd Elraouf, R. (2014). Response of two garlic cultivars (*Allium sativum* L.) to inorganic and organic fertilization. *Journal of Nature and Science*, 12(10), 52-60. <https://doi.org/10.1210/jnc.2014.52-60>
37. Zaman, M., Hashem, M., Jahiruddin, M., & Rahim, M. (2011). Effect of nitrogen for yield maximization of garlic in old Brahmaputra flood plain soil. *Bangladesh Journal and Agricultural Research*, 36(2), 357-367. <https://doi.org/10.3329/bjar.v36i2.9263>
38. Zeinali, A., & Moradi, P. (2015). The effects of humic acid and ammonium sulfate foliar spraying and their interaction effects on the qualitative and quantitative yield of native garlic (*Allium sativum* L.). *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 4(12), 205-211. <https://doi.org/10.209042/jaeb.74.205-211>



Agro-Ecological Assessment of Lands in Behshahr County for Lentil (*Lens culinaris* Medik.) Cultivation

Karim Riahi¹, Hossein Kazemi^{2*}, Afshin Soltani³ & Fardin Sadeghzadeh⁴

1-, 2 and 3- Ph.D. Student and Professor, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, respectively.

4- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

(*- Corresponding author's Email: hkazemi@gau.ac.ir)

Received: 14-12-2023
Revised: 16-02-2024
Accepted: 25-05-2024
Available Online: 09-11-2024

How to cite this article:

Riahi, K., Kazemi, H., Soltani, A., & Sadeghzadeh, F. (2024). Agro-ecological assessment of lands in Behshahr county for lentil (*Lens culinaris* Medik.) cultivation. *Journal of Agroecology*, 16(3), 553-568. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/agry.2024.85876.1178>

Introduction

Agriculture is one of the most important economic sectors of the country, and it plays a vital role in achieving sustainable development, which requires the use of scientific principles and methods and the recognition of environmental capabilities. In this regard, there is a close relationship between agricultural development and environmental resources. In recent years, the level of agricultural land has decreased, and this decrease in land suitable for agricultural production can be attributed to the lack of optimal land use, which has directly affected the ability to produce food on a large scale and seriously affected food security. However, in many cases, agricultural systems have low production, which is related to management issues. Also, the climatic capabilities of the regions are sometimes effective as a limiting factor in crop production. Based on this, it is very important to identify the capabilities of the land before the performance of various activities such as agriculture. This study was carried out with the aim of agroecological evaluation of lands in Behshahr County (Yane-Sar region) for lentil cultivation using spatial analysis of geographical information system (GIS) and analysis hierarchy process (AHP) in 2021-2022.

Materials and Methods

This research was carried out in the agricultural lands of the Yane-sar district of Behshahr county in Mazandaran province from 2021 to 2022. In order to prepare digital maps of soil characteristics of agricultural lands, agricultural soil samples were taken after the harvest in the summer of 2021. In this research, climatic variables (minimum, maximum, average temperatures and annual precipitation), topography (slope, aspect, and elevation above sea level), and soil characteristics (texture, K, P, Cu, Mn, N, Fe, TNV, organic matter, EC, pH) were used. Thematic



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

 <https://doi.org/10.22067/agry.2024.85876.1178>

maps for each variable were created using various models in ArcGIS 10.8 and then overlaid with AHP weights. The final map was classified into four categories: high suitability, suitability, semi-suitability, and non-suitability.

Results and Discussion

The results showed that the range of electrical conductivity (EC) in the soil of agricultural lands of the study area was between 0.84-2.63 dS m⁻¹. According to its distribution, most of it is located in the northwest and southeast of the region, and its lowest value is located in the central and northern regions. Also, the results showed that the distribution of soil organic matter (OM) is between 0.35-7.22 percent. The central and southern areas of this region had the minimum percentage of organic matter. The results showed that the most suitable areas for lentil cultivation are located in the northern, central, and southern parts of the region. In general, two classes of high suitability and suitability comprise about 56.97% of the area. One of the main reasons for this result was the suitable soil fertility, rainfall, and topographical conditions. Zones with semi-suitability and non-suitability cultivation potential were also included in 43.03% of the region's area. The results showed that the northwest, parts of the centre, and parts of the southwest were located in the semi-suitability class for lentil cultivation.

Conclusion

Considering various factors to determine the suitable lands for lentil cultivation, it was found that most of the agricultural lands in the studied region were in zones of high suitability for lentil cultivation. Also, in the semi-suitability and non-suitability classes, low nitrogen amount in parts of the centre, high humidity and rainfall in the west of the region, high phosphorus amounts in parts of the central and northwest regions, the inappropriate texture in some fields and low rainfall were determined as limiting factors for the growth of lentil.

Keywords: Analysis Hierarchy Process (AHP), Geographic Information System (GIS), Land use suitability

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۵۶۸-۵۵۳

ارزیابی زراعی- بوم‌شناختی اراضی شهرستان بهشهر جهت کشت عدس
(*Lens culinaris Medik.*)

کریم ریاحی^۱، حسین کاظمی^{۲*}، افشین سلطانی^۳ و فردین صادق زاده^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۵

چکیده

این مطالعه با هدف ارزیابی زراعی- بوم‌شناختی اراضی شهرستان بهشهر (بخش یانه‌سر) جهت کشت عدس (*Lens culinaris Medik.*) با استفاده از تحلیل‌های مکانی سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در سال ۱۴۰۰-۱۴۰۱ انجام شد. برای این منظور، از متغیرهای اقلیمی (دماهای کمینه، بیشینه، متوسط و بارش سالانه)، توپوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا) و خصوصیات خاک (بافت، وزن مخصوص ظاهری، پتاسیم، فسفر، نیتروژن، مس، منگنز، آهن، آهک، ماده آلی، هدایت الکتریکی و اسیدیته) استفاده شد. نقشه‌های موضوعی هر یک از متغیرها با مدل‌های مختلف موجود در ArcGIS 10.8 تهیه شد. سپس با اختصاص وزن‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) روی هم‌گذاری شدند. نقشه نهایی با ارزش‌های بسیار مستعد، مستعد، نیمه‌مستعد و غیرمستعد در چهار کلاس طبقه‌بندی شد. براساس نتایج به‌دست آمده در نقشه نهایی استعدادسنجی، بخش‌هایی از شمال و مرکز محدوده مورد مطالعه از مطلوبیت عوامل محیطی برخوردار بودند، اما قسمت‌هایی از شمال غرب و مرکز و جنوب منطقه در پهنه غیرمستعد قرار گرفتند. مناطق بسیار مستعد برای کشت گیاه عدس با ۱۲/۵۲ درصد در قسمت شمالی منطقه براساس مطلوبیت عوامل اقلیمی، خاک و توپوگرافی کمترین مساحت را داشتند. در مجموع، دو پهنه بسیار مستعد و مستعد ۵۶/۹۷ درصد منطقه را شامل شدند. از طرفی، پهنه‌های نیمه‌مستعد و غیرمستعد ۴۳/۰۳ درصد از کل مساحت منطقه را به خود اختصاص دادند. مناطقی در شمال غرب، مرکز و قسمت‌هایی از جنوب غرب برای کشت عدس نیمه‌مستعد یا غیرمستعد تعیین شدند. از دلایل اصلی این نتیجه می‌توان به کمبود برخی متغیرهای خاکی مانند ماده آلی و شرایط نامناسب اقلیمی از جمله کمبود بارش و نیز توپوگرافی (شیب و جهت جغرافیایی) نام برد.

واژه‌های کلیدی: استعدادسنجی اراضی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

مقدمه

کشاورزی و منابع طبیعی نیز ارتباط تنگاتنگی وجود دارد (Safaripour & Naseri, 2018). در سال‌های اخیر، سطح زمین-های کشاورزی کاهش یافته است که این کاهش زمین‌های مستعد کشاورزی را می‌توان در نتیجه عدم استفاده اصولی و بهینه از سرزمین عنوان کرد که مستقیماً بر قابلیت تولید مواد غذایی در مقیاس وسیع اثر گذاشته و امنیت غذایی را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (Montgomery et al., 2016). دستیابی به سطح بهینه غذا و امنیت غذایی مستلزم استفاده از روش‌های بهینه و تحلیل‌های مکانی است که می‌تواند ارزیابی دقیقی از قابلیت‌ها و پتانسیل‌های محیطی

کشاورزی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصادی کشور، نقش مهمی در رسیدن به توسعه پایدار را ایفا می‌کند، البته میان توسعه

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری و استاد، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۳- دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

*- نویسنده مسئول: (Email: hkazemi@gau.ac.ir)

برای تولید غذا در حال حاضر و آینده داشته باشد (Godfray et al., 2010; Montgomery et al., 2016). اما استفاده از سرزمین به تناسب قابلیت‌ها و توانمندی‌های آن زمانی محقق می‌شود که توسعه و حفظ توازن بوم‌شناختی زمانی آن نیز رعایت گردد (Hanafi & Khushal Dastjerdi, 2017). در بسیاری از موارد، سامانه‌های زراعی دارای عملکرد پایینی هستند که علاوه بر مسائل مدیریتی، توانمندی‌های اقلیمی منطقه نیز به‌عنوان عامل محدودکننده تأثیرگذار است. بر این اساس، شناسایی توانمندی‌های سرزمین پیش از انجام فعالیت‌های گوناگون بسیار حائز اهمیت است (Trashi et al., 2020). بنابراین، تعیین توان بالقوه و تخصیص کاربری‌های متناسب با توان و قابلیت اراضی روشی است که می‌تواند میان توان طبیعی محیط، نیاز جوامع، کاربری‌ها و فعالیت‌های انسان در محیط یک رابطه منطقی و یک سازگاری پایدار ایجاد کند (Montgomery et al., 2016). روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از گسترده‌ترین ابزارهای تصمیم‌گیری چند معیاره است (2004 Omkarprasad, این روش در برگیرنده مجموعه‌ای از داورها و ارزش‌گذاری به شیوه‌ای منطقی است، به‌طوری‌که از یک سو به تصورات شخصی و طرح‌ریزی سلسله مراتبی یک مسئله وابسته است و از سوی دیگر، با منطق، درک و تجزیه برای تصمیم‌گیری و داور نهایی مرتبط می‌شود. نتایج وزن‌دهی معیارها با روش تحلیل سلسله مراتبی در استان گلستان نشان داد که بارندگی مطلوب دوره رشد با ضریب $0.289/0$ و حداقل دمای تاریخ کاشت با ضریب $0.364/0$ به‌ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را در تعیین وضعیت مناطق جهت کشت محصول نخود فرنگی را داشتند (Trashi et al., 2020). نتایج مطالعه‌ای دیگر نشان داد که شرایط درجه حرارت در دشت هوانگ- هوای چین بسیار مناسب برای کاشت گندم و ذرت است، درحالی‌که بخش شمالی دشت به‌دلیل بارش کم، برای کشت این محصولات نامناسب است (Thanh Tuan et al., 2011). پاکپور ربطی و همکاران (Pakpour Rabeti et al., 2013) در استان آذربایجان غربی به ارزیابی اراضی مستعد محصولات کشاورزی (ذرت، آفتابگردان و جو) با استفاده از GIS پرداختند. نتایج نشان داد که در محدوده مورد مطالعه، برای جو، بسیار مناسب (S1) و برای ذرت و آفتابگردان به‌دلیل محدودیت رطوبت نسبی در طول دوره رشد، نسبتاً مناسب (S2) ارزیابی شد. نظری ویند و همکاران (et al., 2020)

Nazari Viand) برای پهنه‌بندی اراضی مستعد کشاورزی در شهرستان خلخال استان اردبیل از روش سلسله مراتبی استفاده کردند و نشان دادند که توان طبقات در نظر گرفته شده دارای اهمیت زیادی برای کشت محصولات کشاورزی در منطقه است. توان‌پور و قائمی (Tuanpour & Ghaemi, 2015) نیز استان فارس را برای کشت گندم پهنه‌بندی کردند و نشان دادند که عوامل اقلیمی اثر مهم‌تری در کشت گندم دارند. بنی‌آقایی (Baniaghil, 2015) طی تحقیقی به پهنه‌بندی و ارزیابی فیزیکی تناسب اراضی برای محصولات خاص (گندم، سویا) با استفاده از GIS در استان گلستان پرداخت. نتایج نشان داد که بیش از ۸۵ درصد از اراضی استان جهت کشت گندم و بیش از ۶۲ درصد از اراضی استان جهت کشت سویا در محدوده بسیار مستعد و مستعد قرار گرفتند. بیدادی و همکاران (Bidadi et al., 2015) به‌منظور شناخت عوامل و عناصر اقلیمی، توپوگرافی و شوری مؤثر بر کشت گندم دیم در حوزه قره‌سو استان گلستان و پهنه‌بندی نواحی مستعد کشت این محصول با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS^۲) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، ابتدا نیازهای بوم‌شناختی گندم دیم با استفاده از منابع علمی موجود تعیین و درجه‌بندی کردند، سپس نقشه‌های موضوعی مورد نیاز تهیه و طبقه‌بندی شد. نتایج نشان داد که منطقه مورد مطالعه در چهار پهنه (خیلی مناسب، نسبتاً مناسب، ضعیف و نامناسب) از نظر تناسب اراضی قرار می‌گیرد. حدود ۵۱۷۰ هکتار (شش درصد) از مساحت اراضی زراعی حوزه قره‌سو و سه درصد از مساحت کل اراضی حوزه دارای تناسب بالایی جهت کشت گندم دیم بودند. بارش مناسب، شیب‌های کمتر و رو به جنوب و همچنین هدایت الکتریکی در حد مطلوب از ویژگی‌های این مناطق بود.

در مطالعه‌ای متغیرهای محیطی مانند شوری، ماده آلی، فرسایش خاک، طبقات بافت خاک و بارندگی‌های پاییزه، بهاره، اردیبهشت و خرداد ماه به‌عنوان عوامل محدودکننده عملکرد دیم در مناطق شمالی و شمال شرقی استان گلستان شناسایی شدند (Kazemi & Akinci, 2018). نتایج پژوهشی دیگر نشان دادند که ۲۳/۴۸ درصد از منطقه گنبد کاووس برای کشت باقلا بسیار مستعد، در حالی که ۲۵/۰۳ درصد مستعد، ۲۵/۳۸ درصد نیمه‌مستعد و ۲۶/۱۱ درصد از کل اراضی کشاورزی برای تولید محصول غیرمستعد می‌باشد. از جمله عوامل محدودکننده رشد گیاه باقلا، شوری خاک، مواد آلی کم، بارندگی کم،

واحد سطح، استفاده نادرست از سرزمین و منابع محیطی و ورود بدون مطالعه برخی از محصولات به الگوی کشت منطقه در سال‌های اخیر می‌باشد. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی زراعی-بوم‌شناختی، شناسایی مزیت‌ها و محدودیت‌های منابع بوم‌شناختی جهت کشت عدس در زمین‌های کشاورزی منطقه یانه‌سر شهرستان بهشهر انجام شد.

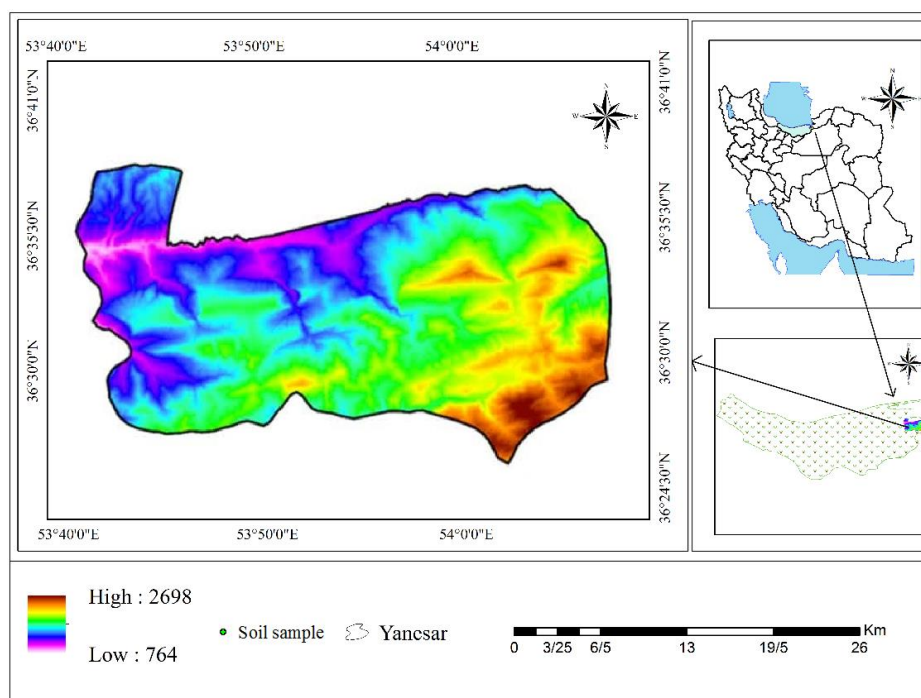
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه

این پژوهش در بخش یانه‌سر واقع در ۷۰ کیلومتری جنوب شرق شهرستان بهشهر در استان مازندران با مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۶۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۸۸ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۷۶۴ الی ۲۶۹۸ متر از سطح دریا در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ انجام شد. مساحت منطقه یانه‌سر بالغ بر ۵۵۰ کیلومترمربع است که شامل زمین‌های زراعی، مرتع، جنگل و باغ می‌باشد (شکل ۱). سطح زیر کشت محصولات زراعی غالب شامل گندم در حدود ۳۰۰۰ هکتار، جو حدود ۲۰۰۰ هکتار، برنج حدود ۳۳۰ هکتار و عدس حدود ۲۰۰ هکتار است.

محتوای کلسیم بالا و کمبود مقادیر فسفر و آهن در منطقه اعلام شد (Kazemi et al., 2016). از اصول مهم و اولیه کشاورزی پایدار، متکی بودن کشت و زرع گیاهان به توانایی منطقه در جهت تأمین نیازهای بوم‌شناختی آن‌هاست و در گام‌های بعدی است که می‌توان با مدیریت صحیح، استفاده از نهاده‌ها پایداری کشاورزی را حفظ و تداوم بخشید (Koocheki, 2008; Kamkar & Mahdavi Damghani, 2008).

برای شناخت توانایی بوم‌شناختی هر منطقه بهترین روش، آمایش سرزمین و ارزیابی توان آن می‌باشد، زیرا با استفاده از این روش می‌توان منطقه مستعد کشت هر گیاهان را در سطح وسیع نسبت به روش‌های آزمایشگاهی و مزرعه‌ای تعیین کرد و با اصول مدیریتی هدفمند در جهت پایداری کشاورزی و جلوگیری از تخریب محیط-زیست گام برداشت (Koocheki et al., 2008; Shahi-Moridi et al., 2016; Nazari Viand et al., 2020). در منطقه یانه‌سر شهرستان بهشهر عموماً کشاورزی به‌صورت نظام دیم چهار محصول گندم، جو، عدس و سطح کمی هم به‌صورت زراعت آبی برنج انجام می‌شود. تاکنون در این زمینه، مطالعات تناسب اراضی براساس ویژگی‌های اقلیمی و خصوصیات خاک انجام نشده است، از طرفی، کشاورزی منطقه دارای مشکلات و مسائلی مانند کاهش تولید در



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعه در استان مازندران و بخش یانه‌سر بهشهر

Fig. 1- Location of the study area in Mazandaran province and Yaneh-Ser district in Behshahr

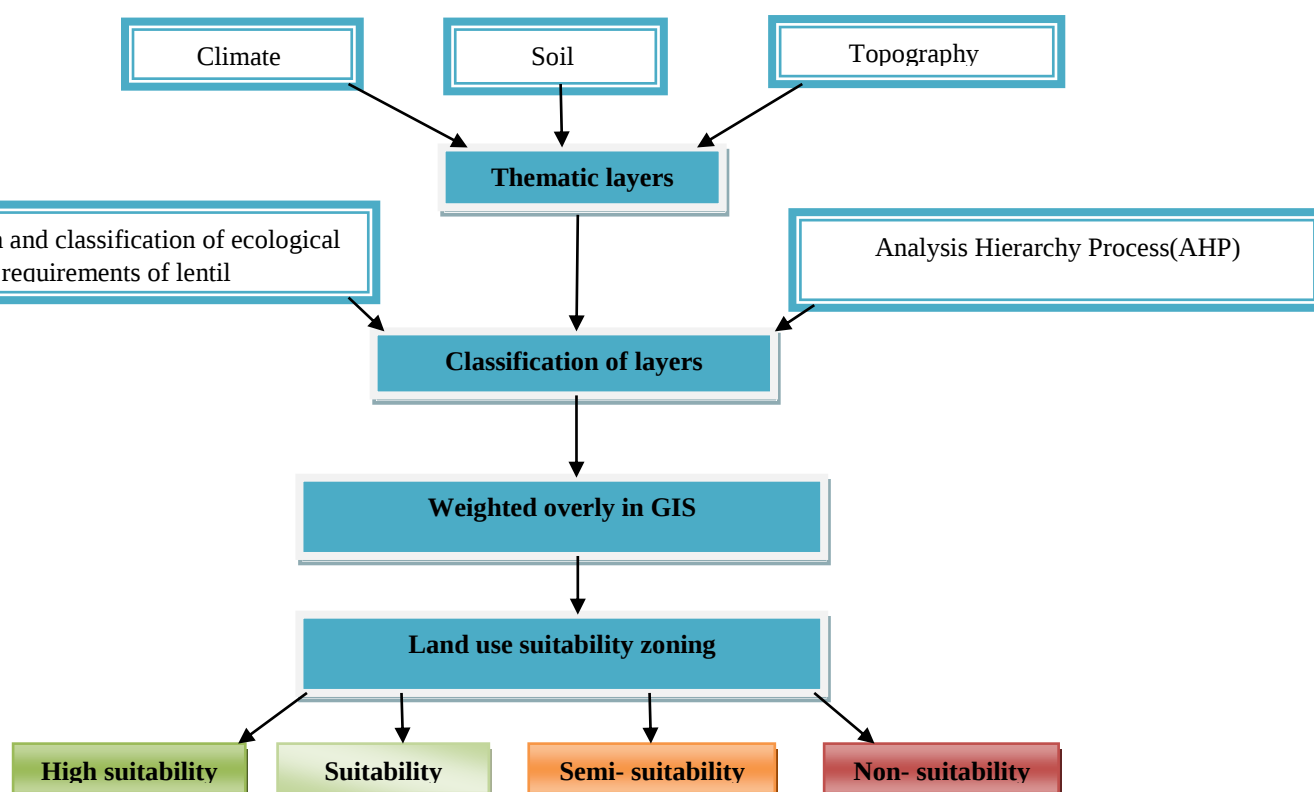
ارزیابی زراعی - بوم‌شناختی

ارزیابی توان بوم‌شناختی سرزمین را می‌توان مرحله میانی فرآیند آمایش سرزمین یا برنامه‌ریزی محیط‌زیست در نظر گرفت که در واقع، اطلاعات اساسی برای مرحله دوم آمایش سرزمین را فراهم می‌آورد (Makhdoom, 2012). این ارزیابی به‌عنوان هسته مطالعات زیست-محیطی با پیش‌گیری از بحران‌های موجود، بستر مناسبی را برای برنامه‌ریزی زیست‌محیطی فراهم می‌کند (Kazemi et al., 2014). برای انجام تحقیق، ابتدا با استفاده از نقشه کاربری اراضی منطقه و نقشه رقومی ارتفاعی (DEM)، مطالعات اولیه انجام شد. نقشه محدوده مورد مطالعه برای تعیین استعدادسنجی منطقه به‌دست آمد. خصوصیات خاکی منطقه با جمع‌آوری ۱۲۸ عدد نمونه خاک با روش W و انتقال آن به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری تجزیه گردید. نقشه نهایی متغیرهای محیطی با استفاده

از انواع روش‌های درون‌یابی و زمین‌آماري تهیه گردید. در نهایت، با استفاده از روش AHP، نظرات کارشناسان با استفاده از نرم‌افزار Export Choice تجزیه و تحلیل شد. سپس، با اجرای مدل از طریق روی هم‌گذاری وزنی لایه‌ها در محیط GIS 10.8، نقشه استعدادسنجی اراضی برای کشت عدس تعیین شد (شکل ۲).

نیازمندی‌های بوم‌شناختی گیاه عدس

در پژوهش حاضر، با استفاده از منابع علمی، نیازهای زراعی-بوم‌شناختی گیاه عدس از قبیل دمای کمینه، دمای بیشینه، دمای متوسط، بارش سالانه، شیب، ارتفاع از سطح دریا، بافت خاک، پتاسیم قابل دسترس، فسفر قابل دسترس، ماده آلی، نیتروژن کل و pH جمع‌آوری و طبقه‌بندی شدند (جدول ۱).



شکل ۲- نمودار جریانی ارزیابی تناسب اراضی زراعی بخش یانه‌سر شهرستان بهشهر جهت کشت عدس

Fig. 2- Flow diagram of suitability evaluation of agricultural lands in the Yaneh-Sar sector of Behshahr county for lentil cultivation

جدول ۱- نیازهای زراعی - بوم‌شناختی گیاه عدس
Table 1- Agro-ecological requirements of lentil crop

متغیر Variable	بسیار مستعد High Suitable	مستعد Suitable	نیمه‌مستعد Semi Suitable	غیر مستعد Non-Suitable
میزان بارش سالانه Precipitation (mm)	350-900	300-350	250-300	250>
دمای متوسط سالانه Average temperature (°C)	16-25	10-16	5-10	5>
دمای کمینه سالانه Minimum temperature (°C)	10	8-10	6-8	6>
دمای بیشینه سالانه Maximum temperature (°C)	25-30	20-25	12-20	12>
هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	0-3	3-4	4-8	8<
اسیدیته pH	6-2.8	5-6	4.5-5	4.5>
بافت خاک Soil texture	Sandy- loamy لومی شنی	Loamy-silty, loamy clay, silty لومی - سیلتی، رسی، لومی، سیلتی	Sand, loam-clay, clay- sand شنی، رسی لومی، رسی، شنی	Other classes سایر کلاسها
شیب Slope (%)	0-8	8-16	16-30	30<
جهت شیب Aspect	Without direction, South and southeast بدون جهت، جنوب و جنوب شرقی	East, Northeast شرق، شمال شرقی	Southwest, Northwest جنوب غربی، شمال غربی	West, North غرب، شمال
ارتفاع از سطح دریا Elevation	0-3500	3500-4000	4000<	-

(Majnoon Hosseini, 1996; Makhdoom, 2010; Malkoti & Ghaibi, 2006; Gul et al., 2005; Kazemi et al., 2014)

تهیه لایه‌های محیطی

عوامل اقلیمی

سطح را از لایه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) استان مازندران با دقت ۳۰ متری تهیه شد، سپس محدوده مطالعاتی داخل نرم‌افزار GIS با دستور Extract by mask برش داده شد و براساس جدول نیازهای زراعی - بوم‌شناختی گیاه عدس طبقه‌بندی صورت گرفت.

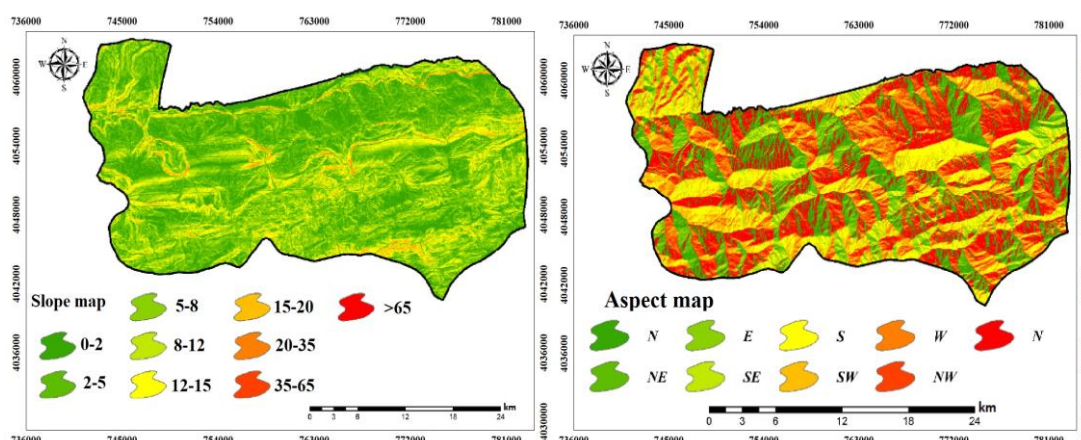
عوامل خاکی

در منطقه مورد مطالعه ۱۲۸ نمونه با در نظر گرفتن پراکنش مطلوب موقعیت مزارع در هر یک از روستاها، از عمق ۳۰-۰ سانتی-متر خاک با روش W تهیه شد، سپس موقعیت هر یک از نمونه‌ها با استفاده از GPS ثبت و نمونه‌های تهیه شده داخل کیسه‌های پلاستیکی در بسته و تحت شرایط مناسب به محیط آزمایشگاه منتقل شد.

داده‌های اقلیمی منطقه از ۱۳ ایستگاه هم‌دیدگی و باران‌سنجی واقع در اطراف محدوده مورد مطالعه که شامل بارش سالانه، دمای کمینه سالانه، بیشینه سالانه و متوسط سالانه در بازه زمانی ۱۴۰۱-۱۳۸۳ بود، از اداره آب منطقه‌ای و اداره کل هواشناسی سه استان مازندران، گلستان و سمنان تهیه شد. سپس، برای تهیه نقشه‌ها از روش‌های درون‌یابی و زمین‌آماری مانند IDW، Kriging و توابع پایه شعاعی استفاده گردید. در نهایت، براساس کمترین مقدار خطا، روش برتر جهت تهیه نقشه انتخاب شد.

توپوگرافی

لایه‌های توپوگرافی شامل شیب (%، جهت جغرافیایی و ارتفاع از



شکل ۳- نقشه‌های شیب و جهت شیب منطقه یانه‌سر شهرستان بهشهر
Fig. 3- Maps of the slope and aspect of Yaneh-Sar, Behshahr county

محیطی شامل اقلیمی (بارش، دمای کمینه، بیشینه و متوسط)، خاک (بافت، وزن مخصوص ظاهری، پتاسیم، فسفر، نیتروژن، مس، منگنز، آهن، آهک، ماده آلی، هدایت الکتریکی و اسیدیته) و توپوگرافی (ارتفاع از سطح دریا و شیب و جهت جغرافیایی) به صورت رستر تهیه شد؛ سپس براساس نیاز بوم‌شناختی گیاه، طبقه‌بندی لایه‌ها صورت گرفت. در ادامه، برای تهیه لایه نهایی تناسب بندی لایه‌های اقلیمی، توپوگرافی و خاک در محدوده اراضی زراعی با تطبیق و روی-هم‌گذاری عوامل با استفاده از ابزار حسابگر شبکه‌ای Raster Calculator و اختصاص وزن هر لایه حاصل از AHP تلفیق انجام شد. در انتها لایه نهایی در چهار پهنه با ارزش بسیار مستعد، مستعد، نیمه‌مستعد و غیرمستعد طبقه‌بندی شد.

نتایج و بحث

نتایج AHP نشان داد که از عوامل اقلیمی، بارش متوسط سالانه دارای بیشترین وزن و بهترین رتبه (تأثیرگذارترین) نسبت به بقیه عوامل محیطی بود. به عبارتی، نقش بارش در تعیین استعداد اراضی کشاورزی برای کشت عدس بالاتر از بقیه متغیرها است (جدول ۲). در این راستا، نصرالهی و همکاران (Nasralhi et al., 2015) بارش و برخی خصوصیات خاک را عامل محدوده‌کننده برای کشت گندم در اراضی دیم شهرستان آق‌قلا (استان گلستان) معرفی کردند. همچنین پورهادیان (Porhadian, 2021) نیز عامل اقلیمی را در رتبه اول عوامل تأثیرگذار بر روی کشت ارزن در اراضی استان لرستان معرفی

عناصر و ویژگی‌های خاکی مانند، شوری به‌روش عصاره‌گیری از گل اشباع و دستگاه شوری‌سنج، اسیدیته به‌روش تهیه گل اشباع و دستگاه pH متر، بافت خاک به‌روش هیدرومتری، آهن و مس به‌روش DTPA لیندسی و نورول، پتاسیم به‌وسیله دستگاه فلیم فوتومتر، فسفر به‌روش اولسن با دستگاه اسپکتروفوتومتر، نیتروژن به‌روش کج‌لدال، TNV به‌روش تیتراسیون، ماده آلی به‌روش والکلی-بلاک و وزن مخصوص ظاهری خاک به‌روش سیلندر اندازه‌گیری شد. نقشه هر یک از متغیرها با استفاده از اطلاعات مکانی نمونه‌ها در محیط GIS و لایه‌های رقومی آن‌ها با انواع روش‌های درون‌یابی شامل IDW، Kriging، تابع شعاعی و تابع چند جمله‌ای به‌دست آمد.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

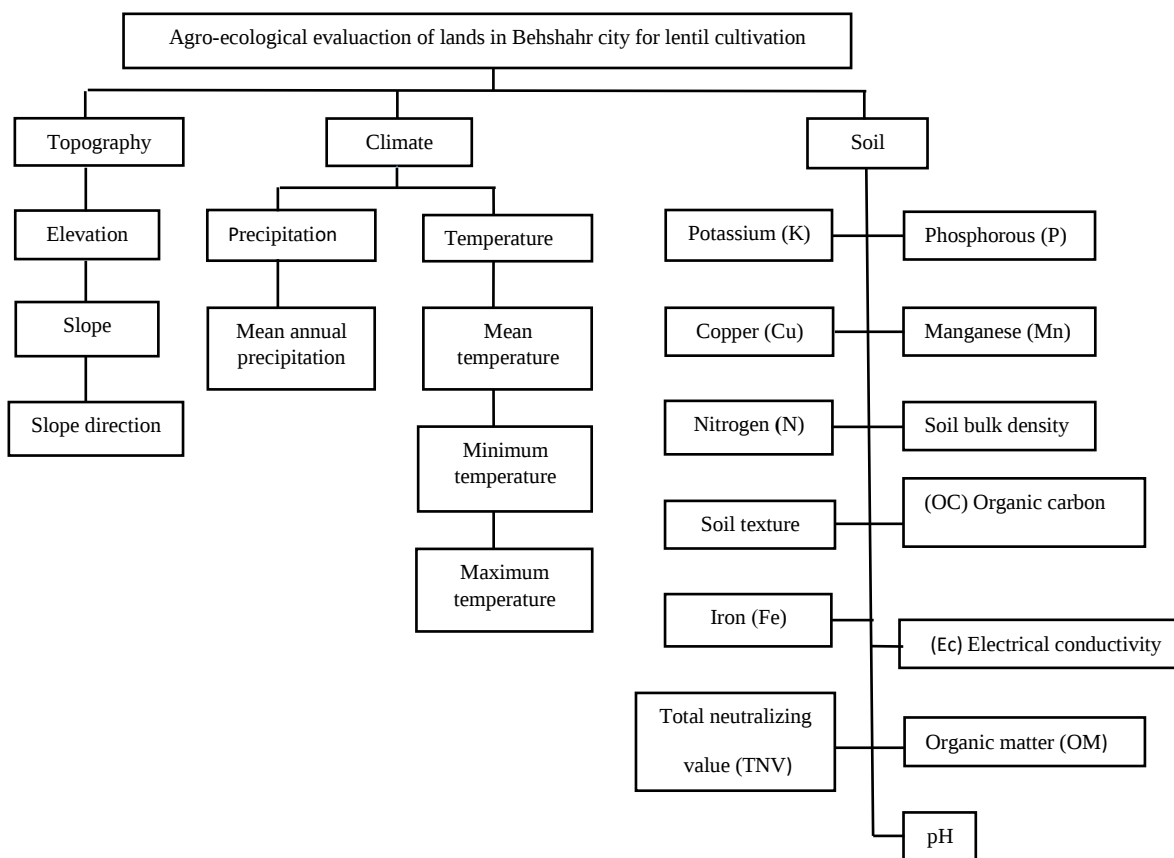
برای اجرای فرآیند AHP و ارزیابی وزن معیارها و زیرمعیارها از پرسشنامه استفاده شد. بدین منظور، از طریق تکمیل پرسشنامه از ۲۵ نفر کارشناسان علوم کشاورزی، اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار Export Choice نسخه ۱۱ تجزیه انجام شد. بدین صورت که اطلاعات هر پرسشنامه به‌طور جداگانه وارد نرم‌افزار شد و اگر ضریب ناسازگاری آن کمتر از ۰/۱ بود، به‌عنوان پرسشنامه معتبر مورد استفاده قرار گرفت، در غیر این صورت کنار گذاشته شد.

اجرای مدل همپوشانی وزنی

برای تعیین نیاز زراعی-بوم‌شناختی گیاه عدس، ابتدا لایه‌های

بارش نشان دادند که بارش و دما، دو عامل محدودکننده رشد گیاه گندم در منطقه است.

کرد. توان‌پور و قائمی (Tuanpour & Ghaemi, 2015) با پهنه-بندی استان فارس جهت کشت گندم پاییزه دیم با پارامتر اقلیمی



شکل ۴ - درخت سلسله مراتبی عوامل مؤثر بر کشت عدس اراضی بخش یانه‌سر شهرستان بهشهر
Fig. 4- Hierarchical tree of factors affecting lentil cultivation in the Yane Sar Sector of Behshahr county

توپوگرافی و بقیه عوامل را براساس وزن و رتبه آن‌ها نشان می‌دهد. همچنین نرخ ناسازگاری، مناسب و کمتر از ۰/۱ بود. مشخص شد که این منطقه در محدوده ارتفاعی ۷۶۴ تا ۲۶۹۸ متر از سطح دریا واقع شده است. شیب منطقه براساس مدل رقومی ارتفاعی در نه طبقه تقسیم و در شکل ۲ نشان داده شده است. براساس اطلاعات موجود، بیشتر مساحت منطقه در محدوده شیب صفر تا ۱۵ درصد قرار گرفت. همچنین نقشه جهت‌های جغرافیایی نیز نشان داد که بیشتر اراضی منطقه دارای جهت جغرافیایی شمال و شمال شرقی است. در همین راستا، حنیفی و خوشحال دستجردی (Hanafi & Khushal, 2017) جهت شیب را عاملی مؤثر در توسعه و کشت گیاه گندم در استان زنجان معرفی کردند. همچنین کاظمی و همکاران (Kazemi et al., 2014) در مطالعه خود، جهت پهنه‌بندی زراعی-بوم‌شناختی شهرستان گرگان برای کشت جو لخت، عواملی

میزان خطای برآورد درون‌یابی معیارهای بارندگی، دمای حداقل، دمای حداکثر و میانگین دمای منطقه نشان داد که مدل عکس فاصله وزنی با مقادیر به‌ترتیب ۰/۰۲۷، ۰/۰۱۸ و ۰/۱۰۲ برای سه شاخص بهترین روش درون‌یابی است. در این مطالعه مشخص شد که بیشترین مقدار بارش ۵۲۶/۸ و کمترین مقدار آن ۳۸۴ میلی‌متر است (شکل ۴). با توجه به نقشه به‌دست آمده، قسمت غرب منطقه دارای بارندگی بیشتری نسبت به شرق منطقه بود. همچنین مقدار دمای کمینه منطقه در دامنه‌ای بین ۴/۸ - ۱/۱ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت (شکل ۴).

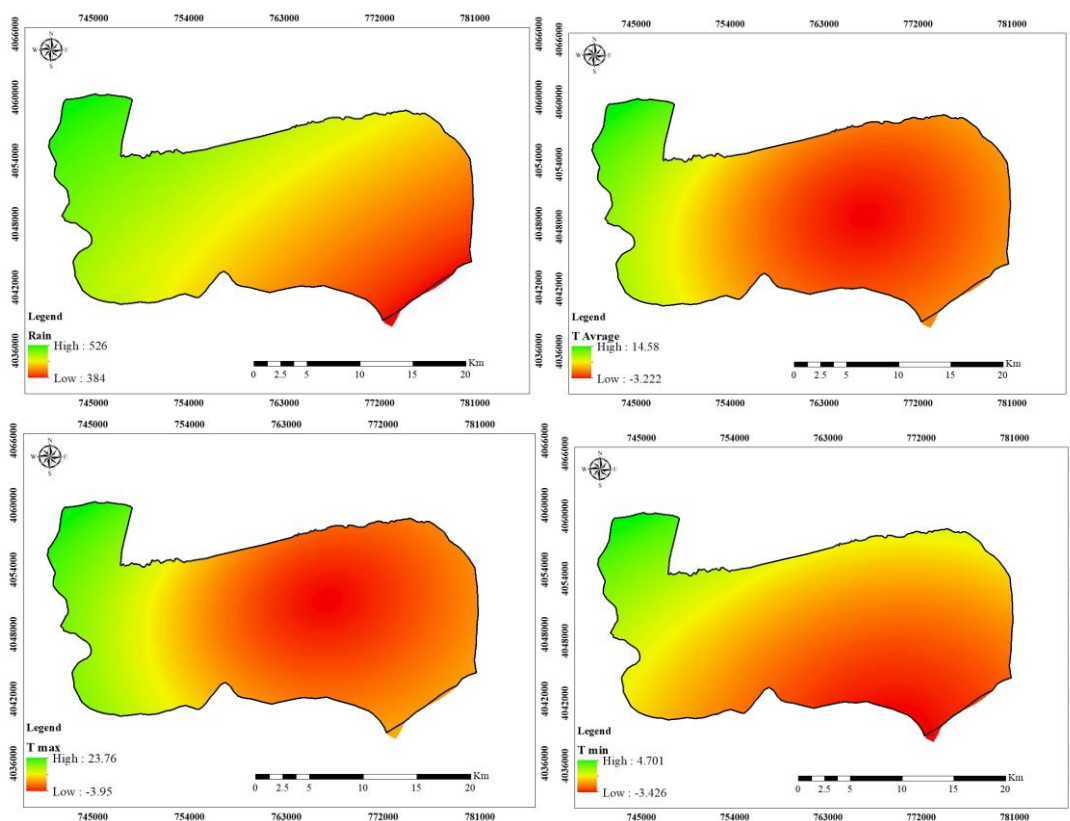
بین متغیرهای توپوگرافی (شیب، جهت‌های جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا) به‌ترتیب ارتفاع از سطح دریا و جهت شیب با وزن‌های ۰/۳۶۷ و ۰/۳۵ بیشترین وزن و اهمیت را داشتند و کمترین وزن و اهمیت مربوط به عامل شیب با وزن ۰/۲۸۳ است. جدول ۲، عوامل

متغیرهای اقلیمی مانند دما و بارش نقش عمده‌ای در محدود کردن رشد گیاه گندم در منطقه دارند، همچنین جهات جغرافیایی شمالی محدودکننده‌ترین عامل برای رشد گندم است.

مانند جهات جغرافیایی و ارتفاع از سطح از دیا را عوامل محدودکننده و عواملی مانند دمای کمینه و بیشینه را غیرمحدودکننده معرفی کرد. عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2018) نیز برای مکانیابی مناسب مناطق کشت گندم دیم در استان خراسان شمالی بیان کردند که

جدول ۲- وزن معیارهای اصلی و زیر معیارهای هر معیار جهت استعدادسنجی
Table 2- The weight of the main criteria and sub-criteria for land use suitability

رتبه Rank	وزن Weight	زیرمعیارها Sub-criteria	وزن وزن
1	0.456	بارش Mean annual precipitation	0.17 عوامل اقلیمی Climatic factors
2	0.215	دمای متوسط Average temperature	
3	0.170	دمای بیشینه Maximum temperature	
4	0.160	دمای کمینه Minimum temperature	
1	0.367	ارتفاع Elevation	0.122 عوامل توپوگرافی Topographic factors
3	0.283	شیب Slope	
2	0.350	جهت جغرافیایی Aspect	
6	0.072	بافت Texture	0.166 خصوصیات خاکی Soil parameters
8	0.064	هدایت الکتریکی Electrical conductivity	
7	0.690	اسیدیته pH	
3	0.102	نیتروژن Nitrogen	
5	0.065	پتاسیم Potassium	
2	0.103	فسفر Phosphorus	
9	0.055	آهن Iron	
4	0.097	کربن‌الی Organic carbon	
11	0.046	آهک Total neutralizing value	
10	0.052	منگنز Magnesium	
10	0.052	مس Copper	
1	0.123	ماده آلی Organic matter	
7	0.169	وزن مخصوص ظاهری Soil bulk density	



شکل ۵- نقشه معیارهای اقلیمی در بخش یانه‌سر بهشهر
Fig. 5- Maps of climatic parameters in the Yaneh-Sar Sector of Behshahr

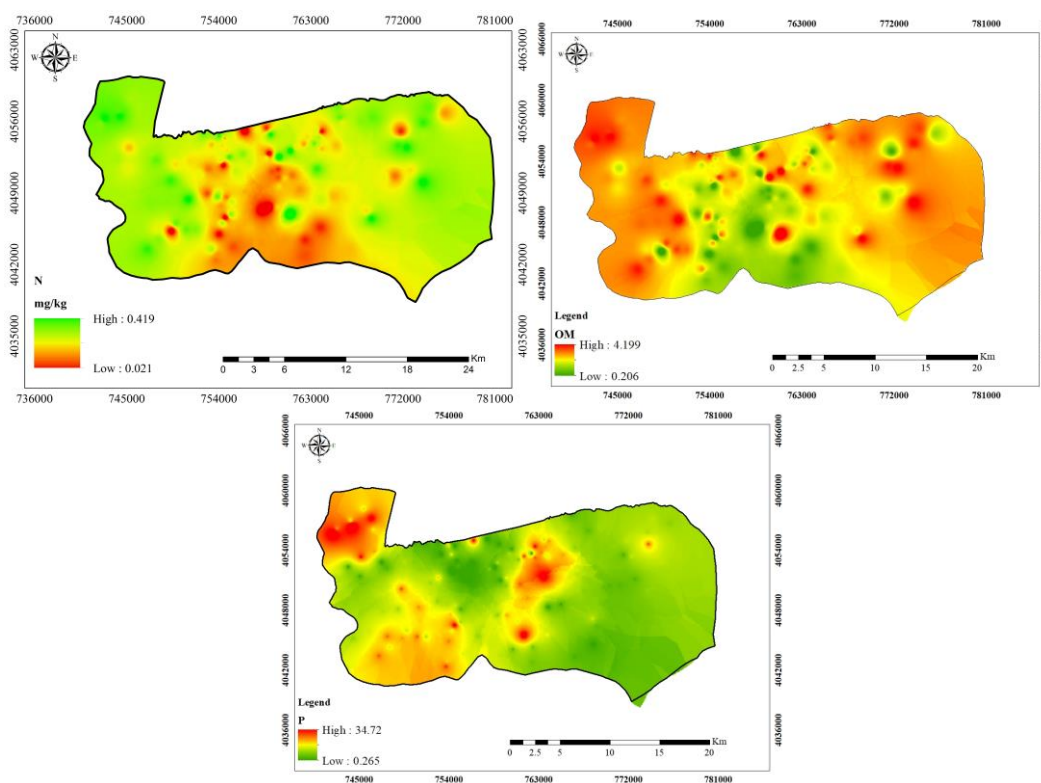
فسفر و نیتروژن به‌ترتیب با بیشترین مقدار وزن، دارای اهمیت بیشتری نسبت به بقیه معیارهای خاک بودند. بقیه عوامل قابل اندازه‌گیری خاک به نسبت‌های مختلف در رشد گیاه عدس در منطقه تأثیرگذار بودند. در این ارتباط، کاظمی و همکاران (Kazemi et al., 2014)، نیز در تحقیق خود بیان کردند که کمبود برخی عوامل و عناصر غذایی مانند ماده آلی، عامل محدودکننده رشد گیاه گندم در برخی از اراضی کشاورزی استان گلستان می‌باشد.

نتایج پهنه‌بندی اراضی زراعی-بوم‌شناختی کشت عدس در چهار طبقه در شکل ۷ نشان داده شده است. براساس نتایج به‌دست آمده، در بخش‌هایی از شمال، مرکز و جنوب منطقه مورد مطالعه از مطلوبیت عوامل محیطی برخوردار است و قسمت‌هایی از شمال غرب و مرکز منطقه برای کشت عدس در محدوده غیرمستعد قرار دارد. مساحت هر پهنه در شکل ۸ نشان داده است.

در این مطالعه، نقشه پراکنش نیتروژن خاک نشان داد که غلظت نیتروژن بین ۰/۴۱۹-۰/۰۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم نوسان دارد. با توجه به نقشه نیتروژن خاک، بیشتر منطقه دارای مقداری بین ۰/۰۲۱ تا ۰/۴۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. نواحی مرکزی و جنوب این منطقه دارای کمترین مقدار نیتروژن (۰/۰۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود (شکل ۵). نقشه پراکنش ماده آلی خاک اراضی کشاورزی منطقه مورد مطالعه با روش وزن‌دهی فاصله معکوس با توان دو و کمترین مقدار RMSE (۰/۸۰۱) تهیه شد. پراکنش ماده آلی خاک (OM^1) بین ۰/۳۵-۷/۲۲ درصد قرار داشت. در این مطالعه، نواحی مرکزی و جنوب منطقه یانه‌سر دارای کمترین درصد ماده آلی (۰/۳۵ درصد) بودند.

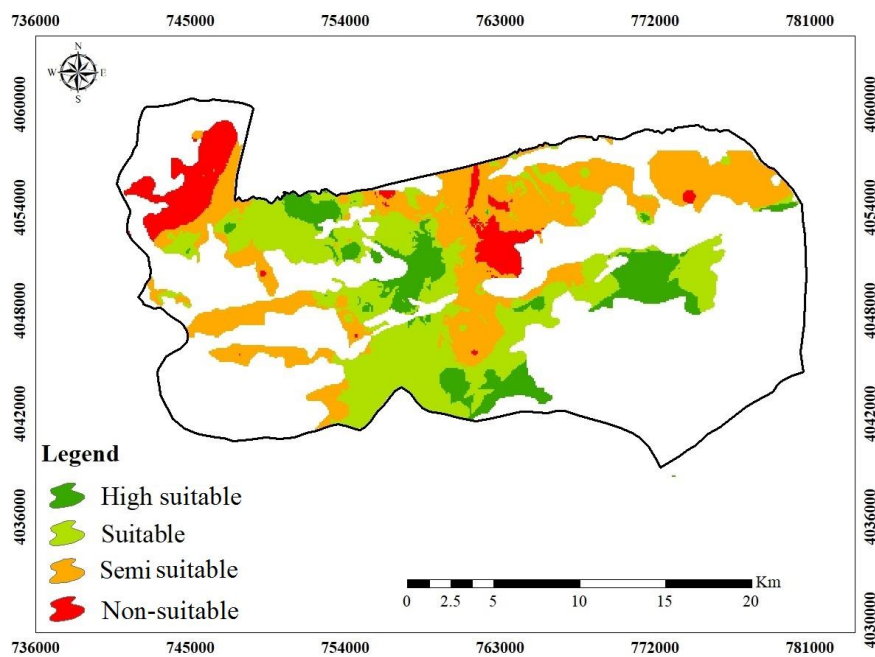
نقشه فسفر خاک نیز با استفاده از مدل عکس فاصله وزنی (IDW^2) تهیه شد. مقدار فسفر به‌ترتیب بین ۰/۲۶ تا ۳۴/۷۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. همچنین براساس نتایج جدول ۳، ماده آلی،

- 1- Organic matter
- 2- Inverse distance weighted



شکل ۶- نقشه‌های متغیرهای خاک در بخش یانه‌سر بهشهر

Fig. 6- Maps of soil parameters in the Yaneh-Ser section of Behshahr



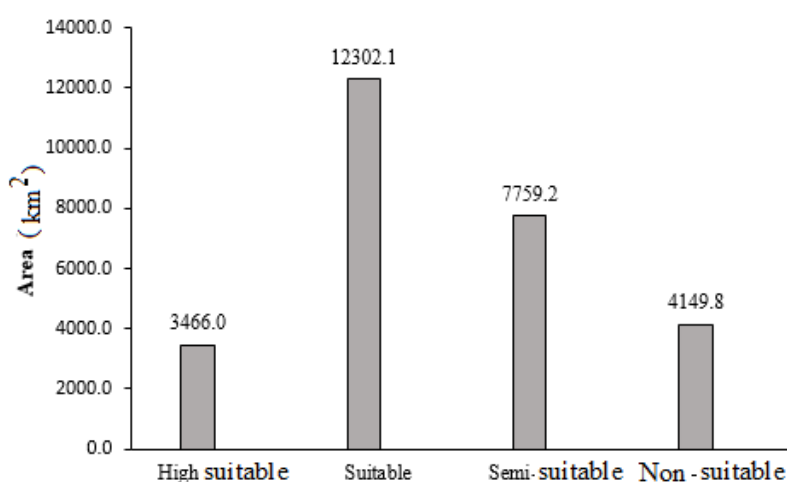
شکل ۷- نقشه استعدادسجی اراضی جهت کشت عدس در بخش یانه‌سر شهرستان بهشهر

Fig. 7- Land use suitability map for lentil cultivation in the Yaneh-Sar section of Behshahr county

جدول ۳- نتایج محاسبه مقادیر خطای برآورد (RMSE) حاصل از روش‌های میانبایی پارامترهای نیتروژن (N) و فسفر (P) در اراضی کشاورزی بخش یانه‌سر بهشهر

Table 3- The results of calculation of error values obtained from interpolation methods of nitrogen (N) and phosphorus (P) parameters in agricultural lands of Yaneh-Sar of Behshahr

روش Method	مدل Model	نیتروژن N	فسفر P
		RMSE	RMSE
کریجینگ Kriging	کروی Spherical	1.004	0.995
	نمایی Exponential	0.994	1.005
توابع پایه شعاعی Radial function	گوسی Gaussian	0.108	0.985
	A few quarters	0.097	1.525
توابع چند جمله‌ای Polynomial function	Inverse quadrant	0.115	1.491
	Thin strip	0.085	1.481
وزن‌هی فاصله معکوس Inverse distance weighting	درجه یک Grade1	0.089	1.441
	درجه دو Grade2	0.095	1.489
	درجه سه Grade3	0.082	1.521
	توان یک Power1	0.086	1.417
	توان دو Power2	0.091	1.409
	توان سه Power3	0.991	1.513

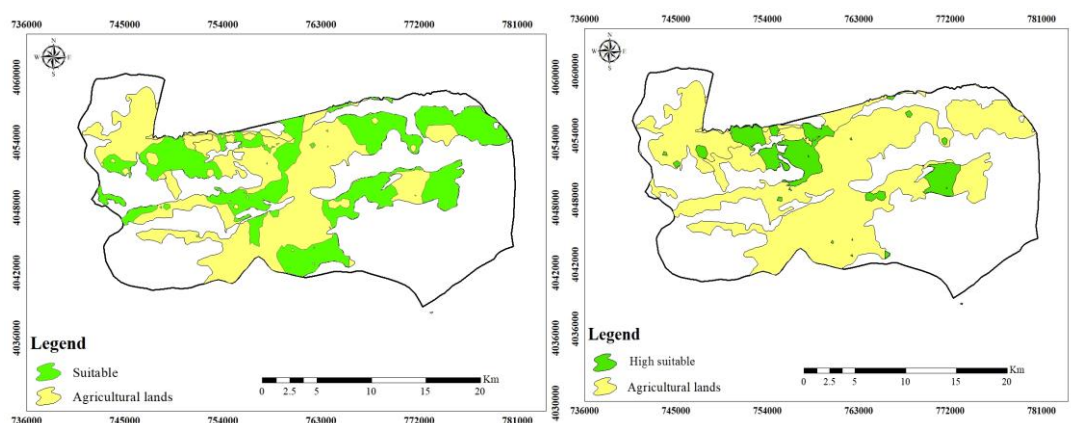


شکل ۸- مساحت پهنه‌های استعداد سنجی کشت عدس در بخش یانه‌سر شهرستان بهشهر (هکتار)

Fig. 8- The area of land use suitability zones for lentil cultivation in the Yane Sar section of Behshahr county

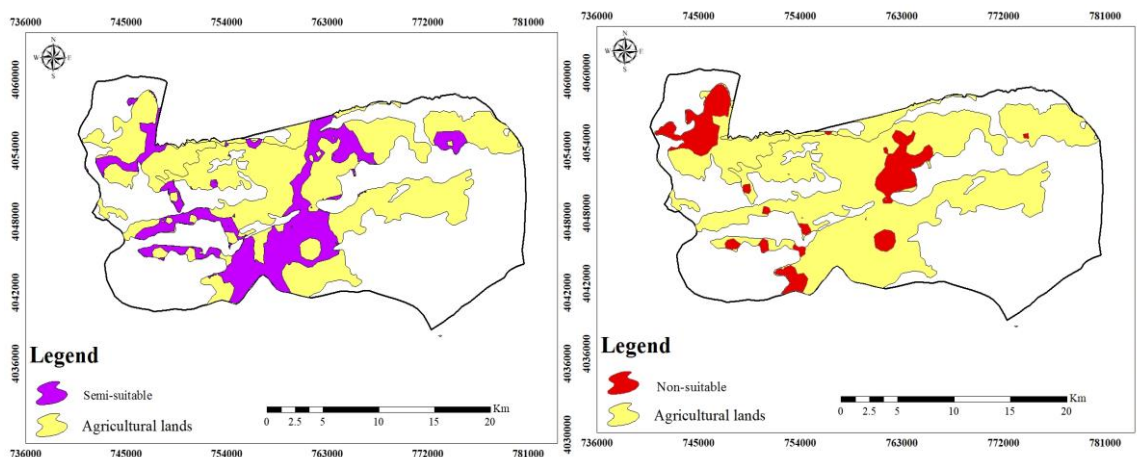
توپوگرافی منطقه می‌باشد. کاظمی و همکاران (Kazemi et al., 2014) یکی از دلایل مناطق مستعد برای کشت عدس را بارش و حاصلخیزی خاک معرفی کردند، همچنین نصرالهی و همکاران (Nasralhi et al., 2015) برای کشت گیاهان نخود، گندم، باقلا و غیره براساس الگوی کشت در استان گلستان شرایط آبیاری و وضعیت توپوگرافی را عامل اصلی محدودیت معرفی کردند.

نتایج نشان داد که مناطق بسیار مستعد کشت عدس در قسمت‌های شمال، مرکز و جنوب محدوده (۱۲/۵۲ درصد) قرار دارند (شکل ۹) و پهنه با تناسب مستعد حدود ۴۴/۳۵ درصد از مساحت منطقه را شامل می‌شود. به‌طور کلی، دو طبقه بسیار مستعد و مستعد، ۵۶/۹۷ درصد منطقه را در بر می‌گیرند. یکی از علت‌های اصلی وجود بخش مستعد، حاصلخیزی مناسب خاک، بارش کافی و شرایط مطلوب



شکل ۹- نقشه پهنه‌های بسیارمستعد و مستعد جهت کشت عدس در اراضی کشاورزی بخش یانه‌سر بهشهر

Fig. 9- Map of the high suitable and suitable zones for lentil cultivation in the agricultural lands of Yaneh-Ser, Behshahr



شکل ۱۰- نقشه پهنه‌های نیمه‌مستعد و غیرمستعد جهت کشت عدس در اراضی کشاورزی بخش یانه‌سر بهشهر

Fig. 10- Map of semi-suitable and non-suitable zones for lentil cultivation in the agricultural lands of Yaneh-Ser, Behshahr

خاکی مانند کمبود نیتروژن و ماده آلی در قسمت‌هایی از مناطق مرکزی، بافت نامناسب خاک و بالا بودن فسفر در مناطق غیرمستعد اشاره کرد. در این زمینه، نصرالهی و همکاران (Nasralhi et al., 2015) در مطالعه خود در شهرستان آق‌قلا بیان کردند که میزان اندک بارش، نامناسب بودن برخی متغیرهای خاک (pH) و شوری

اراضی با استعداد نیمه‌مستعد و غیرمستعد نیز ۴۳/۰۳ درصد از مساحت منطقه را شامل شدند. شکل ۱۰ نشان داد که شمال‌غرب، قسمت‌هایی از مرکز و جنوب غرب با در نظر گرفتن عوامل اقلیمی، خاک و توپوگرافی برای کشت عدس دارای درجه تناسب نیمه‌مستعد است. از دلایل اصلی این نتیجه، می‌توان به کمبود برخی خصوصیات

مستعد جهت کشت عدس قرار دارند. مهم‌ترین دلایل این نتیجه، حاصلخیزی مناسب خاک در این مناطق، بارش مناسب و همچنین شرایط مطلوب توپوگرافی می‌باشد. در مناطق نیمه‌مستعد و غیرمستعد که سطح کمتری (۴۳/۰۳ درصد) را شامل شد، کمبود نیتروژن و ماده آلی در قسمت‌هایی از مرکز منطقه، بالا بودن رطوبت و بارش در غرب منطقه، فسفر بالای خاک در قسمت‌هایی از مناطق مرکزی و شمال‌غرب، عواملی محدودکننده برای کشت گیاه عدس می‌باشند. توصیه می‌شود که به‌منظور حفظ منابع محیطی و دستیابی به تولید مطلوب، کشت عدس فقط در پهنه‌های بسیار مستعد و مستعد منطقه مورد مطالعه صورت پذیرد. لازم است، پهنه نیمه‌مستعد با اعمال روش‌های مدیریتی همسو با محیط از جمله اجرای تناوب زراعی، خاکورزی حفاظتی، استفاده کودهای آلی و برگرداندن بقایای گیاهی احیا و ارتقا یابد. همچنین اختصاص مناطقی با شرایط توپوگرافی نامطلوب به سایر کاربری‌ها از جمله زنبورداری و حیات وحش از اقدامات حفاظتی در پهنه غیرمستعد می‌باشد.

بالا، بافت نامناسب، پتاسیم و کلسیم بالا، فسفر، آهن، و ماده آلی پایین و شیب بالا یکی از عوامل اصلی محدوده‌کننده کشت گندم در پهنه غیرمستعد در منطقه است. حیفی و خوشحال دستجردی (Hanafi & Khushal Dastjerdi, 2017) در استان زنجان مشخص کردند که بیشتر منطقه دارای درجه تناسب نیمه‌مستعد و غیرمستعد است و دلیل آن را مناطق مرتفع و پرشیب رشته کوه‌های البرز معرفی کردند. به‌طور کلی، با توجه به نتایج به‌دست آمده، عوامل اصلی محدودکننده کشت عدس در منطقه مورد مطالعه شامل کمبود نیتروژن، بافت نامناسب خاک، بالا بودن فسفر خاک در برخی نقاط، کمبود و بیش بود بارش می‌باشد.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست آمده و با در نظر گرفتن عوامل مختلف برای تعیین اراضی مستعد کشت گیاه عدس، مشخص شد که بیشتر زمین‌های زراعی منطقه (۵۶/۹۷ درصد) در طبقه‌های بسیار مستعد و

References

- Abbasi, F., Seshatian, K., Treasury, L., Mohammadnia Qaraei, S., & Athamari, M. (2012). Locating the most suitable areas for dry wheat cultivation (Case study: North Khorasan province). *Climatology Research Journal*, 4(13-14), 58-72. (In Persian with English abstract).
- Bidadi, M.J., Kamkar, B., Abdi, O., & Kazemi, H. (2015). Land suitability analysis on rainfed wheat cropping using geospatial information systems (A case study: Qaresoo basin). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25(1), 131-143. (In Persian with English abstract)
- Baniaghil, A.S. (2015). Zoning and physical assessment of land suitability for particular crops (wheat, soybean) using GIS in Golestan province. M.Sc. Thesis, Gonbad Kavous University, Gonbad, Iran. (In Persian with English abstract)
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., & Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812-818. doi: 10.1126/science.1185383
- Halabian, A.H., & Ismaili, N. (2016). Assessment of land suitability based on climatic elements for rapeseed cultivation using fuzzy model and AHP in Kurdistan province. *Environmental Science and Technology*, 19(4), 150-153. (In Persian with English abstract)
- Hanafi, A., & Khushal Dastjerdi, C. (2016). Identification of favourable areas for dry wheat cultivation in Zanjan province based on agricultural climate parameters. *Geographical Space*, 17 (59), 47-66. (In Persian with English abstract)
- Kamkar, B. & Mahdavi Damghani, A.M. (2008). Fundamental of Sustainable Agriculture. Jahad Daneshgahi Press of Mashhad, Mashhad, Iran. 315 p. (In Persian)
- Kazemi, H., & Akinci, H. (2018). A land use suitability model for rainfed farming by Multi-criteria Decision-making Analysis (MCDA) and Geographic Information System (GIS), *Ecological Engineering*, 116, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.02.021>.
- Kazemi, H., Sadeghi, S., & Akinci, H. (2016). Developing a land evaluation model for faba bean cultivation using geographic information system and multi-criteria analysis (A case study: Gonbad-Kavous region, Iran), *Ecological Indicators*, 63, 37-47. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.11.021>.
- Kazemi, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kamkar, B., Shataei, S., & Sadeghi, S. (2014). Agro-ecological zoning of Golestan province lands for soybean cultivation using Geographical Information System (GIS). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 23(4), 21-40. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.1001.1.2008739.1393.7.2.10.5>.
- Koocheki, H., Hosseini, M., & Hashemi Dezfooli, A. (2008). Sustainable Agriculture, (Translation), University

- Jihad Press of Mashhad, Mashhad, Iran. 162 p. (In Persian)
12. Majnoon Hosseini, N. (1997). Legumes in Iran. Jihad Publishing Institue, Tehran, 240. (In Persian)
13. Makhdoom, M., (2012). Land use Planning Fundamental. University of Tehran Press, Tehran, Iran. (In Persian abstract)
14. Makhdoom, M. (2011). Foundation of Amish Sarmeen (11th edition). Tehran University Press, Tehran, Iran. p. 289. (In Persian)
15. Malkuti, M.J. &Ghaibi, M.N. (2007). Determining the critical limit of nutritional elements of strategic crops and the correct recommendation of fertilizers in the country, *Agricultural Education Publication*, 56.
16. Motiee Langroudi, S. H., Nasiri, H., Azizi, A., & Mostafaie, A. (2012). Modeling the ecological capability for agricultural and rangeland land use using Fuzzy AHP in GIS environment (Case study: Marvdasht County). *Town and Country Planning*, 4(6), 125-148.(In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jtcp.2012.28792>
17. Montgomery, B., Dragic'evic, S., Dujmovic, J., & Schmidt, M., (2016). GIS-based logic scoring of preference method for evaluation of land capability and suitability for agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 124 (2016), 340–353. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.04.013>.
18. Nasralhi, N., Kazemi, H., Kamkar, B., & Sadeghi, S. (2015). Agro-ecological assessment of the lands of Aqqla city (Golestan province) for dry wheat cultivation using geographic information system (GIS). *Journal of Agriculture*, 110, 94-83. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/AJ.2016.109340>.
19. Nazari Viand, F., Koohestani, H., Zarifian, S., & Kazemieh, F. (2020). Land suitability assessment for agriculture using analytical hierarchy process in northern parts of Khalkhal county (case study: Mikaeel abad catchment) . *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 93(9), 225-239. (In Persian with English abstract)
20. Omkarprasad, V., Kumar, S. (2004). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 169(1),1-29. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.028>
21. Pakpurrabati, A., Jafarzadeh, A.A., Shahbazi, F., & Ammary, P. (2013). Assessment of susceptible land for some agricultural crops in some regions of west Azerbaijan province using geographical information system. *Journal of Soil and Water*, 23(1): 165-176. (In Persian with English abstract)
22. Porhadian, H. (2021). Proportioning of lands in Lorestan province for the second cultivation of fodder millet with the help of ANP, GIS and fuzzy logic. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(4), 288-302. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/SAPS.2021.42810.2576>.
23. Safaripour, M., & Naseri, D. (2018). Assessing the suitability of land for the establishment of agricultural and pasture land uses with the weighted linear combination method (case study: Onar Chai basin of Ardabil province). *Environmental Science and Technology Quarterly*, 21 (8), 113-123. <https://doi.org/10.3390/su122310134>.
24. Sari Saraf, B., Actor, S., & Mohammadi, G.H. (2009). Zoning of climatic potentials of dry wheat cultivation in West Azarbaijan province. *Geography and Development*, 13, 5-26. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22111/gdij.2009.1226>.
25. Shahi-Moridi, R., Kazemi, H., & Kamkar B. (2016). Evaluation of sustainable agricultural development in Golestan province. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 27(1), 197-215. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/JTCP.2020.294811.670053>.
26. Sys, I., Van-Ranst, E., &Debveye, J. (1991). Land evaluation, part 1: principles in land evaluation and crop calculations. General administration for development cooperation. *Agricultural Publications*, 7, Brussels, Belgium.
27. Thanh Tuan, N., QIU, J., Verdoodt, A., LI, H., & Ranst, E. V. (2011). Temperature and precipitation suitability evaluation for the winter wheat and summer maize cropping system in the Huang-Huai-Hai Plain of China. *Agricultural Sciences in China*, 10, 2, 275-288. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(11\)60005-9](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(11)60005-9)
28. Trashi, M., Rahmi Karizki, A., Biabani, A., & Salahi Farahani, M. (2020). Evaluation of land suitability of Golestan province for chickpea cultivation based on climatic factors. *Iranian Legume Research Journal*, 11 (1), 62-73. (In Persian with English abstract),<https://doi.org/10.22067/IJPR.V11I1.70708>.
27. Tuanpour, N., & Ghaemi, A.A. (2015). Zoning of Fars province in terms of dry season wheat cultivation based on rainfall parameters and morphological factors. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 4 (10), 555-544. (In Persian with English abstract)

Contents

Effect of Simultaneous Use of Different Amounts of Biochar and Soil Application of Common Sulfur and Spraying of Nanosulfur on Yield and Yield Components and Some Phytochemical Characteristics of Savory (<i>Satureja hortensis</i> L.)	421
Vahid Mohammadzadeh Kakhki, Mohammad Hossein Aminifard and Mohammad Behzad Amiri	
Evaluation of the Residues of Rice (<i>Oryza sativa</i> L.), Black-Eyed Pea (<i>Vigna unguiculata</i> L.), Dill (<i>Anethum graveolens</i> L.) and Aubergine (<i>Solanum melongena</i> L.) on Characteristics of Soil, in Cultivation without Chemical Inputs Corn (<i>Zea mays</i> L.)	439
Einollah Hesami and Mohsen Jahan	
Studying the Beneficial Indicators of Intercropping of Safflower (<i>Carthamus tinctorius</i> L.) with Chickpea (<i>Cicer arietinum</i> L.), Lentil (<i>Lens culinaris</i> Medik) and Bitter Vetch (<i>Lathyrus sativus</i> L.)	463
Amin Yari, Farzad Mondani, Alireza Bagheri and Hamid Reza Chaghazardi	
Meta-Analysis of the Effect of Different Amounts of Cow Manure, Chemical (Nitrogen) and Biological Fertilizers on some Quantitative and Qualitative Traits of (<i>Thymus vulgaris</i> L.)	477
Hava Mahmoudi Asl, Mahmoud Mokhtari, Reza Sadrabadi Haghighi and Mahdi Elahi Torshizi	
Exploring the Impact of Drought Stress on the Yield and Yield Components of Cumin (<i>Cuminum cyminum</i> L.) Ecotypes	493
Vahid Bazrafshan, Farzad Paknejad, Hamid Reza Fanaei, Davoud Habibi and Morteza Siavoshi	
Agricultural Drought Assessment using Remote Sensing Data (Case study: Tuyserkan County)	513
Maedeh Malmir, Kamran Shayesteh and Iman Pazhouhan	
Response of Agronomic Characteristics and Yield of Garlic Plant (<i>Allium sativum</i> L.) to Different Level of Planting Density and Nutrition	533
Hadi Khavari and Masoud Rafie	
Agro-Ecological Assessment of Lands in Behshahr County for Lentil (<i>Lens culinaris</i> Medik.) Cultivation	553
Karim Riahi, Hossein Kazemi, Afshin Soltani and Fardin Sadeghzadeh	
The Effect of Wheat Residues and Vermicompost on the Quality Characteristics of Corn (<i>Zea mays</i> L.) Forage and Soil Fertility	569
Hasanali Pooresmael, Mehdi Dahmardeh and Ahmad Ghanbari	



Ferdowsi University
of Mashhad

Journal of Agroecology (Quarterly)

Vol. 16 No. 3

Fall 2024

ISSN: 2008-7713

Contents

- Effect of Simultaneous Use of Different Amounts of Biochar and Soil Application of Common Sulfur and Spraying of Nanosulfur on Yield and Yield Components and Some Phytochemical Characteristics of Savory (*Satureja hortensis* L.) 421
Vahid Mohammadzadeh Kakhki, Mohammad Hossein Aminifard and Mohammad Behzad Amiri
- Evaluation of the Residues of Rice (*Oryza sativa* L.), Black-Eyed Pea (*Vigna unguiculata* L.), Dill (*Anethum graveolens* L.) and Aubergine (*Solanum melongena* L.) on Characteristics of Soil, in Cultivation without Chemical Inputs Corn (*Zea mays* L.)..... 439
Einollah Hesami and Mohsen Jahan
- Studying the Beneficial Indicators of Intercropping of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) with Chickpea (*Cicer arietinum* L.), Lentil (*Lens culinaris* Medik) and Bitter Vetch (*Lathyrus sativus* L.) 463
Amin Yari, Farzad Mondani, Alireza Bagheri and Hamid Reza Chaghazardi
- Meta-Analysis of the Effect of Different Amounts of Cow Manure, Chemical (Nitrogen) and Biological Fertilizers on some Quantitative and Qualitative Traits of (*Thymus vulgaris* L.) 477
Hava Mahmoudi Asl, Mahmoud Mokhtari, Reza Sadrabadi Haghighi and Mahdi Elahi Torshizi
- Exploring the Impact of Drought Stress on the Yield and Yield Components of Cumin (*Cuminum cyminum* L.) Ecotypes 493
Vahid Bazrafshan, Farzad Paknejad, Hamid Reza Fanaei, Davoud Habibi and Morteza Siavoshi
- Agricultural Drought Assessment using Remote Sensing Data (Case study: Tuyserkan County) 513
Maedeh Malmir, Kamran Shayesteh and Iman Pazhouhan
- Response of Agronomic Characteristics and Yield of Garlic Plant (*Allium sativum* L.) to Different Level of Planting Density and Nutrition 533
Hadi Khavari and Masoud Rafie
- Agro-Ecological Assessment of Lands in Behshahr County for Lentil (*Lens culinaris* Medik.) Cultivation 553
Karim Riahi, Hossein Kazemi, Afshin Soltani and Fardin Sadeghzadeh
- The Effect of Wheat Residues and Vermicompost on the Quality Characteristics of Corn (*Zea mays* L.) Forage and Soil Fertility 569
Hasanali Pooremael, Mehdi Dahmardeh and Ahmad Ghanbari